

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 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Моделирование процесса риформинга бензинов</b>

УДК 665.73:665.64-047.58

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2КМ71	Дорошенко Анастасия Сергеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Долганов И.М.	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Сотникова Анна Александровна	-		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ОП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Самборская М.А.	к.т.н.		

## Планируемые результаты освоения ООП

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки (специальности)		
P1	Применять глубокие математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в области энерго- и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС ВО (ОК-1, ОК-2, ОК-3), СУОС ТПУ (УК-1, УК-2), <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: Профессиональный стандарт 40.011- Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам. Профессиональный стандарт 19.012 – «Специалист по оперативно-диспетчерскому управлению нефтегазовой отрасли»
P2	Ставить и решать инновационные задачи производственного анализа и проектирования, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии с учетом минимизации антропогенного воздействия на окружающую среду.	Требования ФГОС ВО (ОПК-4, ОПК-5), СУОС ТПУ (УК-2, УК-6) <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: Профессиональный стандарт 40.011- Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам. Профессиональный стандарт 19.012 – «Специалист по оперативно-диспетчерскому управлению нефтегазовой отрасли»
P3	Разрабатывать и проектировать новые технологические процессы на основе математического моделирования, проектировать и использовать энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической	Требования ФГОС ВО (ОПК-2, ОПК-3, ПК-2, ПК-14), СУОС ТПУ (УК-2, УК-3, УК-5, УК-6) <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: Профессиональный стандарт 40.011- Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам. Профессиональный стандарт 19.002 –

P4	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области разработки и оптимизации технологических процессов и систем с позиций энерго- и ресурсосбережения	Требования ФГОС ВО (ОПК-1, ОПК-3, ПК-5), СУОС ТПУ (УК-1, УК-6), <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: Профессиональный стандарт 40.011- Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам. Профессиональный стандарт 19.002 – «Специалист по химической переработке
P5	Внедрять и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила	Требования ФГОС ВО (ОК-2, ОПК-2, ОПК-3, ПК-5), СУОС ТПУ (УК-5, УК-6), <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: Профессиональный стандарт 19.002 - Специалист по химической переработке нефти и газа
P6	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности, заниматься педагогической	Требования ФГОС ВО( ОК-1, ОК-3), СУОС ТПУ (УК-4, УК-5), <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: Профессиональный стандарт 01.004 – «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и
Профиль «Инжиниринг нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств»		
P7	Формулировать, разрабатывать и реализовывать методы решения научно-исследовательских задач, в области ресурсоэффективности и инжиниринга нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств представлять и защищать результаты	Требования ФГОС ВО (ОПК -3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15, ПК-16, ПК-17), СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, УК-3), , <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011- «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 19.002 – «Специалист по химической переработке нефти и газа».
P8	Проводить все стадии проектирования с использованием методов математического моделирования,	Требования ФГОС ВО (ПК-18, ПК-19, ПК-20, ПК-21, ПК-22, ПК-23), СУОС ТПУ (УК-1, УК-2), , <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных

	<p>коммерческих симуляторов и пакетов прикладных программ, в области ресурсоэффективности и инжиниринга нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств</p>	<p>стандартов: 40.011- «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 19.002 - «Специалист по химической переработке нефти и газа».</p>
P9	<p>Разрабатывать учебно-методическую документацию, ставить новые лабораторные работы, проводить практические занятия по теме, ресурсоэффективности и инжиниринга нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств</p>	<p>Требования ФГОС ВО (ПК-25, ПК-26), СУОС ТПУ (УК-4, УК-5), , <i>CDIO Syllabus</i>. Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>, требования профессиональных стандартов: 01.004 - «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»</p>

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Самборская М.А.  
 (Подпись) (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Магистерской диссертации</b> (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
---

Студенту:

Группа	ФИО
2KM71	Дорошенко Анастасии Сергеевне

Тема работы:

<b>Моделирование процесса риформинга бензинов</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 13.02.19 г. №1132/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.19 г.
--	-------------

**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>Объектом исследования данной работы является промышленная установка каталитического риформинга Павлодарского нефтехимического завода.</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></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>	<p>Введение</p> <p>1 Основные теоретические положения процесса риформинга бензинов</p> <p>1.1 Сырье для процесса риформинга</p> <p>1.2 Химические закономерности реакций риформинга</p> <p>1.3 Катализаторы процесса</p> <p>1.4 Условия каталитического риформинга</p> <p>1.5 Технологическая схема риформинга и ее описание</p> <p>1.6 Математическая модель риформинга</p> <p>2 Литературный обзор</p> <p>2.1 Современные технологии получения высокооктановых бензинов</p> <p>2.2 Усовершенствование различных видов технологий каталитического риформинга</p> <p>2.3 Катализаторы риформинга</p> <p>2.4 Модели дезактивации катализаторов риформинга</p> <p>3 Экспериментальная часть</p> <p>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> <p>5. Социальная ответственность</p> <p>Заключение</p> <p>Список использованной литературы</p>
--	--

<b>Перечень графического материала</b>	
--	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
<b>Финансовый менеджмент</b>	Криницына Зоя Васильевна
<b>Социальная ответственность</b>	Сотникова Анна Александровна
<b>Раздел ВКР на английском языке</b>	Макаровских Александра Викторовна

**Название разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранных языках:**

Основные теоретические положения процесса риформинга бензинов и литературный обзор

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	11.03.2019
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Долганов И.М.	к. т. н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2КМ71	Дорошенко Анастасия Сергеевна		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2КМ71	Дорошенко Анастасия Сергеевна

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Химической инженерии</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

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

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

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

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

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Потенциальные потребители результатов исследования</li> <li>2. Диаграмма Исикавы</li> <li>3. Методы коммерциализации результатов НИТ</li> <li>4. Инициализация проекта</li> <li>5. График проведения и бюджет НИТ</li> <li>6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИТ</li> </ol>
---

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН	Креницына З.В.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2КМ71	Дорошенко Анастасия Сергеевна		



**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2КМ71	Дорошенко Анастасии Сергеевне

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Химической инженерии</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Экспериментальная часть работы велась на ПК. Рабочее место – стационарное, оборудованное компьютером. Рабочая зона -аудитория, которая оборудованная системами отопления, кондиционирования воздуха и естественным и искусственным освещением.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. 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>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.</li> <li>2. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.</li> <li>3. СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.</li> <li>4. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».</li> <li>5. СП 2.2.2.1327-03. Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту.</li> <li>6. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к</li> </ol>

	<p>микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы.</p> <p>7. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартиформ, 2008. – 48 с.</p> <p>8. СанПиН 2.2.2.542-96. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.</p> <p>9. Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда».</p> <p>10. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты</p>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b> Анализ опасных и вредных производственных факторов</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Производственное освещение</li> <li>2. Производственные шумы</li> <li>3. Электромагнитные излучения</li> <li>4. Микроклиматические условия</li> <li>5. Монотонность трудового процесса</li> <li>6. Поражение электрическим током</li> </ol>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>Основные загрязнители: Комплектующие ПК и макулатура</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>Возникновение ЧС, требующих обеспечение электро- и пожаровзрывобезопасности на рабочем месте. Возможная ЧС: пожарная безопасность.</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2КМ71	Дорошенко Анастасии Сергеевне		

## **РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа состоит из страниц, содержит таблиц, рисунков, литературных источников и 3 приложения.

Ключевые слова: риформинг, катализатор, дезактивация, моделирование, мониторинг, математическая модель, обратная кинетическая задача.

Объектом исследования данной работы является промышленная установка каталитического риформинга. Цель работы – решить обратную кинетическую задачу и проанализировать технологические параметры, влияющие на выход катализата и качество процесса каталитического риформинга, оптимизация промышленной установки каталитического риформинга.

В процессе работы было изучено влияние технологических параметров на установку каталитического риформинга бензинов.

Область применения: нефтехимическая промышленность.

Экономическая эффективность – в данной работе позволяют проводить вычислительные эксперименты для каталитического риформинга без значительных материальных затрат.

## Оглавление

Введение.....	13
1 Основные теоретические положения процесса риформинга бензина.....	14
1.1 Сырье для процесса риформинга.....	14
1.2 Химические закономерности реакций.....	15
1.3 Катализаторы процесса каталитического риформинга.....	16
1.4 Условия процесса риформинга.....	18
1.5 Технологическая схема риформинга и ее описание.....	21
1.6 Математическая модель риформинга.....	24
2 Литературный обзор .....	27
2.1 Современные технологии получения высокооктановых бензинов.....	27
2.2 Усовершенствование различных видов технологий каталитического риформинга.....	28
2.3 Катализаторы риформинга.....	30
2.4 Модели дезактивации катализатора риформинга.....	33
3 Экспериментальная часть.....	35
4.1 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	43
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	43
4.1.2 Диаграмма Исикавы.....	44
4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	46
4.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	48
4.2 Инициация проекта.....	48
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	51
4.3.1 План проекта.....	51
4.3.2 Бюджет научного исследования.....	55

4.3.3 Матрица ответственности.....	62
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	63
4.4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	63
5 Социальная ответственность.....	67
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	67
5.2 Производственная безопасность.....	68
5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	70
5.2.2 Мероприятия по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя .....	76
5.3 Экологическая безопасность.....	77
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	79
Заключение.....	82
Список публикаций студента.....	84
Список использованных источников.....	85
Приложение А.....	90
Приложение Б.....	93
Приложение В.....	96

## **Введение**

Каталитический риформинг в настоящее время является один из главных процессов нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Данный процесс – это процесс переработки бензиновых и лигроиновых фракций нефти, который предназначен для производства компонентов высокооктановых бензинов, ароматических углеводородов и водородсодержащего газа (ВСТ).

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

Первоначальной целью данной работы являлось обработать данные, полученные из хроматограммы, распределить получившиеся компоненты сырья на групповой состав; рассчитать коэффициенты для каждого компонента и решить обратную кинетическую задачу. Моделирование процесса, анализ факторов, которые влияют 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) Обработка данных из хроматограммы;
- 2) Распределение коэффициентов для каждого компонента на групповой состав;
- 3) Решение обратной кинетической задачи;
- 4) Моделирование процесса каталитического риформинга с помощью программы «Активность»

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

Каталитический риформинг – это сложный химический процесс, который включает разнообразные реакции превращения углеводородов. Данные реакции позволяют преобразовать углеводородный состав бензиновых фракций, и тем самым значительно улучшают их детонационные свойства (способность топлива противостоять самовоспламенению при сжатию) [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

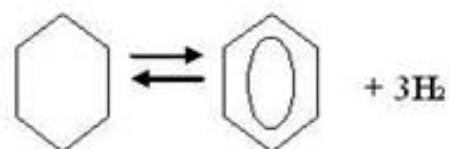
целевых продуктов процесса, а химический – от перерабатываемой нефти на конкретном химическом заводе. Фракционный состав влияет на выход риформата, выход ароматики и октанового числа, а также скорость образования кокса.

Гидроочистка и ректификация являются двумя процессами подготовки сырья риформинга. Ректификация используется для выделения определенных фракций бензинов в зависимости от назначения процесса. Гидроочистка нужна для удаления нежелательных примесей из сырья: 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 более продолжительной работы катализатора без регенерации [2].

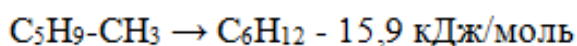
## 1.2 Химические закономерности реакций

Выделяют основные химические реакции, приводящие к получению ароматических углеводородов:

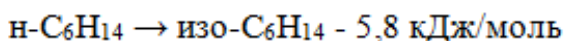
- Дегидрирование нафтеновых углеводородов в ароматические:



- Изомеризация пятичленных циклоалканов в производные циклогексана:

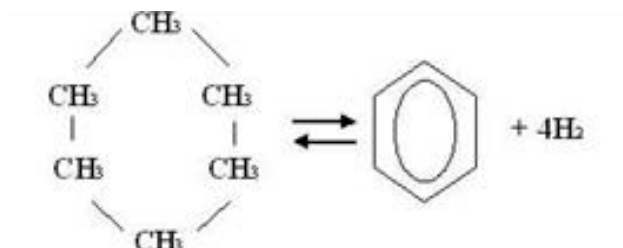


- Изомеризация n-алканов в изоалканы. Наравне с изомеризацией пятичленных и шестичленных нафтенов, изомеризации подвергаются как парафины, так и ароматические углеводороды:



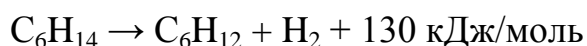


- Дегидроциклизация алканов в ароматические углеводороды (ароматизация):

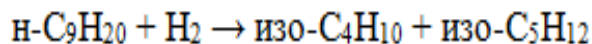


Также, с выше упомянутыми, протекают нежелательные реакции гидрокрекинга с образованием как низко-, так и высокомолекулярных углеводородов, изомеризация боковых цепей аренов, изомеризация алканов, реакции конденсации аренов и алкенов, которые приводят к образованию продуктов уплотнения – кокса, который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

- Дегидрирование алканов в олефины:



- Гидрокрекинг алканов:



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

### 1.3 Катализаторы процесса каталитического 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 главными катализаторами являлись оксидные, такие как алюмомолибденовые

катализаторы. Данный катализатор содержал около 10 % оксида молибдена, нанесенного на основу, состоящую из оксида алюминия (90 %) [3]. Основным плюсом этого катализатора является высокая сероустойчивость. Однако с разработкой усовершенствованных платиновых катализаторов спрос на алюмомолибденовые катализаторы упал.

Следующей группой катализаторов являлись монометаллические. Эти катализаторы представляли собой платину, которая нанесена на  $\gamma$ - или  $\eta$ -оксид алюминия, промотированный галогенами. Очень распространенным 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.

Новым периодом в развитии промышленного катализатора являлся переход на би- и полиметаллические катализаторы. 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. На данной установке (НРК) удастся поддерживать более высокий уровень активности катализатора, чем на установках со стационарным слоем. 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<sub>5+</sub> и водорода за счет высокой селективности, и октановым числом. Данный катализатор может обеспечить эксплуатационную гибкость ведения процесса благодаря большей плотности катализатора, минимальному уменьшению удельной поверхности в течение всего срока эксплуатации катализатора, медленному образованию кокса при жестких режимах работы, длительный срок службы и высокую механическую прочность, обеспечивающий минимальное истирание и образование пыли [6].

#### **1.4 Условия процесса риформинга**

Главными параметрами режима риформинга являются: давление, температура, объемную скорость подачи сырья (ОСПС), кратность циркуляции (ВСГ) в системе. От этих параметров зависят выход и состав высокооктановых бензиновых фракций – компонентов товарных бензинов. Эти параметры изменяются в различных пределах в зависимости какой катализатор мы применяем, какой тип сырья, а также от целевого назначения процесса. [1].

- **Кратность циркуляции ВСГ и давление.**

Данные параметры, главным образом, зависят от качества исходного сырья, применяемого катализатора, а также необходимой глубины процесса.

Варьирование давления осуществляется в диапазоне 1,5-4 МПа. Повышение давления способствует более длительной работе катализатора, следовательно, это происходит, потому что закоксовыванность катализатора (в особенности платины) и его чувствительность к отравлению сернистыми ядами и другими значительно уменьшаются. Увеличение давления также способствует увеличению скорости реакций гидрокрекинга и деалкилирования, только равновесие сдвигается в сторону образования парафинов. Понижение рабочего, а в свою очередь, и парциального давления водорода предрасполагает к увеличению степени ароматизации парафиновых и нафтеновых углеводородов. Следовательно, можно сделать вывод, что лучше использовать повышенное давление.

Концентрация водорода в циркулирующем ВСГ колеблется в пределах 64-95%, а также зависит от химического состава исходного сырья и необходимой глубины процесса. Повышение кратности циркуляции подавляет такие реакции, как ароматизации и коксообразования, приводит к большей интенсивности протекания реакции гидрокрекинга и способствует понижению градиента температур в реакторах.

- **Температура.**

Если повысить температуру, то это ведет к образованию ароматических углеводородов и будет препятствовать 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. При возрастании температуры увеличивается выход более легких углеводородов, таких как, пропан, н-бутан и изобутан (это происходит за счет усиления реакций гидрокрекинга углеводородов, как содержащихся в сырье, так и вновь образующихся в процессе каталитического риформинга). Но все же не стоит забывать, что более жесткий температурный режим снижает продолжительность межрегенерационного цикла работы установки. При уменьшении температуры будет уменьшаться содержание ароматики в бензине и будет низкое ОЧ. В результате чего образование водорода и давление насыщенных паров бензина увеличивается, также будет возрастать содержание в нем фракций, выкипающих до 100 °С [7]. Процесс риформинга обычно протекает в следующем температурном диапазоне: 460-550 °С. Оптимальную температуру стоит подбирать с учетом разных параметров процесса, прежде всего, обращая внимание, на катализатор и качество сырья [8].

- **Объемная скорость.**

ОСПС лежит в пределах 1,0-3,0 ч<sup>-1</sup>. Что касается алюмоплатиновых катализаторов, то ОСПС может составлять 1,5-1,8 ч<sup>-1</sup>. Если же применять более селективные и стабильные би- и полиметаллические катализаторы, то это позволит проводить процесс при больших значениях ОСПС.

В результате повышения ОСПС будет уменьшаться время контакта реагирующих и промежуточных продуктов с катализатором. Увеличение объемной скорости снижает выход водорода и легких углеводородов и важно отметить, что уменьшается выход ароматических углеводородов, а также повышает содержание водорода в циркулирующем газе и выход стабильного продукта. В итоге, если повышается объемная скорость, то ресурсы ароматических углеводородов при каталитическом риформинге снижаются. А выход бензина, хоть и увеличивается, но ОЧ при этом уменьшается; давление насыщенных паров (ДНП) бензина и содержание в

нем ароматики и фракций, которые выкипают до 100 °С, также понижаются. При увеличении ОСПС главную роль в процессе начинают играть реакции, которые протекают быстрее: дегидрирование нафтеновых углеводородов, гидрокрекинг тяжелых парафиновых углеводородов и изомеризация углеводородов C<sub>4</sub> и C<sub>5</sub>. Реакции, требующие больше времени (деалкилирования, дегидроциклизации и гидрокрекинга легких углеводородов), снижаются [7]. Оптимальное значение объемной скорости назначают с учетом жесткости процесса, качества сырья и стабильности катализатора [9].

### **1.5 Технологическая схема риформинга и ее описание**

В настоящее время установки риформинга описывают тремя разновидностями технологий:

- с периодической регенерацией (стационарный слой катализатора).  
P = от 1.3 до 3.0 МПа, T = от 480 до 530°С, октановое число (ИОЧ) колеблется от 94 до 100, выход риформата от 80 до 88% мас. При остановке технологического процесса происходит регенерация во всех реакторах;
- с короткими межрегенеративными циклами (стационарный слой катализатора). Протекает при более жестких условиях проведения процесса (P = 0.9-2.1 МПа, T = 505-550°С) и, как следствие, с небольшими межрегенерационными циклами (от 40 до 5 суток). ИОЧ лежит в пределах – от 95 до 103. В одном из реакторов происходит регенерация, а вместо него подключается резервный реактор;
- с непрерывной регенерацией (НРК) (движущийся слой катализатора).  
Технология наиболее усовершенствована, так как дает работать в более лучших термодинамических условиях (P = 0.35-0.9 МПа, T – до 550°С) без остановки на регенерацию (межремонтный пробег установок риформинга достигает 3-х лет и более) и позволяет достигнуть

максимального ИОЧ=102-104. Регенерация осуществляется в главном реакторе, который состоит из 4 последовательно соединенных реакторов, расположенных друг над другом [10].

Преимущества риформинга с НРК - это постоянство выхода, а также качество получаемого риформата и ВСГ, возможность установки работать в жестком режиме с глубокой ароматизацией сырья при низком давлении (0,7-1,2 МПа) и низком молярном отношении (Рис.1).

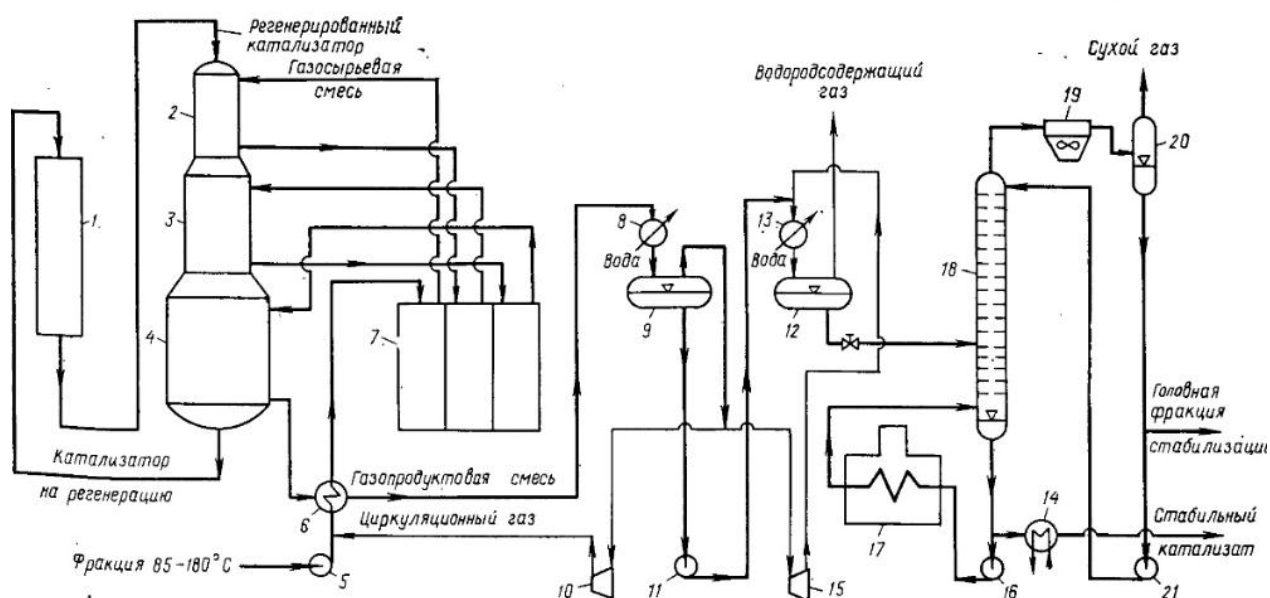


Рисунок 1 - Принципиальная технологическая схема установки риформинга с непрерывной регенерации катализатора: 1 – секция регенерации; 2 – 4 – реакторы риформинга; 5,11,16,21 – насосы; 6, 14 – теплообменники; 7 – многосекционная печь; 8 – холодильники; 9,12 – газосепараторы низкого и высокого давления; 10,15 – компрессоры; 17-трубчатая пчь; 18 – стабилизационная колонна (стабилизатор); 19 – аппарат воздушного охлаждения; 20 – газосепаратор.

В процессе риформинга три реактора раположены друг над другом и выполнены в виде одной колонны, разного диаметра по высоте. Катализатор перемещается последовательно из верхнего реактора в

другой. Из последнего реактора катализатор транспортируется в регенератор.

Сырье 5 насосом подается в продуктовый теплообменник 6, предварительно смешиваясь с циркуляционным ВСГ, а затем поступает в змеевик первой секции многосекционной печи 7. Нагретая до 520°C газосырьевая смесь вводится в реактор 2.

В змеевиках последующих секций печи 7 происходит промежуточный подогрев реакционной смеси. Продукты реакции по выходе из реактора 4 снизу проходят систему регенерации тепла (теплообменник 6 и водяной холодильник 8). В газосепараторе 9 низкого давления происходит разделение жидкой и газовой фаз. Газ из аппарата 9 компримируется компрессором 15 до давления 1,5 МПа, смешиваясь с жидкой фазой, подаваемой насосом 11, смесь охлаждается в холодильнике 13 и разделяется в газосепараторе высокого давления 12. Данная последовательность сепарации, вызванная низким давлением в реакционной зоне, уменьшает унос бензина с ВСГ и повышает содержание водорода в газе.

ВСГ компрессором 10 подается в блок гидроочистки сырья и на циркуляцию в узел смешения с сырьем платформинга перед теплообменником 6. Балансовое количество водородсодержащего газа выводится с установки.

В колонне 18 осуществляется стабилизация катализата. Головная фракция стабилизации после охлаждения и конденсации в аппарате 19 отделяется в газосепараторе 20 от сухого газа и подается насосом 21 на орошение стабилизатора 18, а балансовое количество выводится с установки. Трубчатая печь 17 служит для подвода тепла в низ стабилизационной колонны 18. Нижний продукт колонны 18 — стабильный катализат — выводится с установки через аппарат 14.

Из последнего реактора 4 вся масса отработавшего катализатора транспортируется в секцию регенерации 1, где и происходит



последовательный выжиг кокса, оксихлорирование (для разукрупнения кристаллитов платины) и добавление хлоридов (промоторов). Регенерированный катализатор после охлаждения подается на верх реактора 2. Используемый в качестве транспортирующего газа водород восстанавливает катализатор после пребывания его в окислительной среде регенератора. Систему регенерации при необходимости можно отключить от контура без нарушения работы установки.

## **1.6 Математическая модель риформинга**

Построение математической модели любого многокомпонентного процесса, в том числе и нашего процесса, осуществляется на основе кинетической схемы, которая включает в себя наиболее важные химические превращения (так как учесть все реакции практически невозможно, поскольку их достаточно много). Для формирования схем превращения углеводородов нужно знать как о механизме процесса, так и возможности методов разделения и исследования покомпонентного состава бензиновых фракций.

Для написания математической модели реактора мы должны учитывать процессы тепло- и массопереноса, но и не забыть про гидродинамические условия в объеме реакционной зоны. Промышленные реакторы риформинга с достаточным приближением можно рассматривать как адиабатические. Сырьё идет через слой катализатора в режиме, близком к режиму идеального вытеснения. Обратным смешением возможно пренебрегать.

Модель реактора и реакционного блока еще может быть дополнена уравнениями теплового баланса.

Наибольший эндотермический эффект имеет реакция дегидрирования шестичленных нафтеновых углеводородов. Из-за этого в реакторах риформинга наблюдается значительное понижение температуры в первых

аппаратах. При протекании процесса эндотермические эффекты сглаживаются вследствие все более сильного протекания реакций гидрокрекинга парафинов, идущих с выделением тепла. Уравнение теплового баланса химических реакций, которые протекают в данном процессе можно записать в виде:

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{1}{C_p^*} \sum_{i=1}^n \Delta H_i \cdot k_i(x) \cdot C_i(x)$$

Где  $C_p$  – теплоемкость реакционной смеси;

$i = 1 \div 5$  – соответствует определенному гомологическому ряду углеводородов;

$T$  – температура смеси,  $n$  – количество реакций.

Математическая модель реакторного узла установки риформинга бензинов будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} G \frac{dC_1(x)}{dV} &= k_1(x)C_2(x) - k_2(x)C_1(x)C_6 - k_{15}(x)C_1(x); \\ G \frac{dC_2(x)}{dV} &= -k_1(x)C_2(x) + k_2(x)C_1(x)C_6 - k_4(x)C_2(x) + k_3(x)C_3(x) + \\ &+ k_5(x)C_4(x) + k_7(x)C_5(x); \\ G \frac{dC_3(x)}{dV} &= -k_3(x)C_3(x) + k_4(x)C_2(x) + k_6(x)C_4(x) + \\ &+ k_{10}(x)C_5(x) - k_{11}(x)C_3(x) - k_{14}(x)C_3(x); \\ G \frac{dC_4(x)}{dV} &= -k_5(x)C_4(x) - k_6(x)C_4(x) - k_9(x)C_4(x) + \\ &k_8(x)C_5(x) - k_{12}(x)C_4(x)C_6 + \\ &\sum_{x'} k_{12}(x') \nu_1(x, x') C_4(x) C_6 + \\ &\sum_{x'} k_{13}(x') \nu_2(x, x') C_5(x) C_6; \\ G \frac{dC_5(x)}{dV} &= -k_8(x)C_5(x) + k_9(x)C_4(x) - \\ &- k_7(x)C_5(x) - k_{10}(x)C_5(x) + k_{11}(x)C_3(x)C_6 - k_{13}(x) \\ &C_5(x)C_6 + \sum_{x'} k_{13}(x') \nu_3(x, x') C_5(x) C_6; \\ G \frac{dC_6}{dV} &= 3[k_1(x)C_2(x) - k_2(x)C_1(x)C_6] + k_5(x)C_4(x) + \\ &+ k_{10}(x)C_5(x) + k_7(x)C_5(x) + k_{10}(x)C_5(x) - \\ &- k_{11}(x)C_3(x)C_6 - k_{12}(x)C_4(x)C_6 - k_{13}(x)C_5(x)C_6; \end{aligned}$$

$$G \frac{dC_7(x)}{dV} = k_{14}C_3(x) + k_{15}(x)C_1(x) - k_{16}(x)C_7(x);$$

$$G - \frac{dC_8}{dV} = k_{16}(x)C_7(x);$$

$$G \frac{dT}{dV} = \frac{1}{C_p^*} \sum_{j=1}^n Q_j,$$

$$\text{где } Q_1 = \Delta H_1 \sum_x [k_1(x)C_2(x) - k_2(x)C_1(x) * C_6]$$

$$Q_2 = -\Delta H_2 \sum_x k_{15}(x)C_7(x)$$

$$Q_3 = \Delta H_3 \sum_x [k_2(x)C_1(x)C_6 - k_1(x)C_2(x)];$$

$$Q_4 = -\Delta H_4 \sum_x k_5(x)C_4(x);$$

$$Q_5 = -\Delta H_5 \sum_x k_6(x)C_4(x);$$

$$Q_6 = -\Delta H_6 \sum_x k_7(x)C_5(x);$$

$$Q_7 = \Delta H_7 \sum_x [k_{10}(x)C_5(x) - k_4C_3(x)];$$

$$Q_8 = -\Delta H_8 \sum_x k_{14}(x)C_3(x);$$

$$Q_9 = -\Delta H_9 \sum_x k_{16}(x)C_7(x);$$

$$Q_{10} = -\Delta H_{10} \sum_x k_{12}(x)C_4(x) C_6;$$

$$Q_{11} = \Delta H_{11} \sum_x k_8(x)C_5(x) - k_9(x) C_4(x);$$

$$Q_{12} = \Delta H_{12} \sum_x k_{13}(x)C_5(x) C_6,$$

где  $V$  – объем слоя катализатора,  $\text{м}^3$ ;

$G$  – расход реакционной смеси,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Математическая модель реакторного узла установки риформинга позволит рассчитывать изменения покомпонентного содержания углеводородов в каждом реакторе; показывать изменения температуры в ходе процесса; учитывать давление в системе, разбавление ВСТ, раскладку катализатора по реакторам [11].

## **2 Литературный обзор**

### **2.1 Современные технологии получения высокооктановых бензинов**

Достаточно долгое время основным компонентом высокооктановым бензинов были продукты каталитического риформинга, которые содержали большое количество ароматики. В данной статье [12], авторы предлагают производство высокооктановых компонентов бензина с помощью олигомеризацией олефинов. Данный процесс приводит к получению низкомолекулярных полимеров. А в качестве катализаторов в промышленности обычно используют цеолиты и фосфорную кислоту. Применение данного метода является перспективным методом синтеза октано-повышающих добавок.

В следующей статье [13] говорится о разработке технологии получения бензинов на основе низкооктановой нефти процесса Фишера-Тропша, так как такие процессы, как гидрирование, изомеризации и в нашем случае риформинг считаются более затратными и многостадийными, это как раз и усложняет всю цепочку получения бензина. Данная разработка технологии позволяет получать топлива с детонационной стойкостью не менее 90,0 единиц, которая определена по исследовательскому методу, достаточно низкое содержание серы и высокую химическую стабильность.

В статье [14] авторы рассуждают о каталитическом крекинге в производстве высокооктановых бензинов. Данный процесс является одним из крупнотоннажных процессов, конечно после каталитического риформинга; он также обеспечивает глубокую переработку нефти. Активность катализаторов каталитического крекинга с каждым годом растет, а также выход бензина увеличивается. Авторы утверждают, что бензин каталитического крекинга и компоненты, сопряженные с ним процессов, таких как, алкилирование и др. будут основными компонентами наравне с получением высокооктанового бензина каталитического риформинга.

## 2.2 Усовершенствование различных видов технологий каталитического риформинга

В статье [15] автор исследовал процесс ступенчатого риформинга. В данной статье исследовался процесс, где загрузка по катализатору в последнем реакторе не уменьшается пропорционально снижению потока реакционной смеси через него, а остается прежней, как и в обычной схеме ведения процесса. В итоге, в последнем реакторе ОСПС уменьшается почти вдвое (с 1,5 до 0,75 ч<sup>-1</sup>). В данном случае можно сказать, что данный вид ступенчатого риформинга будет полезен на установках с НРК, где относительно невысокая степень ароматизации сырья – до 60%, Это как раз позволит получать высокоароматизированные риформаты для производства высокооктановых автомобильных бензинов.

Таблица 2 - Характеристика смеси риформата фракции

Показатели	Продукты фракции традиционного риформинга			Продукт смешения фракции ступенчатого риформинга		
	Температура					
	490°C	500°C	510°C	490°C	500°C	510°C
1. Парафино-нафтеновые углеводороды, мас. %	20,00	17,7	14,0	14,7	11,9	8,9
2. Общее содержание ароматики, мас. %	79,9	82,3	86,0	85,3	88,1	91,1
3. Выход на риформат 1 ступени, %	71,9	70,5	69,8	71,1	69,3	67,1

Однако, чтобы осуществить данный процесс ступенчатого риформинга нужно построить блок разделения риформата перед последним реактором, это заметно усложнит схему процесса и повысит эксплуатационные и капитальные затраты. Однако, увеличение октано-тонн и выхода целевой продукции позволит окупить данные затраты уже в течение 2-3 лет, что считается веским доводом в пользу применения данной технологии.

В следующей статье [16], авторы предлагают усовершенствовать экономические показатели действующей установки каталитического риформинга типа ПР-22-35-11/1000 ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка». Для усовершенствования риформинга предлагают подключить ее к общезаводской топливной системе. Понижение потребления собственного топливного газа позволит уменьшить температуру верха колоны стабилизации катализата до 35°C, что по предварительным расчётам, приведёт к возрастанию выхода катализата на 0,54 %. Также это позволит отказаться от более дорогого.

В статье [17], авторы задались целью усовершенствовать процесс риформинга путем добавления рецикла между колонной стабилизации и первым реактором реакторного блока установки. Можно отметить, что при превращении стабильного катализата на катализаторе R-98 с ростом температуры показатель ОЧ увеличивается при уменьшении суммарного содержания ароматических углеводородов.

Таблица 3 - Результаты превращения стабильного катализата на катализаторе R-98

Т, °С	ОЧ	
	ИМ	ММ
400	106	90
450	108	91
500	107	90
550	112	94

При проведенных испытаниях (Таблица 3), сделали вывод, что ввести рецикла с циркуляцией стабильного катализата целесообразно при температуре 450°C. Данная температура позволяет увеличить ОЧ до 108 пунктов по исследовательскому методу и 91 по моторному методу.

Также, для усовершенствования процесса, можно не только изменять технологическую схему, но и заменить один катализатор на другой, так и предлагают сделать в статье [18]. На установке каталитического риформинга производства-аналога типа ПР-22-35-11/1000 хотят полностью заменить катализатор с R-86 на РБ-33У и РБ-44У. Авторы отмечают в своей статье, что с новыми катализаторами процесс не отличается температурным режимом и объемной скоростью подачи сырья, но может повысить давление. При замене на новые катализаторы, это позволит установке улучшить качество риформата и повысит концентрацию водорода в получаемом ВСГ.

### 2.3 Катализаторы риформинга

Главным фактором процесса каталитического риформинга является тип используемого катализатора.

В статье [19], авторы предлагают применять эрионитные катализаторы (Ni/H-эрионит). Этот катализатор дает возможность получить риформат с высоким ОЧ, но при этом низкой концентрацией ароматических углеводородов, в том числе бензола. Циолит-эрионитный катализатор эксплуатируется при температурах 465–475 °С, применение этого катализатора также позволит снизить тепловую нагрузку на печь, что приведет к увеличению межремонтного периода, и также уменьшит расход топливного газа.

Таблица 4 - Сравнение результатов проведения процесса на двух катализаторах

Показатели	Платиноэрионитный катализатор	Платинорениевый катализатор
------------	-------------------------------	-----------------------------

ОСПС, ч <sup>-1</sup>	4,0	1,7
Кратность циркуляции ВСГ, нм <sup>3</sup> / м <sup>3</sup>	1220	1200
Давление в последней ступени, МПа	2,0	2,05
Среднеинтегральная температура, °С	446	471
Выход стабильного риформата, % мас.	92	85
Суммарный перепад температуры, °С	120	185
ОЧ стабильного риформата (ИОЧ)	94	93,5
Концентрация водорода в ВСГ, % об.	88	88,1

На основании таблицы, можно сказать, что при использовании платиноэрионитного катализатора будет большая эффективность риформирования, по таким показателям, как ОСПС и температура. Риформинг на таком катализаторе будет намного эффективнее.

В статье [20] авторы изучают влияние порядка введения металла Pt и Sn на адсорбционные и каталитические характеристики формирующихся на них активных центров. А также сравнивают полученный катализатор с эксплуатируемым катализатором риформинга Pt-Sn/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в следующей реакции – дегидроциклизации н-гептана. В таблице 5 представлены данные каталитического тестирования исследуемых систем в реакции в сравнении с эксплуатируемым катализатором риформинга.

Таблица 5 - Каталитические свойства Pt-Sn/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> катализаторов.

Индекс образца	УП по толуолу, Гар./(Гкат.*час)	Sa	Ea, кДж/моль
Pt/Sn-Ox/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,70	0,58	121,1
Pt/Sn-Ac/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,53	0,58	91,7



Sn-Ox/Pt/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,59	0,48	123,0
Промышленный катализатор	1,32	0,40	261,4

На основании проведенных исследований, авторы делают заключение, что при введении Sn в состав катализатора до нанесения платины способствует увеличению активности чуть ли не в 2 раза и селективности в 1,5 раза, соответственно.

В следующей статье [21], авторы предлагают использовать эффективный цеолитсодержащий катализатор H-ZSM-5 для улучшения показателей процесса. Этот катализатор содержит железоалюмосиликат со структурой высококремнеземного цеолита типа H-ZSM-5 с силикатным модулем SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=55, SiO<sub>2</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=540, в количестве 97,0 - 99,0 мас. %, модифицирующий компонент, из группы: Cu, Zn, Ni, Mo, в количестве 1,0-3,0 мас.%; введенный в железоалюмосиликат в виде наноразмерных порошков металлов; катализатор сформирован в процессе термообработки. Также данный катализатор поможет улучшить технические характеристики ведения процесса.

В статье [22], автор утверждает, что если применять эрионитный (Ni/H-эрионит) катализатор в процессе, то это может послужить уменьшению содержания бензола в автомобильных бензинах, но с возможностью получить высокое октановое число. На данном катализаторе ОЧ увеличивается при следующих причинах:

- 1) за счёт селективного гидрокрекинга n-алканов, в результате чего октановое число повышается на 3-7 пунктов;
- 2) вследствие образования метилциклопентана, обладающий высоким октановым числом (ИОЧ 91,3).

В следующей статье [23] авторы говорят о замене действующего катализатора R-86 на ПР-71. Данная замена при сохранении технологических параметров работы позволит повысить суммарный выход катализата, а также увеличит ОЧ риформата до 102 пунктов по исследовательскому методу.

Проанализировав статьи последних двух разделов, можно сделать вывод, что в настоящее время для повышения эффективности работы установки каталитического риформинга в основном предлагают постоянный контроль технологических параметров, внедрению новых усовершенствованных технологий или замену катализатора на новую.

## 2.4 Модели дезактивации катализатора риформинга

Используем следующие допущения при рассмотрении кинетики дезактивации активных центров разного типа [24]:

- На кислотных центрах идет полислоное коксообразование
- На «металлической» платине коксообразование идет по механизму компенсированного распада.

Скорости отдельных реакций, которые протекают на центрах разного типа с учетом изменения их активности по мере закоксовывания описывают следующие уравнения:

$$r_j = k_j \cdot Y_i \cdot \Phi_j \cdot a_x,$$

$$r_j = k_j \cdot Y_i \cdot \Phi_j \cdot a_z,$$

Где  $a_x$  – относительная активность металлического центра,  $a_z$  – относительная активность кислого центра.

Активности меняются во времени. В ходе эксплуатации дезактивация катализатора характеризуется относительным снижением реакции:

$$a(t) = \frac{r(t)}{r_0},$$

Где  $a(t)$  – относительная активность;  $r_0$  и  $r(t)$  – скорости реакции на «свежем» и дезактивированном катализаторе

Дезактивацию обычно рассматривают как частично обратимый процесс, то есть как совокупность медленных стадий образования и расходования дезактивированных центров.

Можно подытожить, что скорость дезактивации кислотных центров должна быть пропорциональна мольной доле пятичленных нафтенев.

Математическая модель риформинга с непрерывной регенерацией катализатора с учетом дезактивации представляется следующими уравнениями материального и теплового балансов:

$$G \cdot \frac{\partial C_i}{\partial z} = -u \frac{\partial C_i}{\partial r} - \varphi \frac{\partial C_i}{\partial l} + \frac{1}{l} \int_0^1 W(l) a_i(l) dl,$$

$$\rho^{см} C_p^{см} G \frac{\partial T}{\partial z} = -u \rho^{кат} C_p^{кат} \frac{\partial T}{\partial r} - \varphi \rho^{кат} C_p^{кат} \frac{\partial T}{\partial l} + \sum Q_i \frac{1}{l} \int_0^1 W_i(l) a_i(l) dl,$$

где  $z$  – объем переработанного сырья,  $m^3$ ;  $G$  – расход сырья,  $m^3/ч$ ;  $u$  – линейная скорость потока,  $m/ч$ ;  $r$  – радиус слоя катализатора,  $m$ ;  $l$  – длина слоя катализатора в реакторе,  $m$ ;  $\varphi$  – скорость движения катализатора,  $m/ч$ ;  $W$  – суммарная скорость протекания реакций,  $моль/(m^3 ч)$ ;  $\rho$  – плотность,  $кг/см^3$  [25].

## **4.1 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

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

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

*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). Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей, возможно применение их комбинаций с использованием таких характеристик, как возраст, пол, национальность, образование, любимые занятия, стиль жизни, социальная принадлежность, профессия, уровень дохода.

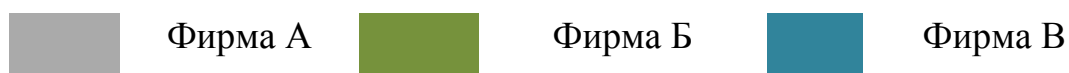
В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица) необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Для физических лиц критериями сегментирования могут быть: возраст; пол; национальность; образование; уровень дохода; социальная принадлежность; профессия и др.

Из выявленных критериев целесообразно выбрать два наиболее значимых для рынка. На основании этих критериев строится карта сегментирования рынка.

На рисунке 8 представлена карта сегментирования рынка по виду оказываемой услуги с применением математической модели процесса каталитического риформинга.

		Вид услуги		
		Продажа программного продукта	Оказание услуг по исследованию и оптимизации	Продажа тренировочной версии
Потребитель	Крупные НПЗ			
	Средние НПЗ			
	Малые НПЗ			
	Образовательные учреждения			
	Проектные организации			

Рисунок 8 - Карта сегментирования



#### 4.1.2 Диаграмма Исикавы

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) - это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Область применения диаграммы:

- Выявление причин возникновения проблемы;
- Анализ и структурирование процессов на предприятии;
- Оценка причинно-следственных связей.

Построение диаграммы начинают с формулировки проблемной области.

Затем выявляются факторы/группы факторов, влияющие на объект анализа:

- персонал
- оборудование
- сырье, материалы, комплектующие
- технология проведения работ
- средства измерения и методы контроля
- производственная среда

Выявленные факторы подводят к стрелкам диаграммы первого уровня.

На рисунке 9 представлена диаграмма Исикавы, из которой видно какие проблемы могут возникнуть при разработке программы.



Рисунок 9 - Диаграмма Исикавы

### 4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Для полного завершения научного проекта необходимо провести оценку степени ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний.

Таблица 10 - Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	5
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	5	5
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
9.	Определены пути продвижения	4	5

	научной разработки на рынок		
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	2
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
15	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>55</b>	<b>56</b>

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (1)$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение  $B_{\text{сум}}$  получилось от 59 до 45 – то перспективность выше среднего, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации.



#### **4.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

При коммерциализации научно-технических разработок продавец преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и т.д.), одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок.

- *Торговля патентными лицензиями*, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе.
- *Инжиниринг* как самостоятельный вид коммерческих операций предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг.

Выбранные методы коммерциализации являются наиболее продуктивными в отношении разработанной компьютерной моделирующей системы, так как они позволяют осуществлять продажу программного продукта на законных основаниях, как в России, так и за рубежом.

#### **4.2 Инициация проекта**

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках

процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

### **Цели и результат проекта.**

Таблица 11 - *Заинтересованные стороны проекта*

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
НИ ТПУ, ИШПР, отделение химической инженерии	Мониторинг работы установки каталитического риформинга

Таблица 12 - *Цели и результат проекта*

<b>Цели проекта:</b>	Мониторинг работы установки каталитического риформинга.
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Решение обратной кинетической задачи.
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Функционирующая математическая модель, которая адекватно описывает процессы.
<b>Требования к результату проекта:</b>	Адекватность модели, возможность использования на действующем производстве, универсальность, экономичность.

### **Организационная структура проекта.**

Таблица 13 - *Рабочая группа проекта*

<b>ФИО, основное место работы,</b>	<b>Роль в проекте</b>	<b>Функции</b>	<b>Трудо- затраты, час.</b>
--	-----------------------	----------------	-------------------------------------

<b>ДОЛЖНОСТЬ</b>			
Долганов И.М., НИ ТПУ, Доцент отделения химической инженерии ИШПР	Руководитель проекта	Консультирование, определение задач, контроль выполнения.	100
Дорошенко А.С., Студент группы №2КМ71	Исполнитель по проекту	Анализ литературных источников, программирование, эксперименты.	500
Креницына З.В., НИ ТПУ, отделение социально – гуманитарных наук ШИП, доцент	Руководитель проекта по разделу «Ресурсоэффективн ость и финансовый менеджмент»	Консультирует выполнение раздела «Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент»	2
Макаровских А.В., НИ ТПУ, Отделение иностранных языков, Старший преподаватель	Руководитель проекта раздела ВКР на английском языке	Консультирует выполнение раздела ВКР на английском языке	2
Сотникова А.А., НИ ТПУ, ассистент	Руководитель проекта по разделу «Социальная ответственность»	Консультирует выполнение раздела «Социальная ответственность»	2
<b>ИТОГО:</b>			<b>606</b>

### **Ограничения и допущения проекта.**

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 14 - *Ограничения проекта*

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения/ допущения</b>
1. Бюджет проекта	-
2. Источник финансирования	-
3. Сроки проекта:	01.02.19 – 10.06.19
4. Дата утверждения плана управления проектом	01.02.19
5. Дата завершения проекта	10.06.19

### **4.3 Планирование управления научно-техническим проектом**

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

#### **4.3.1 План проекта**

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

Линейный график представляется в виде таблицы.

Таблица 15 - Календарный план проекта

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

На основе таблицы 15 построим диаграмму Ганта (табл.16), которая используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме

представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 16 - Календарный план-график проведения НИОКР

№ работ	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	1	■														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Магистр	28	■	■	■												
3	Выбор направления исследования	Магистр	5			■												
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	1				■											



работы																			
--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



- руководитель



- магистр

### 4.3.2 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям:

- Материальные затраты НТИ;
- Затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- Основная заработная плата исполнителей;
- Дополнительная заработная плата исполнителей;
- Отчисления на социальные нужды;
- Накладные расходы.

#### *Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты*

*(за вычетом отходов)*

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.



Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прејскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в табл. 17.

Таблица 17 - Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Тетрадь	шт.	2	1	3	15	15	15	36	18	54
Ручка	шт.	3	2	4	10	10	10	36	24	48
Карандаш	шт.	1	2	1	7	7	7	8,4	16,8	8,4
Картридж для принтера	мл	100	150	100	4	4	4	480	720	480
Бумага	листов	500	600	500	0,6	0,6	0,6	360	432	360
Итого								920,4	1210,8	950,4

### ***Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ***

В данную статью включают 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 прејскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 18 - Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
Компьютер	1	27000	27000,0
Принтер	1	3000	3000,0
Газовый хроматограф	1	1050000,0	1050000,0
Microsoft Office	1	1600	1600
Итого:			1081600,0

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного научного проекта и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в виде амортизационных отчислений.

Для оборудования нужно рассчитать величину годовой амортизации по следующей формуле:

$$A_{\text{год}} = \frac{C_{\text{перв}} * \frac{N_a}{100}}{12} * T = \frac{27000 * \frac{20}{100}}{12} * 12 = 5400$$

где

$N_a = 20\%$

$C_{\text{перв}}$  – первоначальная стоимость, руб.;

$T$  – время использования оборудования, в мес.

$T_{\text{пи}}$  – время полезного использования, лет (в среднем время полезного использования оборудования составляет 5 лет).

$$\Rightarrow A_{\text{год}} = \frac{C_{\text{перв}} * \frac{N_a}{100}}{12} * T = \frac{3000 * \frac{20}{100}}{12} * 12 = 600$$

$$\Rightarrow A_{\text{год}} = \frac{C_{\text{перв}} * \frac{N_a}{100}}{12} * T = \frac{1050000 * \frac{20}{100}}{12} * 12 = 210000$$

$$\Rightarrow A_{\text{год}} = \frac{C_{\text{перв}} \cdot \frac{N_a}{100}}{12} * T = \frac{1600 \cdot \frac{20}{100}}{12} * 12 = 320$$

$$\Rightarrow 5400 + 600 + 210000 + 320 = 216320$$

### *Основная заработная плата*

В настоящую статью 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 оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

Таблица 19 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	З <sub>тс</sub> , руб.	к <sub>р</sub>	З <sub>м</sub> , руб	З <sub>дн</sub> , руб.	Т <sub>р</sub> , раб. дн.	З <sub>осн</sub> , руб.
Руководитель	33664	1,3	43763,2	1820,5	4	7282
Инженер	26300	1,3	34190	1297,7	114	147937,8

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (2)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (3)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 20 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	44	48
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	1	1
Действительный годовой фонд рабочего времени	250	274

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_б \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (5)$$

где  $Z_б$  – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

### ***Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала***

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (6)$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты = 0,13;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

В табл. 21 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 21- Заработная плата исполнителей НТИ

<b>Заработная плата</b>	<b>Руководитель</b>	<b>Инженер</b>
Основная зарплата	7282	147937,8
Дополнительная зарплата	1183,3	19231,9
Зарплата исполнителя	10285,8	167169,7

### ***Отчисления на социальные нужды***

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (7)$$

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

$$C_{\text{внеб}} = 0,271 * 10285,8 = 2787,4 \text{ (руб)}$$

$$C_{\text{внеб}} = 0,271 * 167169,7 = 45302,9$$

### ***Накладные расходы***

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (8)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,8 * 10285,8 = 8228,6$$

$$C_{\text{накл}} = 0,8 * 167169,7 = 133735,7$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НТИ.

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты НТИ	920,4	1210,8	950,4
2. Затраты на специальное оборудование для научных	216320,0		

(экспериментальных) работ		
	<b>Руководитель</b>	<b>Инженер</b>
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	7282	147937,8
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	1183,3	19231,9
5. Отчисления во внебюджетные фонды	2787,4	45302,9
6. Затраты на научные и производственные командировки	-	-
7. Накладные расходы	8228,6	133735,7

#### 4.3.3 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности.

Таблица 22 - Матрица ответственности

<b>Этапы проекта</b>	<b>Руководитель</b>	<b>Магистрант</b>
	Установление задач и составление технического задания	О
Литературный обзор	С	И
Проведение расчетов	С	И
Анализ полученных данных	С	И
Оформление результатов	С	О

Степень участия в проекте может характеризоваться следующим образом:

*Ответственный* (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.

*Исполнитель* (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта.

*Утверждающее лицо (У)* – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

*Согласующее лицо (С)* – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

#### **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.

Кроме выше перечисленных видов эффективности можно выделить ресурсный эффект (характеризуется показателями, отражающими влияние инновации на объем производства и потребления того или иного вида ресурса), научно-технический (оценивается показателями новизны и полезности) и др.

##### **4.4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования**



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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (табл. 32). 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:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}, \quad (9)$$

где  $I_{\phi}^p$  - интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

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

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (10)$$

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;  $a_i$  – весовой коэффициент i-го параметра;

$b_i^a$ ,  $b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

*Таблица 23 - 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
ИТОГО	1	3,7	4,7	4,35

**Интегральный показатель эффективности разработки ( $I_{финр}^p$ ) и аналога ( $I_{финр}^a$ )** определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}, \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} \quad \dots \quad (11)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} \quad (12)$$

где  $\mathcal{E}_{cp}$  – сравнительная эффективность проекта;  $I_{мэ}^p$  – интегральный показатель разработки;  $I_{мэ}^a$  – интегральный технико-экономический показатель аналога [26].

*Таблица 24 - 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

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило определить, что наиболее эффективным вариантом решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является исполнение 2.

## **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.

Рабочее место должно соответствовать требованиям и быть защищенным от вредных и опасных производственных факторов, и его организация должна соответствовать антропометрическим, социальным, физическим данным работника.

Экспериментальная часть магистерской работы осуществлялась на персональном компьютере при работе с различными программными обеспечениями в отделении химической инженерии Томского политехнического университета. Объектом исследования данной работы стал процесс каталитического риформинга. Целью данной работы стало решение обратной кинетической задачи процесса каталитического риформинга, а также оптимизация данного процесса.

Для решения данной цели выделена так называемая рабочая зона. Рабочая зона представляет собой аудиторию, оборудованную системами отопления, кондиционирования воздуха и естественным и искусственным освещением. Также в аудитории находится аптечка первой медицинской помощи, углекислотный огнетушитель для тушения пожара. Рабочее место – стационарное, оборудованное компьютером.

### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Статья 212 ТК РФ обязывает работодателя разработать и утвердить инструкции по охране труда и обеспечить ознакомление с ними работников.

В организации может быть утвержден специальный документ, предусматривающий правила выполнения трудовых операций с компьютерной техникой, который может называться, например, инструкцией по технике безопасности при работе за компьютером. Отдельные положения по данному вопросу могут содержаться в инструкции по охране труда для офисных работников.

Организация рабочего места предусматривает:

- правильное размещение рабочего места в производственном помещении;

- выбор эргономично обоснованного рабочего положения, производственных мебели с учетом антропометрических характеристик человека;

- рациональная компоновка оборудования на рабочих местах;

- учета характера и особенностей трудовой деятельности. Общие принципы организации рабочего места:

- на рабочем месте не должно быть ничего лишнего.

С целью избежать переутомления работника СанПиН рекомендуют делать перерывы длительностью от 10 до 15 минут после 45-60 минут работы. Во время перерыва работнику следует выполнять гимнастику для глаз и физические упражнения, предусмотренные приложениями 8-10 к СанПиН.

## **5.2 Производственная безопасность**

Работа за персональным компьютером регулируется техникой безопасности предприятия и требует соблюдения предписанных норм. При выполнении работ на персональном компьютере (ПК) согласно ГОСТу 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация», могут иметь место следующие факторы, представленные в таблице 25.

Таблица 25 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплу тация	
1. Производственное освещение	+	+	+	СП 52.13330.2016 <i>Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [27].</i>
2. Производственные шумы	+	+	+	1.СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки [28]. 2.СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий [29].
3. Электромагнитные излучения	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно- вычислительным машинам и организации работы» [30].
4. Микроклиматическ ие условия	+	+	+	1.СП 2.2.2.1327-03. Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту [31]. 2.СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

				Санитарные правила и нормы [32]. 3. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартиформ, 2008. – 48 с.[33] 4. СанПиН 2.2.2.542-96. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [34].
5. Монотонность трудового процесса	+	+	+	Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» [35].
6. Электробезопасность	+	+	+	ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

### 5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

#### *Освещение на рабочем месте*

Особая роль отводится контролю по обеспечению должного уровня освещения рабочего места. Поскольку местом проведения работ является помещение, то возникает необходимость максимального приближения освещения к естественному солнечному, чтобы избежать снижения зрения и повышение утомляемости работника. Для обеспечения нормируемых показателей освещенности обеспечен постоянный контроль исправности осветительного оборудования и его замена, в случае неисправности.

Рабочий стол установлен таким образом, чтобы световой поток направлен слева от работника.

Согласно СНиП 23–05–95 «Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение», в помещениях для эксплуатации ПК организовано естественное освещение через светопроемы, обеспечивающее коэффициенты естественной освещенности (КЕО) не ниже 1.5%. Искусственное освещение представлено комбинированной системой. Поскольку монитор ПК также является источником света, то в целях снижения мерцания экрана устанавливается частота кадров 60 Гц для ЖК-мониторов [27].

### ***Производственный шум и вибрация***

Шум, как раздражающий фактор, оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека. При работе с компьютером возможно появление нервного напряжения и снижение работоспособности. Источники шума - процессор компьютера, электролампы, системы вентиляции и отопления.

В соответствии с источником [28] уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочем месте пользователей ПК не должны превышать 50 дБА (децибел с коррекцией А).

В помещениях всех типов образовательных учреждений, в которых эксплуатируются персональные компьютеры, уровень вибрации не должен превышать допустимых значений в соответствии с источником [28]. Рабочее место не имеет собственных источников вибрации, но испытывает общие технологические воздействия. Следовательно, согласно классификации, представленной в источнике [29], по источнику возникновения вибрации, рабочее место относится к категории 3 (технологическая вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах стационарных машин или передающаяся на рабочие места, не имеющие источников вибрации) и типу В (общая вибрация на рабочих местах в помещениях заводоуправления,



конструкторских бюро, лабораторий, учебных пунктов, вычислительных центров, здравпунктов, конторских помещениях, рабочих комнатах и других помещениях для работников умственного труда; общая вибрация в жилых помещениях и общественных зданиях от внутренних источников: инженерно-технического оборудования зданий и бытовых приборов).

### ***Электромагнитные излучения***

В кабинете имеется два источника электромагнитного излучения – монитор и системный блок.

Электромагнитные излучения приводят к развитию функциональных расстройств (пагубное воздействие на нервную систему) и патологических состояний (головной боли, снижение работоспособности к концентрации внимания, снижение артериального давления, функциональные нарушения зрения, развитие катаракты, кожные заболевания).

Уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах нормы допустимых уровней напряженности электрических полей зависят от времени нахождения служащего в рабочей зоне. Время приемлемого нахождения в контролируемой зоне в часах:  $T=50/E+2$

Производство в условиях облучения электрическим полем с напряженностью 20-25 кВ/м продолжается не более 10 минут. При напряженности не выше 5 кВ/м пребывание людей в рабочей зоне допускается в течение 8 часов.

Для защиты от электромагнитного излучения компьютера используются жидкокристаллические мониторы, поскольку его излучение значительно меньше, чем у ЭЛТ мониторов (монитор с электроннолучевой трубкой). Также монитор расположен в углу, так что бы излучение поглощалось стенами [30].

### ***Микроклиматические условия***

Влияние на человека неблагоприятных метеорологических условий в течение длительного времени в резкой форме ухудшают его состояние

здоровья, снижают продуктивность и приводят к болезням. Повышенная температура воздуха приводит к скорой утомляемости служащего, также приводит к перегреву организма, тепловому удару. Пониженная температура окружающей среды работника может вызвать охлаждение организма, вызвать простуду или обморожение [31].

Влажность воздуха сильно воздействует на терморегуляцию организма человека. Повышенная влажность и повышенная температура воздуха приводит к перегреванию организма, а при пониженной температуре повышенная влажность увеличивает теплопередачу с поверхности кожи, что приводит к переохлаждению организма. Пониженная влажность способствует пересыханию слизистых оболочек служащего.

Выполняемая работа относится к категории Ia по тяжести выполняемых работ, производится сидя и сопровождается незначительным физическим напряжением. Для данной категории работ определены оптимальные и допустимые границы основных параметров микроклимата, которые приведены в таблицах 26-27[32,33].

Таблица 26 – *Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте*

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха φ, %	Скорость движения воздуха
Холодный	Ia	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	Ia	23-25	22-26	60-40	0,1

Таблица 27 – *Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте*

Период года	Категория	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей,	Относительная	Скорость движения

	работ			°С	влажность воздуха, φ%	воздуха, не более	
		1	2			1	2
Холодный	Ia	20,0- 21,9	24,1- 25,0	19,0-26,0	15-75	0,1	0,1
Теплый	Ia	21,0- 22,9	25,1- 28,0	20,0-29,0	15-75	0,1	0,2

Ориентируясь на оптимальные и допустимые показатели микроклимата на рабочих местах [34], можно сделать вывод о том, что метеоусловия являются оптимальными, то есть гарантируют поддержание нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения реакции терморегуляции и производят условия для повышенной степени работоспособности.

Характерные требования к помещениям, где используются компьютеры:

- площадь на одно рабочее место должна быть не менее 6 м<sup>2</sup>, а объем – не менее 20 м<sup>3</sup>;

- не допускается расположение рабочих мест в подвальных помещениях.

В помещениях с компьютерами ежедневно проводится влажная уборка. До и после работы за компьютером помещение проветривается в течение 5-10 минут, желательны частые перерывы во время работы [31].

### ***Монотонность труда***

Специалистами по гигиене условия труда человека классифицированы по степени тяжести и напряженности трудового процесса и по показателям вредности и опасности факторов производственной среды [35].

Факторы трудового процесса, характеризующие тяжесть физического труда, – это в основном мышечные усилия и затраты энергии.

Факторы трудового процесса, характеризующие напряженность труда, – это эмоциональная и интеллектуальная нагрузка, нагрузка на анализаторы человека (слуховой, зрительный и т. д.), монотонность нагрузок, режим работы.

Сущность монотонности заключается в продолжительном неприятном воздействии однообразия работы на организм человека, его нервную систему.

Монотонная работа существенно влияет на функциональное состояние человека. Под влиянием монотонности человек, не умеющий это психическое состояние сдерживать или устранять, становится вялым, безучастным к работе, возникает угнетающее состояние, что приводит к преждевременному утомлению.

#### Поражения электрическим током

Электробезопасность установки обеспечивается в любых возможных нормальных и аварийных эксплуатационных ситуациях. Источниками электрической опасности являются:

- оголенные части проводов или отсутствие изоляции;
- отсутствие заземления;
- замыкания;
- статическое напряжение.

Для обеспечения непрерывного отвода зарядов статического электричества с тела человека, полы в производственном помещении покрыты диэлектрическим материалом – бетоном, керамической плиткой. Все электрооборудование с напряжением свыше 36 В должно надежно заземлено. При поражении электрическим током необходимо как можно быстрее освободить пострадавшего от действия электрического тока, отключив электроприбор, которого касается пострадавший. Отключение производится с помощью УЗО. При невозможности быстрого отключения электроприбора необходимо освободить пострадавшего от токоведущих частей деревянным или другим, не проводящим ток предметом источник поражения.

Во всех случаях поражения электрическим током необходимо вызвать врача.

## **5.2.2 Мероприятия по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя**

### Освещение:

Используется комбинированная система освещения, то есть общее искусственное и местное освещение. Также для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях для использования ПЭВМ проводится чистка стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводится своевременная замена перегоревших ламп.

### Шум и вибрация:

Для снижения уровня звукового давления на рабочих местах и местах постоянного пребывания людей в производственных и общественных зданиях используются звукопоглощающие конструкции, такие как звукопоглощающая облицовка, которая размещается на потолке и стенах помещений, экраны, изготовленные из сплошных твердых щитов, облицованных звукопоглощающим материалом.

Также для основного мероприятия борьбы с шумом и вибрацией, можно отнести следующий фактор - Правильная организация труда и отдыха

### Электробезопасность:

Профилактические меры включают: периодические проверки состояния пожарной безопасности, обеспечение контроля за своевременным выполнением предложенных мероприятий; проведение пожарно-технических обследований объекта; противопожарного водоснабжения и систем извещения о пожарах. Основной метод профилактической работы – устранение выявленных в ходе проверки недочетов на месте, а при отсутствии такой возможности - в кратчайший срок.

### Микроклиматические условия:

Создание микроклимата обеспечивается работой форточек, дверей. Летом помещения проветриваются с помощью вентиляторов, в зимнее время помещения нагревают центральным отоплением. Для того чтобы

температура в компьютерном классе в теплый период соответствовало оптимальным значениям, необходимо регулярно проветривать помещение.

#### Монотонность:

При развитии монотонности необходимо сменить ритм трудовой деятельности, а во время перерыва рекомендуется использовать активный отдых (проведение производственной гимнастики с рациональным комплексом физических упражнений). Также исключение фиксированной рабочей позы поможет улучшению работы.

#### Электробезопасность:

Электробезопасность обслуживающего персонала и посторонних лиц обеспечивается выполнением следующих мероприятий:

- 1) соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей или путем закрытия;
- 2) ограждение токоведущих частей;
- 3) применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
- 4) применение предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
- 5) применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;
- 6) использование средств защиты и приспособлений, в том числе для защиты от воздействия электрического и магнитного полей в электроустановках, в которых их напряженность превышает допустимые нормы.

### **5.3 Экологическая безопасность**

Для обеспечения экологической безопасности, при использовании ПК и периферии, следует приобретать технику, полностью соответствующую стандарту, а также утилизировать, в соответствии со всеми правилами, все

комплектующие, после использования. Переработка вторичного сырья, дает возможность сохранять природные ресурсы и эффективно использовать материалы, которые уже отслужили своё. Это касается не только ПК и комплектующих, а также бумаги и др.

Отходы в виде макулатуры и периферии ПК в обязательном порядке сдаются в специальные аккредитованные центры утилизации.

**Макулатура** – изделия из бумаги и картона, вышедшие из употребления, один из видов твердых бытовых отходов, вторичное сырье, которое перерабатывается и идет на изготовление туалетной и типографской бумаги, картона для упаковок и тары, волокнистых плит, теплоизоляционных, кровельных и другого рода строительных материалов.

Сбор и сдача макулатуры в приемные пункты – это не только очищение офиса или дома, но и благородное занятие, поскольку тонны бумажного мусора (разного рода флаеры, листовки, рекламные газеты и т.д.), валяющиеся на улицах города, - путь к самому настоящему экологическому бедствию.

**Комплектующие ПК** - Компьютеры состоят из разных деталей, которые могут негативно сказаться на экологии территории, поэтому бездумное выбрасывание их на свалку может привести к серьезным последствиям. Запчасти, в которых есть свинец, ртуть, олово, отравляют почву и атмосферу, что приводит к гибели живых организмов. Кроме того, незаконный выброс опасного мусора привлечет к административной ответственности и обычных граждан, и юридических лиц.

Компьютерное оборудование не принадлежит к одному классу опасности, ведь оно содержит детали, которые по-разному будут взаимодействовать с окружающей средой, согласно [36] комплектующие ПК относятся к следующим классам опасности:

- ртутные лампы, используемые в ПК, ноутбуках, мониторах, являются чрезвычайно опасными, поэтому отнесены к I классу;

- платы и аккумуляторы, которые содержат свинец, кадмий или олово, относятся ко II классу опасности;
- трансформаторы и провода – к III классу;
- металлические детали практически безопасны, и им присвоена V степень опасности.

Утилизировать компьютерную технику нужно согласно рекомендации производителя продукта и в соответствии с [37]. Компьютеры перерабатываются по определенной схеме: составление паспорта отхода – проведение экологического исследования – разбор техники – сортировка комплектующих – дальнейшая переработка.

Учитывая, что разбираемые запчасти имеют разную степень опасности, их сортируют по вредности, чтобы легче было перевозить, перерабатывать или складировать на полигонах. Так, детали I и II класса хранятся в специально оборудованном, изолированном помещении. При этом отходы ПК упаковываются в герметичные контейнеры и цистерны с толщиной стенок минимум в 10 мм и могут храниться не более 24 часов на одном месте.

#### **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

##### **Пожарная безопасность**

При эксплуатации электрооборудования (в данном случае ПК) возможно возникновение чрезвычайных ситуаций, требующих обеспечения электро- и пожарной безопасности на рабочем месте.

Требования безопасности при эксплуатации электрооборудования регламентируются [38], в соответствии с которым не электротехническому персоналу, выполняющему работы, при которых может возникнуть опасность поражения электрическим током, присваивается группа I по электробезопасности.



Присвоение группы I производится путем проведения инструктажа и проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы или оказания первой помощи при поражении электрическим током. Присвоение I группы по электробезопасности проводится с периодичностью не реже 1 раза в год.

В соответствии с источником [39] учебная аудитория, оборудованная компьютером, относится к категории «В». Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты.

Горючими компонентами в помещении являются: строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений, перегородки, двери, полы, изоляция кабелей и др.

Источниками возгорания могут служить электрические схемы от ЭВМ, приборы, применяемые для технического обслуживания, устройства электропитания, кондиционирования воздуха, где в результате различных нарушений в работе элементы перегреваются, могут возникнуть электрические искры, способные вызвать загорания горючих материалов.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты [40]. На кафедре размещены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны, кроме того размещен схематичный план эвакуации людей при пожаре; дополнительно разработана инструкция, определяющая действия персонала в случае возникновения очага возгорания. Согласно источнику [41] установлен и выполняется запрет на курение в помещении. Определен порядок хранения и уборки отходов химических веществ, так как они используются рядом с рабочим местом. В соответствии с требованиями пожарной безопасности и охраны труда, проводится регулярный инструктаж и проверка знаний по технике безопасности на рабочем месте. Помещение оснащено первичными средствами пожаротушения: огнетушители, лопаты, ящики с песком, асбестовые одеяла.

В случае возникновения пожара, необходимо предпринять следующие меры: обесточить помещение, вызвать службу пожарной охраны. Если горит электроприбор (ПК) - накрыть его асбестовым одеялом или другим плотным материалом и дождаться прекращения горения из-за отсутствия доступа кислорода. Затем воспользоваться порошковым огнетушителем. Если масштабы возгорания велики, то необходимо закрыть дверь в горящее помещение, чтобы снизить скорость распространения огня, соблюдать спокойствие и эвакуироваться.

### **Заключение**

В ходе выполнения раздела «Социальная ответственность» были рассмотрены основные вредные факторы, влияющие на работу при выполнении магистерской диссертации, и документы нормирующие их. Также были приведены основные средства защиты.

Исходя из имеющихся данных, важно отметить, что рабочее место соответствует вышеупомянутым нормам и подготовлено к чрезвычайным ситуациям.

## Список публикаций студента

- 1) Дорошенко А. С. Моделирование процесса риформинга бензинов с непрерывной регенерацией катализатора // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва, Томск, 29 Мая-1 Июня 2017. - Томск: Изд-во ТПУ, 2017 - С. 298-299.
- 2) Дорошенко А.С. Исследование процесса риформинга на основе данных хроматографического анализа сырья// Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XX Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, имени профессора Л.П. Кулева Томск, 20 Мая-23 Мая 2019. - Томск: Изд-во ТПУ, 2019 - С. 362.

## 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-protssessa-riforminga.html](http://studopedia.ru/15_99339_osnovnie-faktori-protssessa-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. Термокаталитические процессы [Электронный ресурс]. - Режим доступа [www. URL: http://proofoil.ru/Oilrefining/Oilrefining23.html](http://proofoil.ru/Oilrefining/Oilrefining23.html)
11. Математическое моделирование многокомпонентных химических процессов: учебное пособие / А.В. Кравцов, Н.В. Ушева, О.Е. Мойзес, А.Ф. Федоров; Томский политехнический университет – 2-е изд., – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 108 с.

12. Илющенко А.Н., Колесников А.Г. Производство высокооктановых компонентов бензина олигомеризацией олефинов // Журнал: Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 3-4..
13. Потанин Д.А., Ершов М.А., Капустин В.М. Разработка технологии получения высокооктанового бензина на основе низкооктановой нефти процесса Фишера-Тропша // Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России. – 2018. – стр.282.
14. Шарипов Р.А., Сидоров Г.М., Зиннаталлин Р.Р., Дмитриев Ю.К. Роль процесса каталитического крекинга в производстве высокооктановых автомобильных бензинов // Журнал: Современные проблемы науки и образования. – 2015. - №1-1.
15. Д. О. Кондрашев. Роль межступенчатого разделения риформата в повышении эффективности процесса каталитического риформинга с неподвижным слоем катализатора // Нефтехимия, 2016, том 56, № 6, с. 645–650
16. Попов И.В., Зотов Ю.Л., Волобоев С.Н. Усовершенствование технологического оформления установки каталитического риформинга бензиновых фракций // Журнал: Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. - №1-1.
17. Аниськова Т. В., Ромаденкина С. Б, Кузьмина Р. И. Превращение стабильного катализата установки каталитического риформинга на катализаторе R-98 // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, вып. 4. С. 394–396.
18. Попов И.В., Зотов Ю.Л. Вариант усовершенствования процесса каталитического риформинга бензиновой фракции // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. - №1-1.
19. Михайловский А.А., Терентьева Н.А., Гараева Н.С. Применение эрионитного катализатора для снижения содержания бензола в катализатах риформинга и возможности его применения на топливно-энергетических

- комплекса Татарстана // Журнал: Вестник технологического университета. – 2017. – Том 20. – №2. – Стр. 60-64.
20. Трегубенко В.Ю., Удрас И.Е., Гуляева Т.И., Белый А.С. Характеристика и каталитическая активность платиновых катализаторов риформинга на модифицированном оловом и органическими кислотами оксиде алюминия // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства. – 2016. – Стр. 39-40.
21. Горбачев В.М., Иванков О.Н., Анищенко О.В. Возможности современных установок каталитического риформинга // Современные наукоемкие технологии. – 2014. - №2. – Стр. 101-102.
22. Михайловский А.А. применение эрионитного катализатора на установках каталитического риформинга // Современное состояние и перспективы инновационного развития нефтехимии. – 2016. – Стр. 171-172.
23. Шайхимова Л.А., Леденев С.М. Совершенствование установки риформинга бензиновых фракций со стационарным слоем катализатора // Научно-технический процесс: актуальные и перспективные направления будущего. – 2017. – Стр. 202.
24. Буянов, Р.А. Закоксование катализаторов / Р.А. Буянов. – Новосибирск: Наука, 1983. – 205 с.
25. Гынгазова М.С. Моделирование работы реакторов процесса риформинга бензинов с непрерывной регенерацией катализатора с учетом коксообразования: Дис. ...канд. техн. наук: 05.17.08, 02.00.13 / Гынгазова Мария Сергеевна. – Томск, 2011. – 163 с.
26. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
27. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.

28. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
29. СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
30. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
31. СП 2.2.2.1327-03. Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту.
32. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы.
33. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартинформ, 2008. – 48 с.
34. СанПиН 2.2.2.542-96. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
35. Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда».
36. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1).
37. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2)
38. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок; приказ Минтруда России от 24.07.2013 N 328н, зарегистрировано в Минюсте России 12.12.2013 N 30593.
39. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ (ред. от 23.06.2014).

40. Приказ МЧС РФ от 18 июня 2003г.№313 «Об утверждении Правил пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-03)».
41. Федеральный закон от 23 февраля 2013 г. N 15-ФЗ "Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака".
42. 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].
43. Кравцов А.В., Иванчина Э.Д. Компьютерное прогнозирование и оптимизация производства бензинов. Физико-химические и технологические основы. – Томск: СТТ, 2000. – 192 стр.



## Приложение В

(справочное)

### Раздел 1

#### Literature review

Студент

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2KM71	Дорошенко Анастасия Сергеевна		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель	Макаровских А.В.	-		

Catalytic reforming is a complex chemical process that involves a variety of hydrocarbon conversion reactions. These reactions make it possible to transform the hydrocarbon composition of gasoline fractions, and thereby significantly improve their detonation properties (the ability of a fuel to resist autoignition under compression) [1].

In addition to improving the detonation properties, reforming is used to produce aromatic hydrocarbons (benzene, toluene, xylene). Most of the aromatics are used as a component of gasoline. They can also be used to obtain resins and varnishes. When catalytic reforming hydrogen-containing gas (HCG), which is much cheaper than hydrogen, is obtained. This HCG is used in such processes as hydrocracking, hydrotreating, isomerization, etc. In addition to HCG, dry (C1-C2 or C1-C3) and liquefied gases (C3-C4) are emitted from catalytic reforming gases; the result is a stable debutanized gasoline.

### **Raw materials for the reforming process**

As a feedstock, gasoline fractions for primary oil refining with a boiling point of 62-180 ° C are usually used; for obtaining C6 aromatics - fractions of 62-85 ° C, C7 - 85-105 ° C, C8 - 105-140 ° C, C7 -C9 - 85-180 ° C. Secondary processes gasolines are used as raw materials: thermally cracked gasoline, visbreaking and coking. Secondary distillates contain high concentrations of paraffins (50 wt.%), naphthenes (40 wt.%), and aromatic hydrocarbons (10 wt.%).

For reforming, the quality of raw materials is determined by its fractional and chemical composition. Fractional composition depends on the whole product of processing, and chemical - on refining oil at a particular chemical plant. Fractional composition affects the yield of reformate, the yield of aromatics and octane number, as well as the rate of coke formation.

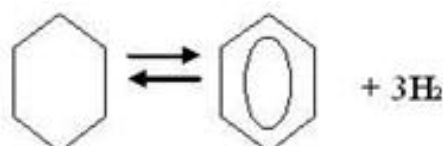
Preparation of reforming feedstock includes rectification and hydrotreating. Rectification is used to isolate certain fractions of gasoline. In the process of hydrotreating, undesirable impurities are removed from the raw materials: sulfur compounds (should not exceed 10–4% by weight), nitrogen compounds ( $0.5 \times 10^{-}$

4% by weight), etc., which poison the reforming catalysts. Removal of undesirable impurities contributes to long catalyst life without regeneration [2].

### Chemical patterns of reforming reactions

In the process of reforming, the main chemical reactions leading to the production of aromatic hydrocarbons are distinguished:

- Dehydrogenation of naphthenic hydrocarbons to aromatic:



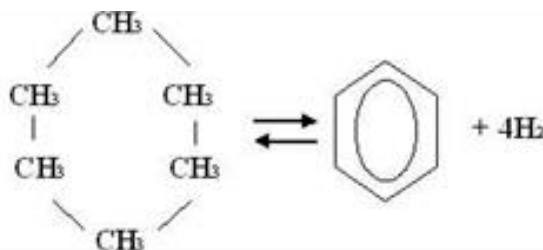
- Isomerization of five-membered cycloalkanes to cyclohexane derivatives:



- Isomerization of n-alkanes to isoalkanes. Along with isomerization of five-membered and six-membered naphthenes, both paraffins and aromatic hydrocarbons undergo isomerization:

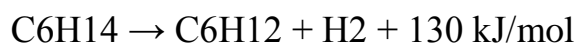


- Dehydrocyclization of alkanes to aromatic hydrocarbons (aromatization):



Also undesirable hydrocracking reactions occur with the formation of both low and high molecular weight hydrocarbons, isomerization of arene side chains, alkane isomerization, arenes and alkenes condensation reactions, which lead to the formation of condensation products - coke, which is deposited on the surface of the catalyst.

- Dehydrogenation of alkanes to olefins:



- Hydrocracking of alkanes:



Adverse polymerization reactions that lead to coking are suppressed by temperature and pressure.

### **Process catalysts**

This is a catalytic reforming process that combines acidic and hydrogenating (dehydrating) functions. The catalyst support has an acid function (alumina). And the second function is necessary to accelerate certain reactions, such as dehydrogenation and hydrogenation reactions. Previously, the main catalysts were oxide, for example, molybdenum alumina catalysts. This catalyst contains about 10% molybdenum oxide, which is deposited on an aluminum substrate (up to 90%) [3]. The main advantage of this catalyst is its high resistance to sulfur. However, the demand for these catalysts fell.

The next group of catalysts was monometallic. These catalysts are platinum, which is supported on  $\gamma$ - or  $\eta$ -alumina promoted with halogens. The aluminum-platinum catalyst promoted by chlorine, which later completely replaced the catalysts promoted with fluorine, was very common. Monoplatinum catalyst was very common, as it had a higher activity and selectivity due to the content of platinum from 0.1 to 1%, as well as stability compared to the molybdenum-alumina catalyst. However, due to the high content of platinum in the catalyst and its cost, the researchers had to look for a new type of active contact.

The transition to bio- and polymetallic catalysts is a new period in the development of industrial reforming. These catalysts were prepared on the basis of chlorine-containing alumina. So, the third component is added to the platinum catalyst, as this component may be chromium, tungsten, germanium, molybdenum and iridium. This catalyst has its advantage over monometallic platinum catalysts - this is a high degree, which is expressed in the fact that the condition for the decrease in activity will occur much slower [4]. Over the past 35 years and more, bio-and polymetallic catalysts have been constantly updated and only improved, while more than 100 brands of reforming catalysts have been introduced into the industry.

Nevertheless, if we talk about catalysts that are used in a reforming unit with continuous catalyst regeneration (CCR), bimetallic (Pt-Re) catalysts are used. Due to continuous catalyst regeneration, it is possible to maintain a higher level of its activity than in systems with a fixed catalyst bed. The process involving this platinum-rhenium catalyst can be carried out at 470-520 ° C. Also, these catalysts are characterized by increased stability and increase the degree of aromatization of raw materials [5].

Also, the RC-12 catalyst is used at the reforming unit with CCR; it was developed by OOO Neftekhim. This catalyst is a highly active platinum – tin catalyst and is designed to produce reformat with a maximum yield of C5 + and hydrogen due to its high selectivity and octane number. The RC-12 catalyst provides the operational flexibility of the process due to the high density of the catalyst, low coke formation under hard operating conditions, minimal reduction of the specific surface during the entire lifetime of the catalyst, long service life and high mechanical strength, which ensures minimal abrasion and dust formation [6].

### **Catalytic Reforming Conditions**

The main parameters of the reforming mode, which the yield and composition of high-octane gasoline fractions - components of commercial gasoline - depend on, include the bulk feed rate, pressure, temperature, circulation ratio in the system and the chlorine content in the catalyst. The values of these technological parameters vary depending on the used catalyst and the time of its operation after the next regeneration, on the type of raw material, as well as on the purpose of the process - the production of components of motor fuel or aromatic hydrocarbons [1].

- *Pressure and the multiplicity of circulation of HCG.*

The multiplicity of the circulation of HCG and pressure mainly depend on the quality of the feedstock, the used catalyst, as well as the required depth of the process.

The variation of pressure is carried out in the range of 1.5-4 MPa. An increase in pressure contributes to a more prolonged operation of the catalyst; consequently, this occurs because the coking of the catalyst (especially platinum) and its sensitivity to poisoning with sulfur and other poisons decrease significantly. An increase in pressure also increases the rate of hydrocracking and dealkylation reactions, with the equilibrium shifting towards the formation of paraffins. Reducing the worker, and in turn, the partial pressure of hydrogen helps to increase the degree of aromatization of paraffin and naphthenic hydrocarbons. Therefore, we can conclude that it is better to use high pressure.

The concentration of hydrogen in the circulating HCG depends on the chemical composition of the feedstock and the required depth of the process, and also ranges from 64-95%. An increase in the multiplicity of circulation suppresses such reactions as aromatization and coke formation, leading to a higher intensity of the hydrocracking reaction, and contributes to a decrease in the temperature gradient in the reactors.

- *Temperature.*

If you raise the temperature, it contributes to the formation of aromatic hydrocarbons and prevents the flow of a reverse reaction, as well as the transformation of some isomers of naphthenic hydrocarbons into paraffinic ones, which are more easily subjected to hydrocracking reactions. The increased temperature during the catalytic reforming process also favors a decrease in the concentration of hydrogen in the circulating gas and a decrease in the yield of stable gasoline. This is because at higher temperatures the role of hydrocracking increases. With an increase in temperature, the yield of lighter hydrocarbons, such as propane, n-butane and isobutane, increases (obviously, this occurs due to an increase in the hydrocracking reactions of hydrocarbons, both contained in the feed and newly formed during catalytic reforming). After all the tightening of the temperature mode reduces the duration of the interregeneration cycle of the installation. As the temperature decreases, the aromatics content in gasoline will decrease and the octane number will be low. As a result, the formation of hydrogen

and the pressure of saturated gasoline vapors increase, and the content of fractions boiling up to 100 ° C will also increase [7]. The reforming process usually proceeds in the following temperature range: 460-550 ° C. The optimum temperature should be selected taking into account the different process parameters, primarily paying attention to the quality of the raw materials and the catalyst [8].

- *The bulk feed rate.*

The volumetric feed rate is in the range of 1.0-3.0 h<sup>-1</sup>. As for the alumina-platinum catalysts, the bulk feed rate may be 1.5-1.8 h<sup>-1</sup>. If we apply more selective and stable bi- and polymetallic catalysts, then this will allow the process to be carried out at high values of the bulk feed rate.

As a result of an increase in the bulk feed rate, the contact time of the reacting and intermediate products with the catalyst will decrease. Increasing the space velocity reduces the yield of hydrogen and light hydrocarbons, and it is important to note that the yield of aromatic hydrocarbons decreases, and also increases the yield of a stable product and the hydrogen content in the circulating gas. As a result, if the volumetric rate increases, the resources of aromatic hydrocarbons decrease during catalytic reforming, while the yield of gasoline, although it increases, but the octane number becomes lower; gasoline vapor pressure and the content of aromatic hydrocarbons and fractions boiling up to 100 ° C are also reduced. With increasing the bulk feed rate, reactions that proceed faster: hydrocracking of heavy paraffinic hydrocarbons, dehydrogenation of naphthenic hydrocarbons, and isomerization of hydrocarbons C4 and C5 begin to play the main role in the process. As for the more time-consuming reactions (dehydrocyclization, dealkylation and hydrocracking of light hydrocarbons), their role is reduced [7]. The optimal value of the space velocity is prescribed taking into account the rigidity of the process, the quality of raw materials and the stability of the catalyst [9].

- *Chlorine content in the catalyst.*

The stable activity of reforming catalysts, the acidic promoter of which is chlorine, is possible only if it is sufficiently present on the catalyst and at low humidity in the reaction system. The volumetric moisture content in the circulating HCG is usually maintained at  $10 \cdot 10^{-6}$ - $30 \cdot 10^{-6}$ .

Chlorination and dechlorination of the catalyst carrier is an equilibrium process: the chlorine content in the catalyst depends on the molar ratio of water vapor to hydrogen chloride in the gas phase.

The loss of chlorine by the catalyst during its oxidative regeneration is filled in the process of oxychlorination by supplying chlorine for 2-10 hours at 500-520 ° C in the amount of 0.5-1.5% by weight of the catalyst. Losses of chlorine during start-up operations (drying and recovery of the catalyst, the start of the raw cycle) are replenished in a few hours by applying 0.1-0.3% chlorine by weight of the catalyst to the raw material stream or HCG at a temperature of 350-50 ° C. To maintain the optimum chlorine concentration in the catalyst in the raw material cycle, chlorine can be supplied periodically or continuously with a dosage of 1-5 mg / kg of raw materials (in the form of organochlorine compounds, for example  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4\text{C}_{12}$ ) [3].

### **Modern technologies for producing high-octane gasoline**

For quite a long time, the main component of high-octane gasoline was catalytic reforming products, which contained a large amount of aromatics. In this article [12], the authors propose the production of high-octane gasoline components using the oligomerization of olefins. This process results in low molecular weight polymers. Zeolites and phosphoric acid are commonly used as industrial catalysts. The use of this method is a promising method for the synthesis of octano-boosting additives.

The following article [13] deals with the development of technology for producing gasolines based on low-octane naphtha of the Fischer-Tropsch process, since such processes as hydrogenation, isomerization and in our case reforming are



considered more costly and multi-stage, this complicates the entire chain of gasoline production. This technology development makes it possible to produce fuels with a detonation resistance of at least 90.0 units, which is determined by the research method, a fairly low sulfur content and high chemical stability.

In the article [14], the authors talk about catalytic cracking in the production of high-octane gasoline. This process is one of the large-scale processes, of course, after catalytic reforming; it also provides deep oil refining. The activity of catalytic cracking catalysts is increasing every year, and the yield of gasoline is increasing. The authors argue that catalytic cracking gasoline and the components associated with it processes, such as alkylation, etc. will be the main components along with the production of catalytic reforming high-octane gasoline.

### **Decontamination catalyst for reforming catalyst**

When considering the kinetics of deactivation of active centers of different types, it is customary to use the following assumptions [24]:

On acid centers there is a multi-layer coking.

On the “metallic” platinum, coke formation proceeds according to the mechanism of compensated decay.

The following equations describe the rates of individual reactions, which take place at centers of different types, taking into account the changes in their activity as they coke:

$$r_j = k_j \cdot Y_i \cdot \Phi_j \cdot a_x,$$

$$r_j = k_j \cdot Y_i \cdot \Phi_j \cdot a_z,$$

where  $a_x$  - the relative activity of the metal center,  $a_z$  - the relative activity of the acidic center. Activities change over time. During operation, deactivation of the catalyst is characterized by a relative decrease in the reaction:

$$a(t) = \frac{r(t)}{r_0},$$

where  $a(t)$  is the relative activity;  $r_0$  and  $r(t)$  - reaction rates on the "fresh" and deactivated catalyst

Deactivation is usually considered as a partially reversible process, that is, a combination of slow stages of formation and expenditure of deactivated centers.

It can be summarized that the rate of deactivation of acid sites should be proportional to the mole fraction of five-membered naphthenes.

The mathematical model of reforming with continuous catalyst regeneration taking into account deactivation is represented by the following equations of material and thermal balances:

$$G \cdot \frac{\partial C_i}{\partial z} = -u \frac{\partial C_i}{\partial r} - \varphi \frac{\partial C_i}{\partial l} + \frac{1}{l} \int_0^1 W(l) a_i(l) dl,$$

$$\rho^{CM} C_p^{CM} G \frac{\partial T}{\partial z} = -u \rho^{KAT} C_p^{KAT} \frac{\partial T}{\partial r} - \varphi \rho^{KAT} C_p^{KAT} \frac{\partial T}{\partial l} + \sum Q_i \frac{1}{l} \int_0^1 W_i(l) a_i(l) dl,$$

where  $z$  - the volume of processed raw materials,  $m^3$ ;  $G$  - raw material consumption,  $m^3 / h$ ;  $u$  — linear flow rate,  $m / h$ ;  $r$  - the radius of the catalyst bed,  $m$ ;  $l$  - the length of the catalyst bed in the reactor,  $m$ ;  $\varphi$  - speed of the catalyst,  $m / h$ ;  $W$  - the total reaction rate,  $mol / (m^3 h)$ ;  $\rho$  - the density,  $kg / cm^3$  [25].