

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

---

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»  
Кафедра ХТТ и ХК

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Исследование процесса риформинга бензинов на установке со стационарным слоем катализатора</b>

УДК 665.644.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2В	Назарова Анна Викторовна		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор кафедры ЭБЖ	Ахмеджанов Рафик Равильевич	д.б.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2016 г.

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

---

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки (специальность) «Химическая технология природных  
энергоносителей и углеродных материалов»  
Кафедра ХТТ и ХК

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой ХТТ и ХК

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

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

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2В	Назаровой Анне Викторовне

Тема работы:

<b>Исследование процесса риформинга бензинов на установке со стационарным слоем катализатора</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1749/С от 11.03.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования – установка каталитического риформинга Л-35-11/600 ОАО «Газпромнефть-Омский НПЗ» г. Омск». Мощность установки по сырью - прямогонной бензиновой фракции 80–180°С (75–180°С) составляет 600 тыс.т/год.</p> <p>Установка предназначена для получения высокооктанового дебутанизованного платформата, используемого в качестве высокооктанового компонента при приготовлении товарных бензинов.</p>
--	---

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

*(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).*

**Введение**

**1 Основные теоретические положения**

**1.1 Химизм, механизм процесса**

**1.2 Катализаторы риформинга**

**1.3 Параметры процесса**

**1.4 Технологическое оформление каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора**

**2 Литературный обзор**

**2.1 Повышение эффективности каталитического риформинга с помощью математического моделирования и моделирующих компьютерных систем**

**2.2 Современные катализаторы риформинга**

**3 Объект и методы исследования**

**4 Исследовательская часть**

**5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

**5.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

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

**5.2.1 Анализ конкурентных технических решений**

**5.2.2 SWOT-анализ**

**5.3 Планирование научно-исследовательских работ**

**5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования**

**5.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ**

**5.3.3 Разработка графика проведения научного исследования**

**5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)**

**5.4.1 Расчет материальных затрат НТИ**

**5.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ**

**5.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы**

**5.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы**

**5.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)**

**5.4.6 Накладные расходы**

**5.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта**

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

**6 Социальная ответственность**

**6.1 Производственная безопасность**

**6.1.1 Анализ вредных воздействий на рабочем месте**

**6.1.2 Анализ вредных и опасных факторов на производстве**

**6.2 Охрана окружающей среды**

**6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

**6.4 Правовые вопросы обеспечения безопасности**

	Заключение Список использованных источников Приложение А Приложение Б
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	доцент кафедры менеджмента, к.э.н., Рыжакина Татьяна Гавриловна
«Социальная ответственность»	профессор кафедры ЭБЖ, д.б.н., Ахмеджанов Рафик Равильевич
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.2016
--	------------

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2В	Назарова Анна Викторовна		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Д2В	Назаровой Анне Викторовне

<b>Институт</b>	<b>Природных ресурсов</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ХТГ и ХК</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	ХТПЭ и УМ

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности исследования влияния различных технологических режимов на работу установки каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора

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

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИИ
4. Расчёт денежного потока
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ

<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	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2Д2В	Назарова Анна Викторовна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 2Д2В	ФИО Назаровой Анне Викторовне
----------------	----------------------------------

Институт	ИПР	Кафедра	ХТТ и ХК
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	«Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

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

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p><b>Объект исследования</b> – процесс каталитического риформинга бензиновых фракций  <b>Рабочая зона</b> – компьютерный класс, технологическая зона  <b>Область применения</b> – нефтехимическая промышленность</p>
---	---

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

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия).</li> </ul>	<p>1.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов при разработке научного исследования (компьютерный класс) [4]:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-микроклиматические условия [СанПиН 2.2.4.548-96] (температура воздуха; выделение в воздух рабочей зоны ряда химических веществ ГН 2.2.5.1313-03; влажность воздуха; аэроионный состав воздуха [СанПиН 2.2.4.1294-03]; отсутствие или недостаток естественного света; недостаточная искусственная освещенность рабочей зоны [СНиП 23-05-95]; повышенная яркость света)</li> <li>-электробезопасность [ГОСТ 12.1.002–84, ГОСТ 12.4.124–83] (напряжение в электрической цепи, замыкание; статическое электричество; электромагнитные излучения; напряженность электрического поля)</li> <li>-психофизические факторы [ГОСТ 12.0.003-74] (повышенная контрастность; прямая и отраженная блескость; зрительное напряжение; монотонность трудового процесса; нервно-эмоциональные перегрузки)</li> </ul> <p>1.2 Анализ выявленных вредных и опасных факторов при эксплуатации научного исследования (технологическая зона):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выделение вредных веществ (сероводород, бензин, дизельное топливо, пропан, бутан, водород, аммиак, диметилсульфид, оксид алюминия, платина, рений) [ГОСТ 12.1.007-76]</li> <li>-пожаровзрывобезопасность[ГОСТ 12.1.002–84]</li> <li>-производственный шум [СН 2.2.4/2.1.8.562-96]</li> <li>-вибрация [СН 2.2.4/2.1.8.566-96]</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования[ГОСТ 12.1.002–84]</li> <li>-электробезопасность [ГОСТ 12.1.002–84]</li> </ul>
---	--

<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- вредные вещества (сероводород, бензин, дизельное топливо, пропан, бутан, водород, аммиак, диметилсульфид, оксид алюминия, платина, рений), которые выделяются или используются вовремя производства;</li> <li>- разработаны решения по обеспечению экологической безопасности;</li> <li>- твердых и жидких отходов не образуется.</li> </ul>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p><i>Перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения: взрыв парогазового облака, образованного при разгерметизации технологического оборудования; пожар в форме огненного шара при мгновенном разрушении технологического аппарата, содержащего углеводороды в перегретом состоянии; пожар пролива, при разгерметизации аппарата, содержащего жидкие углеводородные фракции с температурой кипения выше температуры окружающей среды.</i></p> <p><i>Меры по предупреждению ЧС: применение защитного оборудования; своевременный ремонт и замена старого оборудования; допуск к работе только квалифицированных рабочих.</i></p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 31.12.2014)</li> <li>-организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, проветривание, полная изоляция от производственных источников шума и вибрации.</li> </ul>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ ИНК	Ахмеджанов Р.Р.	д.б.н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2В	Назарова Анна Викторовна		

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

---

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки (специальность) «Химическая технология природных  
энергоносителей и углеродных материалов»  
Уровень образования бакалавр  
Кафедра ХТТ и ХК  
Период выполнений (осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа
---------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
07.03.2016	Анализ и обзор периодической и патентной литературы по исследуемой теме.	20 балл
04.04.2016	Обработка данных хроматографического анализа сырья и катализата.	20 балл
18.04.2016	Расчет работы установки риформинга со стационарным слоем катализатора.	20 балл
04.05.2016	Анализ степени влияния технологических параметров процесса на работу установки. Подбор оптимального технологического режима работы установки риформинга со стационарным слоем катализатора.	20 балл
18.05.2016	Обсуждение законченного варианта ВКР бакалавра.	20 балл

Составил преподаватель:

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

**СОГЛАСОВАНО:**

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

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ООП «Химическая технология»18.03.01)**

*Планируемые результаты обучения*

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1), <b>СДИО(п. 1.1, 4.1, 4.3, 4.8)</b>
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-7,11,17,18, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2), <b>СДИО (п. 1.1, 3.2, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6)</b>
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии	Требования ФГОС (ПК-1,5,8,9, ОК-2,3), Критерий 5 АИОР (пп.1.2), <b>СДИО (1.2, 2.1, 4.5)</b>
P4	Разрабатывать <b>новые</b> технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, <b>проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды</b>	Требования ФГОС (ПК-11,26,27,28), Критерий 5 АИОР (п.1.3) <b>СДИО (п.1.3, 4.4, 4.7)</b>
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий	Требования ФГОС (ПК-4,21,22,23,24,25, ОК-4,6), Критерий 5 АИОР (п.1.4), <b>СДИО (п. 2.2)</b>
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, <b>выводить на рынок новые материалы</b> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,10,12,13,14,15, ОК-6,13,15), Критерий 5 АИОР (п.1.5) <b>СДИО (п. 4.1, 4.7, 4.8, 3.1, 4.6)</b>
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5,9,10,11), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5), <b>СДИО (п. 2.5)</b>
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,7,8,12), Критерий 5 АИОР (2.6), <b>СДИО (п. 2.4)</b>
P9	<b>Активно</b> владеть <b>иностраным языком</b> на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-14) , Критерий 5 АИОР (п.2.2), <b>СДИО (п. 3.2, 3.3)</b>
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, <b>демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве</b> , ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3) <b>СДИО (п. 4.7, 4.8, 3.1)</b>

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 83 с., 12 рис., 28 табл., 47 источников, прил. 2.

Ключевые слова: риформинг, катализатор, математическое моделирование, компьютерные моделирующие системы, оптимальный режим.

Объектом исследования является промышленная установка процесса каталитического риформинга углеводородов бензиновой фракции со стационарным слоем катализатора.

Цель работы – анализ факторов, влияющих на качество и выход целевого продукта процесса каталитического риформинга углеводородов бензиновой фракции, повышение эффективности промышленной установки каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора Л-35-11/600 ОАО «Газпромнефть ОНПЗ».

В процессе исследования было изучено влияние технологических параметров на установку каталитического риформинга и подбор оптимального режима ведения процесса.

В результате исследования подобрали оптимальные условия проведения процесса на технологической установке каталитического риформингасо стационарным слоем катализатора.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: представлены в четвертом разделеданной работы.

Область применения: нефтехимическая промышленность.

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

В будущем планируется исследование других важных показателей на работу установки, внедрение программного продукта«Activ», используемого в данной работе, на Российских НПЗ.

## Оглавление

Введение	5
1 Основные теоретические положения	7
1.1 Химизм, механизм процесса	7
1.2 Катализаторы риформинга	10
1.3 Параметры процесса	13
1.4 Технологическое оформление каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора	15
2 Литературный обзор	16
2.1 Повышение эффективности каталитического риформинга с помощью математического моделирования и моделирующих компьютерных систем	19
2.2 Современные катализаторы риформинга	23
3 Объект и методы исследования	28
4 Исследовательская часть	34
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	44
5.1. Потенциальные потребители результатов исследования	44
5.2 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	44
5.2.1 Анализ конкурентных технических решений	44
5.2.2 SWOT-анализ	47
5.3 Планирование научно-исследовательских работ	49
5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	49
5.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ	50
5.3.3 Разработка графика проведения научного исследования	51
5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	54
5.4.1 Расчет материальных затрат НТИ	54
5.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	55
5.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы	55

5.4.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	56
5.4.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	57
5.4.6	Накладные расходы	58
5.4.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	58
5.5	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	59
6	Социальная ответственность	62
6.1	Производственная безопасность	61
6.1.1	Анализ вредных воздействий на рабочем месте	61
6.1.2	Анализ вредных и опасных факторов на производстве	68
6.2	Охрана окружающей среды	69
6.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	70
6.4	Правовые вопросы обеспечения безопасности	72
	Заключение	74
	Список использованных источников	76
	Приложение А	82
	Приложение Б	83

## **Введение**

Каталитический риформинг является одним из базовых процессов получения высокооктановых компонентов автомобильных бензинов и ароматических углеводородов в России.

Учитывая тот факт, что процесс каталитического риформинга бензинов обеспечивает низкую себестоимость продукта и занимает ведущее место при производстве высокооктановых автомобильных бензинов, постоянно совершенствуется его технология.

Одним из основных способов интенсификации уже действующих производств, является использование новых, высокотехнологичных катализаторов.

Актуальность данной работы заключается в расчете и исследовании различных факторов, влияющих на качество и выход целевого продукта каталитического риформинга, путем использования моделирующей компьютерной системы, позволяющей без значительных материальных и временных затрат проводить вычислительный эксперимент.

Целью работы является анализ факторов, влияющих на качество и выход целевого продукта процесса каталитического риформинга углеводородов бензиновой фракции, повышение эффективности промышленной установки каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора Л-35-11/600 ОАО «Газпромнефть ОНПЗ».

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- изучение методики расчета работы установки риформинга с использованием математической компьютерной системы «Activ», основанной на нестационарной кинетической модели;
- оценка степени влияния изменения технологических параметров и состава входного сырья на эксплуатационные характеристики установки в целом;

- анализ сводных таблиц, построение графиков и выдача практических рекомендаций о повышении процесса риформинга бензинов со стационарным слоем катализатора.

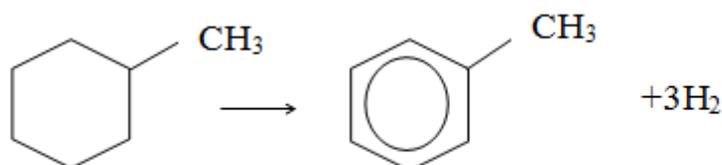
Применяемый в ходе расчетов метод математического моделирования позволяет решить выше перечисленные задачи и подобрать оптимальные условия проведения процесса на технологической установке риформинга со стационарным слоем катализатора.

## 1.1 Основные теоретические положения

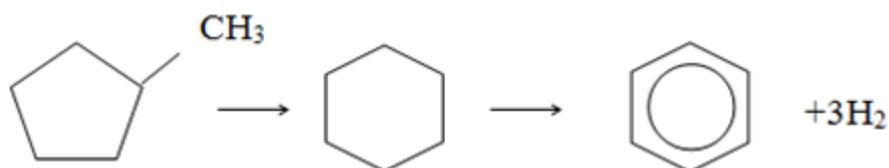
### 1.2 Химизм, механизм процесса

Основные химические реакции, протекающие в процессе каталитического риформинга, приводящие к получению ароматических углеводородов:

- 1) дегидрирование шестичленных циклоалканов



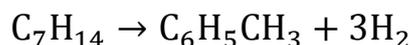
- 2) дегидроизомеризация пятичленных циклоалканов



- 3) дегидроциклизация парафиновых углеводородов

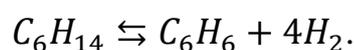


- 4) циклодегидрирование алкенов



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

Из уравнения реакции дегидрирования и дегидроциклизации видно, что в соответствии с законом действующих масс и принципом Ле-Шателье давление водорода должно смещать равновесие этих реакций справа налево:



Вместе с тем, показано, что чем выше давление водорода, тем меньше отложение кокса. Этими двумя противоречиями и диктуется выбор парциального давления водорода в риформинге.

При дегидрировании могут образовываться непредельные углеводороды (олефины, циклоолефины), которые превращаются в более высокомолекулярные соединения, вызывая закоксовывание катализатора.

С наибольшей скоростью протекают реакции дегидрирования шестичленных нафтенгов, а также изомеризации парафинов и нафтенгов. Наиболее медленно протекают реакции дегидроциклизации парафинов. В таблице 1 представлены данные об относительных скоростях и тепловых эффектах реакций риформинга.

Таблица 1[17] – Относительные скорости и тепловые эффекты реакций риформинга

Тип реакции	Относительная скорость для углеводородов		ΔН, кДж/моль
	С <sub>6</sub>	С <sub>7</sub>	
Дегидрирование нафтенгов	100	120	+221
Изомеризация парафинов	10	13	-4,6
Изомеризация нафтенгов	10	13	-15,6
Раскрытие циклопентанового кольца	5	3	-43,9
Гидрокрекинг	3	4	-56,4 (на моль Н <sub>2</sub> )
Дегидроциклизация парафинов	1	4	+260

Сырье каталитического риформинга подвергают предварительной гидроочистке с целью удаления каталитических ядов - серо- и азотсодержащих соединений.

Изменение углеводородного состава продуктов риформинга и октанового числа риформата по отдельным реакционным зонам зависит от варианта осуществления процесса.

Как известно, в промышленности риформинг осуществляют в слое катализатора, размещенного в трех последовательно расположенных реакторах. В общем случае в процессе риформинга в первом реакторе образование ароматических углеводородов происходит, главным образом, за счет превращения пяти- и шестичленных нафтен, во втором реакторе ароматизации подвергаются в основном циклопентановые и парафиновые углеводороды, в третьем – преимущественно превращаются парафины.

В качестве примера в таблице 2 представлены усредненные данные об изменении углеводородного состава продуктов риформинга различного сырья при прохождении слоя катализатора.

Таблица 2[17] – Изменение группового состава риформата по реакторам

Углеводороды	Исходное сырье фр. 85-180 °С	Содержание углеводородов, % мас.		
		Реактор 1	Реактор 2	Реактор 3 (нестабильный катализат)
Ароматические	10	34	41	45
Нормальные парафины	32	21	12	10
Изопарафины	32	32	29	19
Циклопентаны	15	5	3	2
Циклогексаны	11	0	0	0
Газ+потери	-	8	15	24

Наибольшей реакционной способностью обладают шестичленные нафтен, превращение нафтен, углеводородов в ароматические происходит в основном (83-94 % отн.) в первом реакторе и практически завершается во втором[17].

Парафиновые углеводороды в процессе каталитического риформинга претерпевают реакции дегидроциклизации, гидрокрекинга и изомеризации. Реакции гидрокрекинга в процесс риформинга являются побочными, и высокая их интенсивность нежелательна, так как приводит к снижению селективности процесса и уменьшению срока службы катализатора. Однако при производстве автомобильных бензинов частичный гидрокрекинг высокомолекулярных

парафиновых углеводородов полезен, так как позволяет увеличить октановое число риформата, повысить упругость паров и снизить температуру выкипания 50% об. бензина[17].

Селективность ароматизации в процессе каталитического риформинга определяется отношением прироста содержания ароматических углеводородов к убыли нафтеновых и парафиновых. Она характеризует косвенно условия для ароматизации углеводородов различных классов в соответствующих реакторах. Селективность во многом зависит от неоднородности химического состава исходного сырья. Повышению селективности процесса способствует дифференцирование температурного режима и парциального давления водорода по реакторам.

При практически неизменном содержании в сырье нафтеновых (26-28% мас.) и ароматических (8-10 % мас.) углеводородов содержание ароматических углеводородов в риформате по мере утяжеления сырья возрастает (с 45 до 67%) вследствие увеличения с ростом молекулярной массы скорости реакции дегидроциклизации парафиновых углеводородов в ароматические[17]. Независимо от углеводородного состава сырья и температуры процесса основное количество ароматических углеводородов образуется и первом и втором реакторах, и лишь около 10 % отн. в третьем реакторе.

### **1.3 Катализаторы риформинга**

Катализаторы риформинга обычно относят к бифункциональным каталитическим системам: они обладают как гидро-дегидрогенирующей, так и кислотно-основной функциями [5]. При изготовлении катализаторов риформинга обычно используют металлическую платину, являющуюся, как и другие металлы VIII группы, типичным гидрирующим-дегидрирующим катализатором. На платине протекают реакции дегидрирования шестичленных нафтенов, а на кислотно-основных центрах протекает дегидроциклизация

алканов. Платина способствует образованию ароматических углеводородов, т.к. ускоряет реакции гидрирования и дегидрирования. Так же, путем гидрирования, платина способна удалять промежуточные продукты, которые способствуют образованию кокса. Содержание Pt в катализаторах обычно составляет 0,30-0,65 % (мас.)[5]; при меньших концентрациях платины устойчивость катализатора к ядам уменьшается. Повышенное содержание металла также нежелательно, т.к. усиливаются реакции деметилирования и расщепления нафтеновых углеводородов. Другой причиной, ограничивающей содержание платины, является ее высокая стоимость.

Носитель в катализаторах риформинга выполняет не только функции подвода к активным металлам молекул сырья и отвода от них продуктов реакций, но и, обладая кислотно-основными свойствами, обеспечивает протекание изомеризации и циклизации углеводородов. Наиболее часто в качестве носителя в катализаторах нефтехимических производств используется оксид алюминия  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  [5], который получают при нагревании бемита до 500 °С.

Важное значение имеет кислотность носителя при переработке сырья с большим содержанием парафиновых углеводородов. Возбуждение металл-нанесенными катализаторами реакций изомеризации пятичленных нафтенов в шестичленные с последующей их дегидрогенизацией и дегидроциклизацией и гидрокрекинга парафинов ведет к образованию ароматических углеводородов. Сила собственных кислотных свойств носителя недостаточна для осуществления реакций изомеризации и циклизации алканов. Поэтому для их усиления очень часто в катализатор вводят кислотный промотор – фтор или хлор, чаще всего хлор, его содержание составляет 0,8-1,1 % (мас.)[4].

Для увеличения срока службы катализаторов в их состав также вводят редкоземельные элементы, чаще всего рений, также могут применяться иридий, германий, родий, свинец и олово, которые препятствуют рекристаллизации платины, т.е. укрупнению ее кристаллитов с течением времени и уменьшению числа ее активных центров. быстрому закоксуыванию катализаторов.

Содержание обоих металлов примерно в равных количествах – по 0,3 % (мас.)[4]. Платинорениевый катализатор позволяет вести процесс риформинга при 470-500 °С и 1,4-2,0 МПа[4]. На рис.1. видно, что к увеличению стабильности работы катализатора приводит наличие Pt-Re кластеров[5].

Для усиления и регулирования кислотной функции носителя в качестве промотора используют только хлор, его содержание составляет 0,8-1,1 % (мас.)[4].

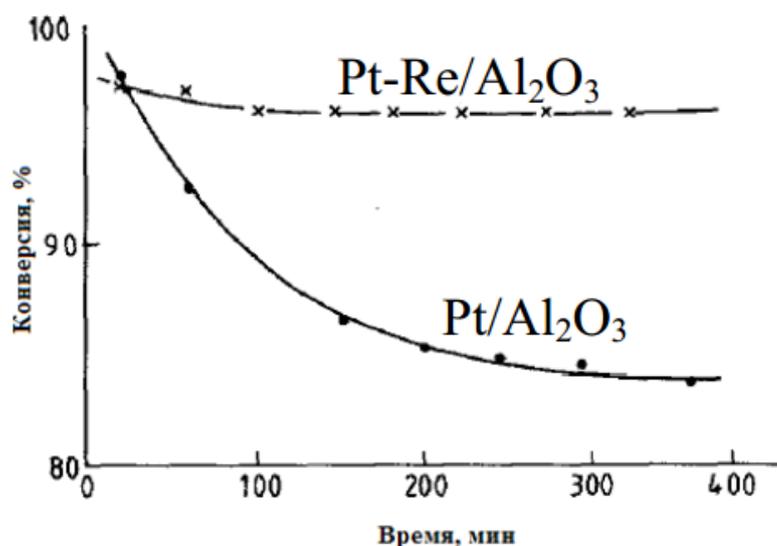


Рисунок 1 - Влияние Re в составе платинового катализатора на его устойчивость к закоксовыванию[5]

Активность, стабильность и селективность являются основными эксплуатационными характеристиками катализаторов риформинга. Активность катализатора характеризует глубину превращения сырья при заданных объемных скоростях пропускания его через катализатор. Селективность – это способность, протекания химической реакции в определенном направлении, то есть, в случае каталитического риформинга, свойство получать максимальный выход жидких продуктов и водорода. Стабильность катализатора определяется

способность сохранять первоначальную активность и селективности во времени.

Также не менее значимыми показателями катализатора являются механическая прочность и хорошая регенерируемость катализатора.

#### **1.4 Параметры процесса**

Технологические параметры, влияющие на процесс каталитического риформинга и характеристики получаемого сырья – теплота реакции, температура, давление, объемная скорость подачи сырья, кратность циркуляции водород содержащего газа.

*Теплота реакции.* Процесс риформирования сопровождается интенсивным поглощением теплоты, поэтому проведение реакции риформинга требует непрерывного подвода теплоты в зону реакции.

Тепловой эффект процесса – отрицательный. Содержание нафтеновых углеводородов определяет величину теплового эффекта, которая примерно составляет 250-630 кДж/кг[4].

*Температура.* Температура риформинга варьируется от 450 до 530 °С.

С повышением температуры ускоряются основные процессы риформинга – реакции дегидрирования, изомеризации, дегидроциклизации. Так же возрастает роль реакций ароматизации и гидрокрекинга, увеличивается выход ароматических углеводородов и октановое число получаемых продуктов. При прочих равных условиях с ростом температуры процесса снижается выход риформинг-бензина и содержание водорода в циркулирующем ВСГ, увеличивается закоксовываемость катализатора.

Выбор температуры осуществляется в зависимости от углеводородного состава сырья. Чем выше содержание парафинов углеводородов в сырье, тем более высокая температура требуется для получения продукта с заданным октановым числом. При нафтеновом сырье обычно поддерживают температуру

в интервале 450-460 °С, при парафиновом – 480-490 °С. Максимальный нагрев в конце цикла реакции ограничивается 520-530 °С[4]. Дальнейшее повышение температуры нежелательно, так как процесс сопровождается интенсивным образованием кокса на катализаторе и повышенным газообразованием, что приводит к значительному сокращению продолжительности рабочего цикла риформинга.

*Объемная скорость подачи сырья.* Этот параметр характеризует время контакта сырья с катализатором и обычно составляет 1-2 ч<sup>-1</sup>.

При неизменном давлении и температуре процесса, с понижением объемной скорости преобладающую роль начинают играть реакции гидрокрекинга парафинов. Уменьшение скорости подачи сырья приводит к повышению выхода углеводородного газа, понижению выхода катализата и водорода, снижению селективности процесса.

С увеличением объемной скорости начинают преобладать реакции изомеризации и дегидрирования парафинов и нафтенов, возрастает выход риформинг-бензина, но за счет уменьшения доли ароматических соединений падает октановое число получаемого катализата.

Температура и объемная скорость подачи сырья тесно связаны, поэтому умелое их сочетание позволяет на одном и том же катализаторе достичь оптимального результата по выходу риформата и степени его ароматизации.

*Давление.* Оптимальное давление на установках со стационарным слоем катализатора составляет 1,5-2,0 МПа[4]. Ведение процесса под давлением водорода позволяет значительно подавить коксообразование. При уменьшении рабочего давления возрастает селективность процесса, уменьшается выход газообразных углеводородов и увеличивается выход аренов.

*Кратность циркуляции водородсодержащего газа* – отношение объема циркулирующего газа (приведенного к нормальным условиям) к объему сырья, проходящего через реакторы в единицу времени (м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> сырья).

Оптимальное значение кратности циркуляции ВСТ, которое зависит от качества исходного сырья и назначения процесса риформирования, выбирают

таким образом, чтобы предотвратить интенсивное образование кокса. Кратность циркуляции в промышленных процессах находится в пределах 900-1500 м<sup>3</sup> газа на 1 м<sup>3</sup> сырья[4].

Чрезмерное повышение кратности циркуляции ВСГ снижает глубину процесса, увеличивает расход топлива в печи для подогрева газа и нагрузку на компрессор, тем самым снижается эффективность риформинга и повышаются эксплуатационные расходы на установке. При уменьшении кратности циркуляции возрастает закоксовываемость катализатора за счет увеличения парциального давления паров сырья.

### **1.5 Технологическое оформление каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора**

В состав установки каталитического риформинга входят, как правило, блоки гидроочистки сырья, собственно риформинга а также секция стабилизации катализата.

На рисунке 2 представлена упрощенная схема установки каталитического риформинга гидроочищенной бензиновой фракции.

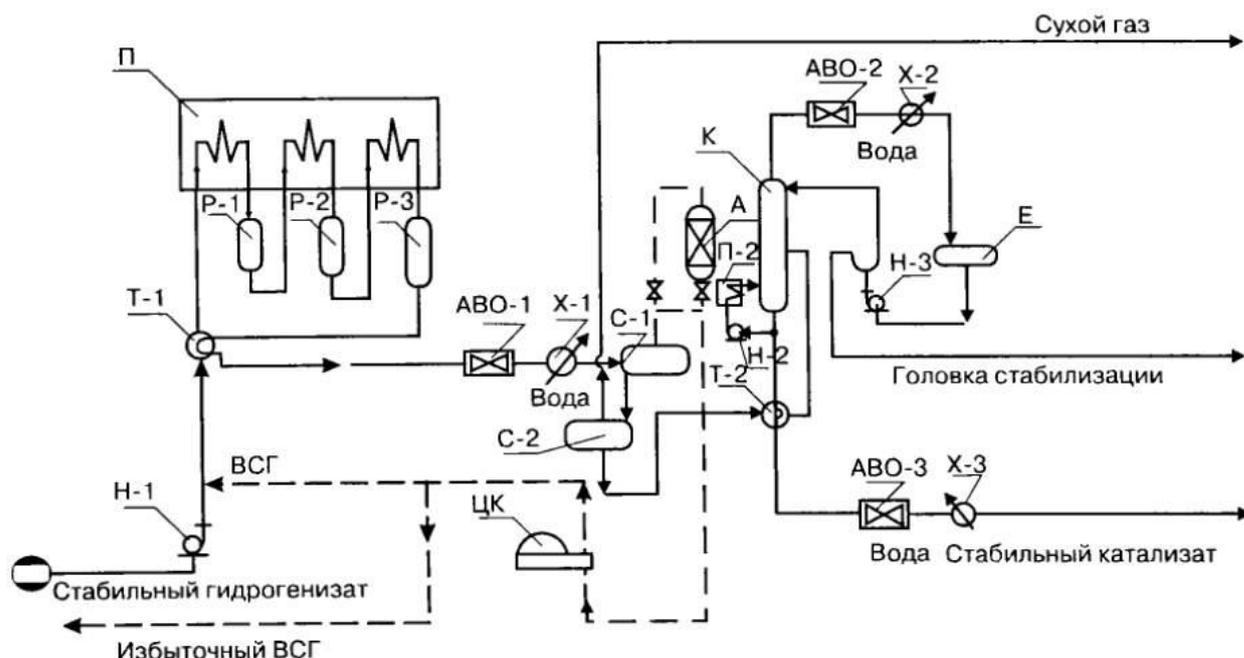


Рисунок 2 - Технологическая схема установки каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора

Стабильный гидрогенизат с блока гидроочистки направляется на прием сырьевого насоса Н-1 установки каталитического риформинга, затем смешивается с циркулирующим ВСГ, поступающим от компрессора ЦК.

Газосырьевая смесь проходит через трубное пространство системы теплообменников Т-1, где нагревается потоками продуктов реакции, выходящими из третьего реактора, и поступает в конвекционную, а затем в радиантную камеру первой секции трехсекционной трубчатой печи П, после чего газосырьевая смесь поступает в первый реактор Р-1.

Далее газопродуктовая смесь нагревается в радиантной камере второй секции трубчатой печи П, затем поступает во второй реактор Р-2, откуда направляется в радиантную камеру третьей секции трубчатой печи П и в третий реактор Р-3.

Газопродуктовая смесь из третьего реактора проходит систему теплообменников Т-1, отдавая свое тепло сырьевому потоку, затем охлаждается последовательно в воздушном АВО-1 и водяном Х-1 холодильниках и поступает на разделение в сепаратор высокого давления С-1.

В сепараторе С-1 от газопродуктовой смеси отделяется ВСГ направляемый на осушку цеолитом в адсорбер А. Осушенный ВСГ забирается компрессором ЦК и подается на циркуляцию в линию смешения с сырьевой смесью. Избыточное количество ВСГ отводится с установки.

Нестабильный катализат (рифформат) из сепаратора С-1 подается в сепаратор низкого давления С-2. Из сепаратора С-2 жидкая фаза направляется в блок стабилизации, подогревается в системе теплообменников Т-2 и поступает в стабилизационную колонну К — фракционирующий абсорбер, в который также подается паровая фаза из сепаратора С-2. Сверху колонны К выводится смесь жирного газа стабилизации и нестабильной пропан-бутановой головки катализата. После охлаждения и частичной конденсации последовательно в воздушном АВО-2 и водяном Х-2 холодильниках смесь поступает в емкость Е. Газ стабилизации из емкости Е отводится на газофракционирующую установку (ГФУ).

Часть жидкого продукта – нестабильной головки катализата из емкости Е насосом Н-3 возвращается в колонну К в качестве орошения (абсорбента), а балансовое количество направляется на ГФУ.

Необходимое для стабилизации количество тепла вводится в колонну путем циркуляции стабильного катализата через трубчатую печь П-2 с помощью насоса Н-2.

Балансовое количество дебутанизованного стабильного катализата снизу колонны К проходит систему теплообменников Т-2, отдавая тепло газопродуктовой смеси из сепаратора С-1, охлаждается последовательно в воздушном АВО-3 и водяном Х-3 холодильниках и отводится с установки[17].

Регенерацию катализатора проводят следующим образом. Прекращают прием сырья на установку, отключают блок гидроочистки и блок стабилизации. Циркуляцию водород содержащего газа в блоке риформинга продолжают для промывки системы от углеводородов. Сокращают подачу топлива в форсунки печи риформинга до полного отключения. После охлаждения до 200 °С циркуляцию ВСГ прекращают. Из реакторов остаток паров углеводородов

отсасывают вакуумным насосом. После этого установку заполняют инертным газом до давления 1 МПа и постепенно разогревают реакторный блок. При 250 °С к инертному газу добавляют воздух в таком количестве, чтобы содержание кислорода в инертном газ не превышало 0,5% (об.) в начале регенерации и 2% (об.) – в конце. Выжигание кокса проводят в две ступени: первая ступень – при 250-300 °С, вторая – при 380-400 °С. После окончания выжигания кокса катализатор прокаливают при 500 °С[4]. Затем систему охлаждают, циркуляцию инертного газа прекращают и снова продувают систему водородсодержащим газом.

## **2 Литературный обзор**

### **2.1 Повышение эффективности каталитического риформинга с помощью математического моделирования и моделирующих компьютерных систем**

Каталитический риформинг – важнейший промышленный процесс, применяемый в нефтехимической промышленности с целью получения высокооктановых компонентов бензина и индивидуальных ароматических углеводородов.

Решение задач, возникающих при разработке и эксплуатации современных технологических процессов переработки природного углеводородного сырья, невозможно без применения моделирующих программ, имеющих высокую точность прогнозирования параметров технологических процессов и позволяющих без значительных материальных и временных затрат проводить вычислительные эксперименты для этих процессов [21].

Основу любой моделирующей системы составляет математическая модель, полученная на основе корреляционных, статистических, формализованных технологических данных, либо физико-химических моделей.

Естественно, что наибольшей надежностью обладают модели, разработанные на основе механизма и кинетики превращения углеводородов на поверхности катализатора. На практике, к сожалению, очень часто используются формализованные математические модели, выполненные на основе статистической обработки фактической информации. Они не могут быть применены для прогнозирования промышленного процесса в динамике [22].

Вопросам управления и оптимизации процесса каталитического риформинга посвящено достаточное количество исследований и публикаций, среди которых можно выделить работы таких авторов, как J. Crane, J.M. Smith, Ю.М. Жоров, С.А.Ахметов, Г.Н.Семенцов. Авторы данных работ сходятся во мнении, что производительность и технико-экономические показатели данного процесса во многом зависят от эффективности управления установкой каталитического риформинга.

И. Л. Левчук в [6, 15] на основе метода нелинейной оптимизации Хука-Дживса, дополненного процедурой контроля границ варьируемых параметров, представляет постановку задачи статической оптимизации процесса каталитического риформинга, а также способ управления данным процессом путем изменения температуры реакционной смеси на входах первого и второго реакторах, при постоянном предельном значении остальных управляющих воздействий. На основании технико-экономического анализа работы установки риформинга Одесского НПЗ выполнена постановка задачи оптимального управления процессом в виде функции выхода катализата при пяти ограничениях по температуре, кратности циркуляции, октановому числу, жесткости ведения процесса и нагрузке реакторного блока.

С целью выявления зависимости оптимального управления реакторным блоком риформинга от чувствительности оптимальных режимов к возмущающим воздействиям процесса, был проведен ряд однофакторных экспериментов относительно основного уровня возмущающих воздействий, соответствующих базовому режиму, не являющемуся оптимальным.

Как видно из рисунка 3 разработанный алгоритм расчета оптимальных режимов процесса и способ управления на его основе, обеспечивает увеличение выхода целевого продукта — катализата в среднем на 3–5 %, что подтверждено результатами экспериментальной апробации.

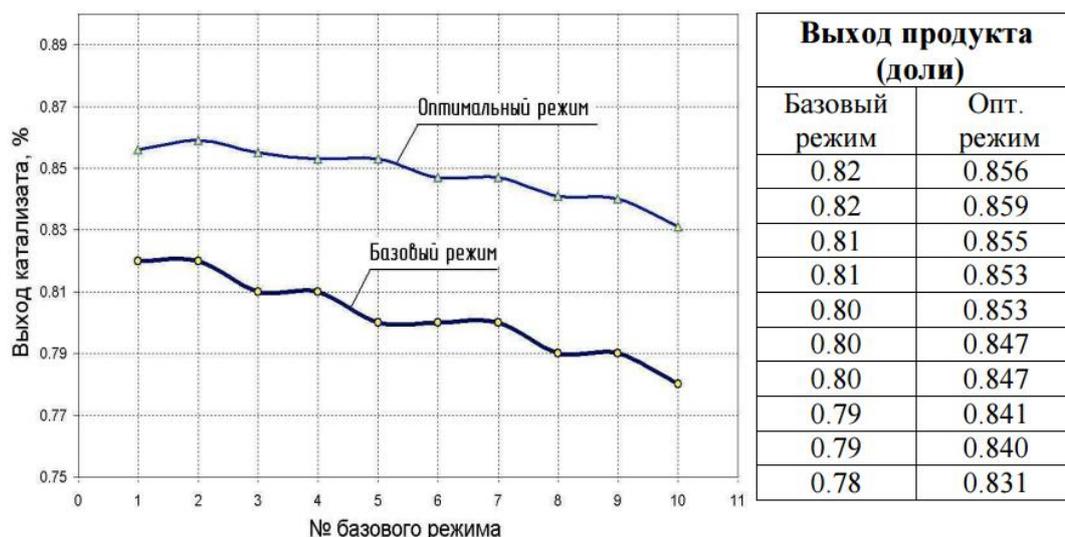


Рисунок 3 - Сравнение базовых и оптимальных режимов процесса

В статье [16] тот же автор предлагает математическую модель на основе кинетической модели Смита и комбинированный нейросетевой интеллектуальный метод идентификации математической модели каталитического риформинга на базе термодинамических параметров, который позволяет минимизировать время поиска настроечных коэффициентов за счет использования нейронной сети для снижения количества шагов итерационных алгоритмов на различных этапах идентификации. Основанием для создания данной модели послужило то, что все известные до настоящего времени математические модели изначально были созданы для описания работы одного реактора каталитического риформинга, при этом настроечные коэффициенты принимались одинаковыми для каждого из реакторов, следовательно, в подобных моделях не полностью учитывалась специфика протекания процесса в отдельных реакторах реакторного блока, а также не учитывалась нестационарность описываемого объекта. Разработанная в данной работе модель дает в среднем на 3-7% меньшую ошибку по основным расчетным параметрам, по сравнению с аналогами.

Фактором, определяющим эффективность каталитического риформинга бензинов, является стабильность и активность работы Pt-катализаторов. В связи с этим уделяется много внимания для разработки моделирующих систем,

которые обеспечивают возможность оценки кинетических параметров различных контактов методом решения обратной кинетической задачи и прогнозирования показателей текущей и стационарной активности, избирательности и длительности межрегенерационного пробега в условиях промышленной эксплуатации с учетом конструкционных особенностей реакторного блока и компонентного состава сырья.

Авторы [2] предлагают компьютерную моделирующую систему «Система контроля работы катализатора», разработанную на кафедре химической технологии топлива и химической кибернетики Томского политехнического университета [3], которая основана на нестационарной кинетической модели каталитического риформинга и учитывает как физико-химические закономерности превращения углеводородов на поверхности Pt–Re катализаторов, так и изменение состава перерабатываемого сырья. – компонентов сырья. Для обеспечения оптимального режима в промышленных условиях необходимо поддерживать требуемое соотношение скоростей целевых и побочных реакций риформинга, а также сохранять равновесие реакций образования и гидрирования коксогенных структур, определяемого соотношением активных кислотных и металлических центров.

Сырье для процессов риформинга обычно содержит парафины, нафтены и ароматические соединения с 6–12 атомами углерода. Большинство подаваемого сырья должно быть подвергнуто гидроочистке, для удаления металлов, олефинов, серы и азота, перед подачей в реакторы. В работе [12] представлен способ оптимизации состава сырья на установках каталитической изомеризации и каталитического риформинга бензинов совместно с блоком колонн разделения с использованием математической модели «HYSYS IZOMER ACTIV». Авторами показано, что выбор оптимальных технологических условий сопряженных процессов каталитического превращения углеводородов и ректификации позволит снизить содержание гептановых углеводородов и тем самым продлить срок службы катализатора СИ-2 на промышленной установке Л–35–11/300.

Большинство крупных нефтеперерабатывающих предприятий России (Лукойл, Газпром, Роснефть, Киришинефтеоргсинтез, Сургутнефтегаз и др.) в настоящее время для оптимизации процесса каталитического риформинга используют индивидуальные моделирующие системы такие как: Riform III , Activ+C, ActivII, Reniform+, Риформинг[9].

Реализация математических моделирующих систем на нефте-, газоперерабатывающих предприятиях дает возможность снизить затраты на производство, увеличить производительность завода, повысить качество продуктов, а также удовлетворить потребность населения в получении топлива требуемого качества.

## **2.2 Современные катализаторы риформинга**

Разработка и применение современных катализаторов с высокой активностью и селективностью являются ключевыми в развитии каталитического риформирования.

Все современные катализаторы риформинга бензиновых фракций при определенных режимах процесса могут обеспечивать получение риформата с октановым числом 97-103 (и.м.). Совершенствование катализаторов продолжается в основном в направлении увеличения выхода стабильного риформата и водорода, а так же удлинения межрегенерационного цикла[4].

С целью увеличения выхода стабильного риформата и водорода, а также совершенствования действующей установки ПР-22-35-11/1000 в работе [8] предлагают полностью заменить катализатор R-86 на катализатор РБ-33У (для первого по ходу реактора) и РБ-44У (для двух последующих), разработанный ООО НПФ «Олкат». Полиметаллические катализаторы РБ-33У и РБ-44У представляют собой сбалансированную композицию платины и рения, равномерно распределённых на поверхности носителя – активного оксида алюминия и включает в свой состав модификаторы[11]. Показатели качества

данных катализаторов представлены в таблице 3. Процесс риформинга с этими катализаторами не отличается от процесса с катализатором R-86 температурным режимом и объёмной скоростью, но отличается увеличенным давлением.

Также в работе [14] приведены сравнительные показатели работы установок риформинга (таблица 4), из которых видно, что для комбинации отечественных катализаторов РБ-33У+РБ-44У характерен более высокий выход стабильного катализата при прочих равных условиях. Несмотря на некоторые различия в условиях эксплуатации сравниваемых катализаторов можно сделать вывод, что комбинация отечественных катализаторов сменит R-86 без заметных колебаний показателей выхода и качества целевого продукта, а также повысит концентрацию водорода в получаемом водородсодержащем газе до 84,5 %.

Таблица 3[13] – Показатели качества современных катализаторов

<b>Наименование показателя</b>	<b>РБ-33У</b>	<b>РБ-44У</b>
Массовая доля платины, %	0,28-0,32	0,23-0,27
Массовая доля рения, %	0,28-0,32	0,28-0,42
Массовая доля хлора, %	1,0-1,5	1,0-1,5
Массовая доля железа, %	0,01	0,01
Массовая доля оксида натрия, %	Менее 0,01	Менее 0,01
Коэффициент прочности, кг/мм	1,8-2,2	1,8-2,2
Насыпная плотность, г/дм <sup>3</sup>	0,75	0,75
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	210-225	210-225

Таблица 4[14] – Сравнительные показатели работы установок риформинга

Показатели	Марка катализатора	Давление кгс/см <sup>2</sup>	Кратность циркуляции, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	Объемная скорость подачи сырья, ч <sup>-1</sup>	Температура входа, С°	ОЧИМ	Выход стабильного катализатора, % масс.
ООО «Лукойл-ВНП»	R-86	15,9	-	1,15/1,27	486-493	97,4 - 98,6	80,5-80,0
ОАО «АНХК»	РБ-33У+РБ-44У	17,5	1040-1060	1,29-1,32	490	95,2 - 96,2	86,5-89,0

Также основная проблема, которая не позволяет конкурировать отечественному бензину с зарубежными производителями, является содержание в топливе немалого количества ароматических углеводородов, в особенности бензола.

В связи с этим в работах [7,10] предлагают заменить действующий катализатор R-86 компании «UOP» на установке каталитического риформинга бензиновых фракций ПР-22-35-11/1000 с производительностью 1 млн. т/год при температуре 503-532 °С и давлении 1,56–1,96 МПа на отечественные. Авторы [10] описывают опыт замены во втором реакторе установки катализатора R-86 на отечественный катализатор СИ-2 компании ОАО «НПП Нефтехим», который представляет собой платину, равномерно распределенную по поверхности цикорийсодержащего носителя, модифицированного добавкой оксида алюминия. Замена катализатора позволила снизить суммарное содержание ароматических углеводородов в риформате на 20 % (масс.), увеличить выход продукта на 1,2 % при сохранении высокого показателя октанового числа. В то время, как, авторы [7] для улучшения показателей процесса предлагают использовать эффективный цеолитсодержащий катализатор H-ZSM-5, который позволяет уменьшить содержание бензола в катализате на 0,2% об. Данный катализатор содержит железоалюмосиликат со

структурой высококремнеземного цеолита типа H-ZSM-5, модифицирующий компонент, из группы: Cu, Zn, Ni, Mo, в количестве 1,0.3,0 % (мас.), введенный в железоалюмосиликат в виде наноразмерных порошков металлов. Помимо понижения содержания бензола в катализате, улучшатся технические характеристики ведения процесса на более «мягкие»  $t=350-425$  °С, объемная скорость 1,0-2,0 ч<sup>-1</sup>, и давление 0,1-1,0 МПа.

В работах [18,19] описан опыт промышленного применения алюмоплатиноэрионитного катализатора риформинга в секции С-100 риформинга Сургутского ЗСК. Отличительной особенностью сырья риформинга на данном предприятии является высокое содержание нафтенов. Эрионитсодержащий катализатор СГ-3П был разработан во ВНИИНефтехим для селективного гидрокрекинга рафинатов и риформата. Риформинг на платиноэрионитном катализаторе может осуществляться при более низкой температуре и высокой объемной скорости подачи сырья по сравнению с традиционными катализаторами.

Существенным недостатком эрионитного катализатора является пониженный (81 % мас.) выход стабильного риформата. Даже при низкой температуре на этом катализаторе реакции крекинга n-парафинов протекают в 1,5 раза интенсивнее, чем на алюмоплатинорениевом. Так, гексаны расщепляются до пропана, что приводит к их высокому содержанию в циркулирующем водородсодержащем газе[20]. При этом повышение температуры процесса риформинга на традиционном катализаторе приводит к увеличению октанового числа риформата в результате ароматизации n-парафинов, то ужесточение температурного режима, осуществляемого на катализаторе СГ-3П, ведет к усилению реакции гидрокрекинга. К аналогичному результату приводит и повышение давления.

Катализатор СГ-3П применялся в секции риформинга Сургутского ЗСК с 2002 по 2007 г., после чего был заменен катализатором СГ-3П-М, разработанным НПФ «ОЛКАТ». Новый катализатор ввиду пониженного содержания эрионита обладает высокой селективностью в реакциях

ароматизации н-парафинов. Процесс осуществляют при объемной скорости подачи сырья  $4 \text{ ч}^{-1}$ , температуре на входе в реакторы риформинга 469-470 °С, давлении в последнем реакторе 2МПа, кратности циркуляции ВСГ  $1220 \text{ нм}^3/\text{м}^3$ . В этих условиях выход стабильного риформата с октановым числом 93-94 пункта (по ИМ) и 83-84 (по ММ) составляет 92% мас.[20].

Таким образом, при переработке сырья с высоким содержанием нафтенов платиноэрионитный катализатор по ряду показателей превосходит платинорениевые катализаторы риформинга. Показатели качества данных катализаторов представлены в таблице 5.

Таблица 5[11] – Показатели качества платиноэрионитных катализаторов

<b>Показатели</b>	<b>СГ-3П-М марка А</b>	<b>СГ-3П-М марка Б</b>
Содержание платины, % мас.	0,50	0,50
Содержание эрионита, % мас.	3,75-5	7,5-10
Диаметр экструдатов, мм	1,2 / 3,0	1,2 / 3,0
Коэффициент прочности, кг/мм не менее	1,2	1,2
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup> не менее	0,60	0,60
Межрегенерационный цикл, лет при выработке риформата с ОЧ по ИМ 95-96	до 2	до 2
Срок службы, лет		
гарантированный	5	5
ожидаемый	8	8

Также интенсивно проводятся исследования по созданию технологии безводородного реформинга на цеолитсодержащих катализаторах (процессы «ЦЕОФОРМИНГ», «КАТРИФЛТ»), не содержащих благородных металлов, что существенно удешевляет процесс [20]. Безводородный реформинг осуществляется при атмосферном или несколько большем давлении без предварительной гидроочистки сырья. В качестве катализаторов предлагается использовать высококремнеземные цеолиты и их смеси с  $\gamma$ -оксидом алюминия. Данные катализаторы нечувствительны к влаге и способны активировать реакции десульфирования и деазотирования. Их недостатком является повышенный выход газа вследствие высокой доли реакции гидрокрекинга.

### 3 Объект и методы исследования

Современные требования к моторному топливу и потребность населения в нем, говорят о срочной необходимости в модернизации процесса каталитического риформинга: обновления оборудования, увеличения глубины переработки сырья и качества получаемых продуктов, повышения качества катализаторов. Совершенствование технологии каталитического риформинга и повышение эффективности процесса требуют применения методов математического моделирования и компьютерных моделирующих систем. Актуальной технической задачей является создание и внедрение таких систем в нефтепереработку.

В процессе каталитического риформинга одновременно протекают десятки разнотипных реакций с участием сотен индивидуальных углеводородов, что делает создание адекватных математических моделей весьма сложной задачей.

Разработанная на кафедре химической технологии топлива и химической кибернетики Томского политехнического университета компьютерная моделирующая программа «Aktiv», используемая для расчета и мониторинга процесса каталитического риформинга бензинов со стационарным слоем катализатора, позволяет решить вышеперечисленные задачи [23]. Данная программа основана на нестационарной кинетической модели каталитического риформинга и учитывает как физико-химические закономерности превращения углеводородов на поверхности Pt-Re катализаторов, так и изменение состава перерабатываемого сырья [2].

Объектом проведенного исследования стала установка каталитического риформинга Л-35-11/600 ОАО «Газпромнефть-Омский НПЗ» г. Омск. Установка предназначена для получения стабильного риформата – высокооктанового компонента автомобильных бензинов и водородсодержащего газа.

Мощность установки по сырью - прямогонной бензиновой фракции 85-180°C составляет 600 тыс.т/год.

Установка введена в эксплуатацию в 1973 году. Проект установки выполнен Ленгипронефтехимом, привязка проекта - Омским филиалом института ВНИПИ- Нефть.

На установке Л-35-11/600 вырабатываются следующие нефтепродукты:

- Стабильный платформат – используется в качестве высокооктанового компонента бензинов;
- Головка стабилизации – используется в качестве сырья ГФУ-2;
- Водородсодержащий газ – используется на установках, потребляющих водород;
- Углеродородный газ отпарки – используется в качестве топливного газа;
- Углеродородный газ стабилизации – используется в качестве топливного газа.

Исходными данными для расчета в моделирующей программе являются данные компонентного состава сырья и катализата (хроматограммы сырья и катализата), температура и давление по реакторам, состав ВСГ, расход сырья и ВСГ, влажность сырья и содержание серы. Часть данных берется из хроматограмм сырья и катализата, другая часть – из заводской сети PI Processbook, в которой в реальном времени по схеме установки отображаются основные технологические параметры.

Фракционный и компонентный состав сырья и получаемых продуктов приведен в таблицах 6 и 7.

Таблица 6 – Состав сырья установки (дата отбора проб 01.04.14)

Наименование показателя	
1 Сырьё гидроочистки - бензиновая фракция с установки первичной перегонки нефти	
Фракционный состав: - температура начала перегонки, °С - пределы перегонки, °С: 10% 50% 90% конец кипения, °С	60,3 80,7 117,5 161,3 195,9
Углеводородный состав, % мас.: - ароматика - нафтены - парафины - олефины	8,3 42,9 48,2 -
Содержание примесей, ppm мас.: - сера - азот	22,0 0,5
2 Сырьё платформинга - гидрогенизат	
Содержание примесей, ppm мас., не более: - сера - азот	0,5 0,5

Таблица 7 – Состав продуктов установки (дата отбора проб 01.04.14)

Наименование продуктов, показатели	Величина показателя	Направление использования
1 Стабильный платформат Фракционный состав: - температура начала перегонки, °С - пределы перегонки, °С: 10% 50% 90% конец кипения, °С	-11,7 36 110,6 165,2 218	На компаундирование в качестве высокооктанового компонента
2 Водородсодержащий газ Углеводородный состав, % об.: - водород - метан - этан - пропан - i-бутан - n-бутан - i-пентан - n-пентан - гексан и выше	75,1 11,9 6,3 3,8 0,8 0,8 0,3 0,3 0,6	В сеть ВСГ для использования на установках, потребляющих водород
3 Углеводородный газ отпарки Углеводородный состав, % об.: - сероводород	0,44	В топливную сеть

Продолжение таблицы 7

- водород	71,33	
- метан	6,25	
- этан	8,04	
- пропан	5,16	
- i-бутан	1,29	
- n-бутан	1,39	
- i-пентан	0,60	
- n-пентан	0,25	
- гексан и выше	5,25	
4 Нестабильная головка платформинга Углеводородный состав, % мас.:		На ГФУ-2
- метан	0,06	
- этан	2,38	
- пропан	22,62	
- i-бутан	26,03	
- n-бутан	47,90	
- i-пентан	0,94	
- n-пентан	0,05	
5 Углеводородный газ стабилизации Углеводородный состав, % об.:		В топливную сеть
- водород	8,39	
- метан	2,92	
- этан	16,12	
- пропан	36,31	
- i-бутан	15,17	
- n-бутан	0,15	
- i-пентан	0,01	
-n-пентан	41,50	

Данные по составу сырья и катализата необходимо преобразовать в соответствующие файлы, пригодные для использования моделирующей системой. Активное окно компьютерной моделирующей системы, отвечающее за ввод данных по составу сырья и катализата, представлено на рисунке 4.

Состав сырья и катализата											
Состав сырья и катализата, % вес.											
	Сырье	Катализат		Сырье	Катализат		Сырье	Катализат			
1.	Этан	0,000	0,000	24.	1,3-ДМЦП (т)	1,302	0,000	47.	нафт. до С8	4,302	0,455
2.	Пропан	0,000	0,032	25.	1,2-ДМЦП (т)	2,239	0,124	48.	н-Октан	5,453	0,627
3.	изо-Бутан	0,000	0,699	26.	н-Гептан	6,697	2,224	49.	1,2-ДМЦГ (т)	1,504	0,046
4.	н-Бутан	0,002	4,132	27.	1,2-ДМЦП	0,274	0,037	50.	1,3-ДМЦГ (т)	0,505	0,035
5.	изо-Пентан	0,035	4,384	28.	2,3-ДМГ	0,035	0,078	51.	2,3,5-ТМГ	0,096	0,000
6.	н-Пентан	0,118	3,027	29.	1,1,3-ТМЦП	0,541	0,023	52.	2,2-ДМГП	0,954	0,006
7.	2,2-ДМБ	0,015	0,571	30.	МЦГ	8,938	0,121	53.	2,4-ДМГП	0,000	0,014
8.	ц-Пентан	0,111	0,000	31.	2,5-ДМГ	0,000	0,000	54.	2,2,3-ТМГ	0,672	0,011
9.	2,3-ДМБ	0,112	0,870	32.	2,4-ДМГ	0,436	0,000	55.	2-М, 3-ЭГ	0,000	0,000
10.	2-МП	1,016	3,731	33.	ЭЦП	1,443	0,233	56.	2,6-ДМГП	0,148	0,000
11.	3-МП	0,811	2,886	34.	2,2,3-ТМП	0,026	0,274	57.	2,5-ДМГП	0,034	0,103
12.	н-Гексан	3,276	3,673	35.	1,2,4-ТМЦП	0,768	0,028	58.	3,3-ДМГП	0,000	0,022
13.	МЦП	2,939	0,670	36.	3,3-ДМГ	0,334	0,264	59.	ЭЦГ+ЭБензол	2,520	3,202
14.	2,2-ДМП	0,068	0,268	37.	Толуол	1,444	18,083	60.	ТМЦП	0,000	0,000
15.	2,4-ДМП	0,238	0,417	38.	1,2,3-ТМЦП	3,447	0,031	61.	2,3,4-ТМГ	0,054	0,023
16.	Бензол	0,142	4,983	39.	2,3,4-ТМП	0,116	0,013	62.	п-Ксилол	0,335	3,188
17.	2,2,3-ТМП	0,028	0,028	40.	2,3-ДМГ	0,301	0,180	63.	м-Ксилол	1,400	8,975
18.	3,3-ДМП	0,055	0,258	41.	2-М, 3-ЭП	0,358	0,049	64.	изо-С9	4,125	0,460
19.	ц-Гексан	3,264	0,062	42.	1,1,2-ТМЦП	0,000	0,000	65.	о-Ксилол	0,821	4,215
20.	2-МГ	1,959	2,356	43.	2-МГП	2,666	0,633	66.	нафт. до С9	6,071	0,173
21.	2,3-ДМП	0,749	0,837	44.	4-МГП	0,788	0,308	67.	н-Нонан	3,736	0,149
22.	3-МГ	2,571	3,338	45.	3,4-ДМГ	0,190	0,110	68.	С9+	13,867	16,786
23.	1,3-ДМЦП (ц)	1,136	0,095	46.	3-МГП	1,578	0,803	69.	в т. ч. Ар	3,346	16,351
<b>Сумма сырья:</b>		<b>99,163</b>		<b>Сумма катализата:</b>		<b>99,423</b>					
Фракционный состав и плотность для введенного углеводородного состава сырья, в 0С											
НК	86,00	10%	96,00	50%	113,0	90%	152,0	КК	175,0	ρ, г/см <sup>3</sup>	0,730
<b>Открыть</b>		<b>Сохранить как</b>		<b>Импорт из хроматограммы</b>				<b>Далее</b>			

Рисунок 4 – Активное окно моделирующей системы, отвечающее за ввод данных по составу сырья и катализата

Помимо этого, для проведения мониторинга необходимо внесение технологических параметров ведения процесса на данном катализаторе, которое берется из режимных листов ведения процесса. Окно для ввода технологических данных приведено на рисунке 5.

**Технологические параметры процесса риформинга**

Дата отбора: 01.04.2014

Дата регенерации катализатора: 19.04.2013

Объем переработанного сырья, т.: 448110

Расход ВСГ, м.куб/час: 82680,0

Влажность ВСГ, ppm: 6,3

Серы в гидрогенизате, ppm: 0,10

Расход сырья, м.куб/час: 60,0

**P-2**

Давление, атм: 27,00

Температура, °C: 505,0

Перепад темп., °C: 76,0

**P-3**

Давление, атм: 27,00

Температура, °C: 505,0

Перепад темп., °C: 32,0

**P-4**

Давление, атм: 27,00

Температура, °C: 505,0

Перепад темп., °C: 10,0

**Печь**

Состав ВСГ	H <sub>2</sub>	C1	C2	C3	н-C4	изо-C4	н-C5	изо-C5	C6	
	75,16	11,93	6,25	3,80	0,78	0,84	0,33	0,33	0,58	(100,0%)

Гидрогенизат → Катализат

Сохранить      << Назад

Рисунок 5 – Окно для ввода технологических данных

Кроме мониторинга процесса риформинга, данная моделирующая система позволяет проводить исследования по влиянию состава сырья, а также прогнозировать работу установки при изменении технологических параметров.

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

В рамках данного раздела ВКР необходимо провести оценку коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения данного проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Будет проведено планирование и формирование бюджета научных исследований. А так же попытаемся определить ресурсную, социальную и экономическую или иную эффективность проводимого исследования.

### **5.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

Целевой рынок – нефтехимическая промышленность.

Сегментирование – вторичная переработка углеводородного сырья.

### **5.2 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **5.2.1 Анализ конкурентных технических решений**

Данная дипломная работа посвящена исследованию влияния различных технологических режимов на работу установки процесса каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора.

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

Помимо каталитического риформинга с периодической регенерацией катализатора существует также риформинг с непрерывной регенерацией катализатора (НРК) и с полунепрерывной регенерацией катализатора (дуалформинг).

Поэтому необходимо провести анализ конкурентных технических решений с целью убедиться в том, что проектируемая разработка не уступает

по качеству конкурентным и после реализации проекта будет отвечать всем требованиям эффективности и надежности при эксплуатации.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты (таблица 1). Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок. В качестве последних будем рассматривать следующие:

1) Процесс риформинга с ПРК характеризуется простой технологической схемой, небольшими капиталовложениями и эксплуатационными затратами и относительно легкой управляемостью.

2) Технология риформинга с НРК позволяет эксплуатировать установки в непрерывной режиме, исключить необходимость в периодических остановках процесса для проведения регенерации катализатора.

3) Особенностью технологии дуалформинга является применение неподвижного слоя катализатора в первых трех реакторах, а в последнем реакторе – движущегося слоя катализатора.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таблица 15 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Производительность по сырью	0,070 (5)	5	5	5	0,350	0,350	0,350
2. Выход стабильного риформата	0,070 (5)	4	5	4	0,280	0,350	0,280
3. Соотношение ВСГ:сырье	0,056 (4)	3	5	4	0,168	0,280	0,224
4. Среднее давление в системе	0,042 (3)	4	3	3	0,168	0,126	0,126
5. Производственный цикл эксплуатации	0,042 (3)	3	5	4	0,126	0,210	0,168
6. Выход водорода	0,056 (4)	4	4	3	0,224	0,224	0,168
7. Октановое число	0,070 (5)	5	5	4	0,350	0,350	0,280
8. Выход ароматических углеводородов	0,056 (4)	4	4	4	0,224	0,224	0,224
9. Энергозатраты	0,056 (4)	4	3	4	0,224	0,168	0,224
10. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,056 (4)	5	4	4	0,280	0,224	0,224
11. Простота обслуживания	0,056 (4)	5	3	4	0,280	0,168	0,224
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,070 (5)	4	4	4	0,280	0,280	0,280
2. Капиталовложения	0,056 (4)	5	4	5	0,280	0,224	0,280
3. Цена	0,056 (4)	4	4	4	0,224	0,224	0,224
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,056(4)	3	4	4	0,168	0,224	0,224
5. Обслуживание установки	0,056 (4)	5	4	5	0,280	0,224	0,280
6. Экономическая эффективность	0,070 (5)	4	4	4	0,280	0,280	0,280
<b>Итого</b>	<b>1(71)</b>				<b>4,186</b>	<b>4,130</b>	<b>4,060</b>

Конкуренентоспособность исследуемого в данной работе риформинга со стационарным слоем катализатора составила 4,186, в то время как двух других аналогов 4,130 и 4,060 соответственно. Результаты показывают, что данная технология риформинга с ПРК является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как удобство эксплуатации для потребителей, надежность, функциональная мощность, большая производительность по сырью с высоким октановым числом.

### 5.2.2 SWOT-анализ

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

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап – составление матрицы SWOT.

1. Сильные стороны. Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции.

2. Слабые стороны. Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

3. Возможности. Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или

предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

4. Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

Второй этап – составление интерактивных матриц.

Таким образом, в рамках третьего этапа может быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (табл. 16).

Третий этап – составление итоговой матрицы SWOT-анализа.

Таблица 16 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1 Высокое качество продукции;</p> <p>С2 Ведущий процесс нефтепереработки и нефтехимической отрасли;</p> <p>С3 Использование отечественного оборудования.</p> <p>С4Получаемый в процессе каталитического риформинга водородсодержащий газ значительно дешевле специально получаемого водорода; его используют в других процессах нефтепереработки, таких, как гидроочистка и гидрокрекинг;</p> <p>С5 Относительно низкая себестоимость получаемого риформата;</p> <p>С6 Доступность сырья.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1 Назначение процесса каталитического риформинга, а также требования, предъявляемые к целевому продукту, требуют гибкой в эксплуатации установки;</p> <p>Сл2 При каталитическом риформинге сырья со значительным содержанием серы или бензинов вторичного происхождения, в которых есть непредельные углеводороды, катализатор быстро отравляется;</p> <p>Сл3 Отсутствие стимулов для внедрения современных технологий.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1 Совершенствование процесса и оборудования для нее;</p> <p>В2 Разработка новых высокопрочных и устойчивых к отравлению катализаторов;</p> <p>В3 Переход нефтехимической отрасли на ресурсосберегающие технологии;</p>	<p>1. Четкая стратегия развития позволит активизировать приоритетные направления инвестиционных вложений;</p> <p>2. Внедрение новых инновационных разработок позволит увеличить эффективность получения продукта.</p>	<p>1. Увеличение объемов переработки нефти позволит повысить качество нефтепродуктов;</p> <p>2. Развитие новых нефтедобывающих центров обусловит строительство установок на базе отечественного оборудования, отвечающего всем тенденциям развития каталитического риформинга.</p>

## Продолжение таблицы 16

<p>Угрозы:          У1 Низкая эффективность государственного регулирования отрасли;          У2 Препятствия со стороны иностранных государств;          У3 Упущение технических новинок;          У5 Наступление техногенной аварии;          У6 Снижение инвестиционной активности.</p>	<p>1. Использование отечественного оборудования позволяет осуществлять своевременную доставку и замену вышедших из строя частей оборудования, что уменьшает угрозу наступления техногенной аварии, а также устранение влияния со стороны иностранных государств.          2. Тенденция к использованию высокооктановых компонентов обуславливает значимость процесса, в связи с этим инвестиционная активность не может быть снижена.</p>	<p>1. . Продвижение новой технологии с целью появления спроса.          2. Применение технологии к альтернативным источникам.          3. Необходима разработка концепции по стимулированию инвестиционной активности для нефтеперерабатывающей отрасли.          4. Своевременное обновление оборудования по современным технологиям устраняет риск наступления техногенной аварии.</p>
--	---	--

## 5.3 Планирование научно-исследовательских работ

### 5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ производится в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектирования.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 17.

Таблица 17 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель

Продолжение таблицы 17

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Обработка данных хроматографического анализа сырья и риформата	Инженер
	6	Расчет работы установки риформинга со стационарным слоем катализатора в моделирующей программе «Activ»	Инженер
	7	Анализ степени влияния технологических параметров процесса на работу установки	Инженер
	8	Выбор оптимального технологического режима работы установки риформинга с периодической регенерацией	Инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Анализ полученных результатов	Руководитель Инженер
	10	Оценка эффективности полученных результатов	
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	11	Составление отчета по НИР	Инженер

### 5.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (2)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (3)$$

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

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

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

#### 4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

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

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

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

Все рассчитанные значения сводим в таблицу 18.

Таблица 18 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожж}$ , чел-дни		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
Составление и утверждение технического задания	2		5		3		3		5	
Подбор и изучение материалов по теме		4		7		5		5		8
Выбор направления исследований		3		5		4		4		6
Календарное планирование работ по теме	4		6		5		5		8	
Обработка данных хроматографического анализа сырья и риформата		2		7		4		4		6
Расчет работы установки риформинга со стационарным слоем катализатора в моделирующей программе «Activ»		5		10		7		7		11
Анализ степени влияния технологических параметров процесса на работу установки		6		12		8		8		13
Выбор оптимального технологического режима работы установки риформинга с периодической регенерацией		1		3		2		2		3
Анализ полученных результатов	3	4	5	6	4	5	2	3	3	5
Оценка эффективности полученных результатов	6	7	10	11	8	9	4	5	6	8
Составление отчета по НИР		8		10		9		9		14

На основе таблицы 18 построим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

Таблица 19 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T <sub>кi</sub> кал.дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февр.		март			апрель			май				
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	5	■												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	8		■											
3	Выбор направления исследований	Инженер	6			■										
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	8			■										
5	Обработка данных хроматографического анализа сырья и риформата	Инженер	6				■									
6	Расчет работы установки риформинга с периодической регенерацией катализатора в моделирующей программе «Activ»	Инженер	11				■	■								
7	Анализ степени влияния технологических параметров процесса на работу установки	Инженер	13					■	■	■						
8	Выбор оптимального технологического режима работы установки риформинга с периодической регенерацией	Инженер	3								■					
9	Анализ полученных результатов	Руководитель, инженер	5								■	■				
10	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер	8									■	■			
11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер	14										■	■	■	

■ – руководитель; ■ – инженер.

Таким образом, видим, что длительность работ в календарных днях руководителя составляет 22 дня, инженера – 74 дня. Планирование работ по НИОКР проведено рационально, поскольку до защиты ВКР остается время в запасе около 23 дней.

### 5.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ будем использовать следующую группировку затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на оборудование;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

#### 5.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расхи}}, \quad (4)$$

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

$N_{\text{расхи}}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$\Pi_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Результаты представлены в приложении А.

### **5.3.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ**

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблицу Б (Приложение Б).

### **5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы**

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.

Месячный должностной оклад работников:

- Руководитель

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 16751,29 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 32665 \text{ руб.},$$

- Инженер

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 15000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 29250 \text{ руб.},$$

где  $Z_{mc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;  $k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;  $k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2;  $k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска).

Таблица 20 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней:	52	52
• выходные дни	14	14
• праздничные дни		
Потери рабочего времени:	48	48
• отпуск	7	7
• невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	245	245

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

- Руководитель

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 1385,6 \cdot 26 = 36025,6 \text{ руб}$$

- Инженер

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 1241,6 \cdot 102 = 126643,3 \text{ руб}$$

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

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

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

Таблица 21 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	16751,29	0,3	0,2	1,3	32665	1385,6	26	36025,6
Инженер	15000	0,3	0,2	1,3	29250	1241,6	102	126643,3
<b>Итого</b>								<b>162668,9</b>

### 5.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{дон} = k_{дон} \cdot Z_{осн}, \quad (4)$$

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

- Руководитель

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,14 \cdot 36025,6 = 5043,6 \text{ руб.};$$

- Инженер

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,14 \cdot 126643,3 = 17730 \text{ руб.};$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы, равный 0,14.

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

Отчисления во внебюджетные фонды являются обязательными по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	36025,6	5043,6
Инженер	126643,3	17730
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
<b>Итого</b>		
Руководитель	11129,7	
Инженер	39125,2	

### 5.3.6 Накладные расходы

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

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{нр} = (Z_{м} + Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб}) \cdot 0,16 = \\ = (2940 + 162668,9 + 22773,6 + 50254,9) \cdot 0,16 = 38182 \text{ руб.},$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

### 5.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 23.

Таблица 23 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты НИИ	22612551090	19613176090	21302801090
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	33189000	31636500	36926500
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	162669	162669	162669
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	22774	22774	22774
5. Отчисления во внебюджетные фонды	50255	50255	50255
6. Накладные расходы	38182	38182	38182
7. Бюджет затрат НИИ	22646013970	19645086470	21340001470

Таким образом, было рассчитано минимальное количество денежных средств, необходимых для исследования влияния различных технологических режимов на работу установки процесса каталитического риформинга с периодической регенерацией катализатора. Полученная сумма составляет 22646013970 рублей. Большая часть затрат приходится на материальные затраты НИИ.

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (6)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;  $\Phi_{\text{pi}}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;  $\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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

$$I_{\text{pi}} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (7)$$

где  $I_{\text{pi}}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $b_i$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблице 24.

В качестве возможных исполнений проекта условно были приняты: исполнение 1 – риформинг с ПРК, исполнение 2 – риформинг с НРК, исполнение 3 – дуалформинг.

Таблица 24 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Выход целевого продукта	0,179	4	5	4
2. Энергоёмкость	0,143	3	4	3
3. Эксплуатационные затраты	0,143	4	4	3
4. Срок службы катализатора	0,143	3	5	4
5. Надежность	0,179	5	4	4
6. Материалоемкость	0,107	5	3	2
7. Затраты на послепродажное обслуживание	0,107	4	3	3
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>4,433</b>	<b>3,325</b>	<b>3,254</b>

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,179 + 4 \cdot 0,143 + 4 \cdot 0,143 + 5 \cdot 0,143 + 4 \cdot 0,179 + 5 \cdot 0,107 + 4 \cdot 0,107 = 4,433;$$

$$I_{p-исп2} = 4 \cdot 0,179 + 3 \cdot 0,143 + 4 \cdot 0,143 + 3 \cdot 0,143 + 3 \cdot 0,179 + 3 \cdot 0,107 + 3 \cdot 0,107 = 3,325;$$

$$I_{p-исп3} = 4 \cdot 0,179 + 3 \cdot 0,143 + 3 \cdot 0,143 + 3 \cdot 0,143 + 4 \cdot 0,179 + 2 \cdot 0,107 + 3 \cdot 0,107 = 3,254.$$

Сравнив значения интегральных показателей ресурсоэффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом для проектирования с позиции ресурсосбережения.

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}} \text{ и т.д.} \quad (8)$$

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (9)$$

Таблица 25 – Сравнительная эффективность разработки

<b>№ п/п</b>	<b>Показатели</b>	<b>Исп.1</b>	<b>Исп.2</b>	<b>Исп.3</b>
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,87	0,94
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,43	3,33	3,26
3	Интегральный показатель эффективности	4,43	3,83	3,45
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,16	0,86	0,78

## **Заключение**

В данной работе проводились исследования с помощью разработанной на кафедре химической технологии топлива и химической кибернетики Томского политехнического университета компьютерной моделирующей программы «Aktiv», которая использовалась для расчета и мониторинга процесса каталитического риформинга бензинов со стационарным слоем катализатора.

Объектом проведенного исследования стала установка каталитического риформинга Л-35-11/600 ОАО «Газпромнефть-Омский НПЗ» г. Омск. Установка предназначена для получения стабильного риформата – высокооктанового компонента автомобильных бензинов и водородсодержащего газа.

Проведя предварительный мониторинг работы установки за отдельно взятый период времени (1.04.14 - 28.10.14) и проанализировав результаты, мы увидели, что текущая активность в течение всего исследуемого периода отличается в среднем на 20 % от оптимальной активности, что говорит о том, что установка работает в режиме, близком к оптимальному.

Для оценки степени влияния изменения технологических параметров и состава входного сырья на эксплуатационные характеристики установки в целом, мы варьировали температурой и расходом сырья. В результате исследования видим, что с ростом температуры октановое число, рассчитанное по исследовательскому методу, увеличивается, это объясняется тем, что повышение температуры способствует образованию ароматических углеводородов, а выход риформата уменьшается с ростом температуры. Это объясняется тем, что при более высоких температурах увеличивается роль реакций гидрокрекинга.

Исследовав влияние расхода сырья на процесс риформинга можно сказать, что увеличение расхода сырья оказывает отрицательное влияние на выход ароматических углеводородов и октановое число катализата.

Проделанные расчеты наглядно продемонстрировали возможности использования математической модели процесса и основанной на ней компьютерной программы при решении разнообразных технологических задач. В данном конкретном случае было исследовано влияние технологических параметров на процесс каталитического риформинга.

Подбор оптимальных технологических условий эксплуатации катализатора, обеспечивающих максимальную степень его использования, является многофакторной задачей и зависит, прежде всего, от реакционной способности углеводородов – компонентов сырья.

Оптимальный режим ведения процесса каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора марки ПР-81 достигается при следующих технологических параметрах: температура процесса 505–510 °С, расход сырья 65-75 м<sup>3</sup>/час.

Также проведена оценка конкурентоспособности процесса риформинга со стационарным слоем катализатора по сравнению с аналогами, рассчитан показатель, оценивающий перспективность данной технологии, который определяет уровень перспективности как «выше среднего». Был составлен перечень этапов работ и определена их трудоемкость, построен календарный план-график выполнения работ, который демонстрирует, что до защиты ВКР остается время для подготовки (около 23 дней). Рассчитан ориентировочный бюджет на создание научной разработки, а также проведена оценка эффективности научного исследования с позиции ресурсосбережения и сравнительная эффективность разработки. Проведен анализ вредных воздействий на рабочем месте и на производстве. Для сокращения неорганизованных выбросов рассмотрены различные мероприятия по охране окружающей среды.

## Список использованных источников

1. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа : учебное пособие для вузов / С. А. Ахметов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург: Недра, 2013. — 541 с.: ил. — Для высшей школы. — Библиогр.: с. 541. — ISBN 978-5-905153-44-2.
2. 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].
3. Долганов И.М., Францина Е.В., Афанасьева Ю.И., Иванчина Э.Д., Кравцов А.В. Моделирование промышленных нефтехимических процессов с использованием объектно-ориентированного языка Delphi // Известия Томского политехнического университета. — 2010. — Т. 317. — № 5. — С. 57–61.
4. Капустин В.М.. Химия и технология переработки нефти : учебник / В. М. Капустин, М. Г. Рудин; Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина (РГУ Нефти и Газа). — Москва: Химия, 2013. — 496 с.
5. Гайдамака С.Н. Регенерация гетерогенных катализаторов озоном в среде сверхкритического диоксида углерода / Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. - Москва, Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2015. - 130 с.
6. Статическая оптимизация процесса каталитического риформинга / Левчук И.Л. // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ" : Механіко-технологічні системи та комплекси №21 - НТУ "ХПИ", 2015.
7. Горбачев В.М., Иванков О.Н., Анищенко О.В. Возможности современных установок каталитического риформинга // Современные наукоемкие технологии. — 2014. — № 2. — С. 101-102.

8. Попов И.В., Зотов Ю.Л. Вариант совершенствования каталитического риформинга бензиновых фракций // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 1. – С. 182-182.

9. Моделирование химико-технологических процессов как метод улучшения качества продукции [Электронный ресурс] / П. А. Глик; науч. рук. Е. Н. Ивашкина // Экономика России в XXI веке : сборник научных трудов XII Международной научно-практической конференции "Экономические науки и прикладные исследования", г. Томск, 17-21 ноября 2015 г. в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; ред. кол. Г. А. Барышева [и др.] . — 2015 . — Т. 2 . — [С. 317-322] .

10. Петелько Ю.С., Кикина Е.А., Леденев С.М. Совершенствование процесса риформинга бензиновых фракций // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 3. – С. 101-101.

11. Каталог АЗК и ОС катализаторов, адсорбентов, носителей, осушителей, цеолитов. Ангарск 2011.

12. Оптимизация состава перерабатываемого сырья на установках каталитического риформинга бензинов и изомеризации пентан-гексановой фракции с использованием комплексной математической модели "HYSYS IZOMER ACTIV" / Н. В. Чеканцев [и др.] // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 8, ч. 3. — [С. 766-772].

13. ПРОТОКОЛ № 88 заседания Правления Ассоциации нефтепереработчиков и нефтехимиков г. Москва, 15 мая 2008 г. [Электронный ресурс]. - Режим доступа [www.URL: http://www.refas.ru/protokol-88-ot-15-05-2008/](http://www.refas.ru/protokol-88-ot-15-05-2008/)

14. Луцков А.Н., Дроздова Е.Г., Анищенко О.В. реализация программы импортозамещения для процесса риформинга // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 1-1. – С. 103-104.

15. Левчук И. Л. Управление процессом каталитического риформинга путем оптимального распределения температур на входах реакторов / И. Л. Левчук // Технологический аудит и резервы производства. - 2015. - № 2(4). - С. 56-60.
16. Левчук И. Л. Разработка и идентификация уточненной математической модели процесса каталитического риформинга / И.Л. Левчук // Науковий вісник НГУ, 2013. – №2.– С. 79–85.
17. Туманян Б.П. Каталитический риформинг: технологические аспекты и расчет основного оборудования / Петрухина Н.Н., Колесников И.М. — М.: Издательство «Техника», ТУМА ГРУПП, 2012. – 176 с.
18. Ишмурзин А.В., Дорощук А.Б., Яшин А.А. и др. Особенности технологии и результаты модернизации процесса каталитического риформинга // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2004. - №9. – С. 35-37.
19. Ишмурзин А.В., Минхайров М.Ф., Першин В.А. и др. Риформинг бензинов на платиноэрионитном катализаторе // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2007. - № 12. – С. 10-12.
20. Колесников С.И. Научные основы производства высокооктановых бензинов с присадками и каталитическими процессами. – М.: Нефть и газ, 2007. – 540 с.
21. GIBBS. Моделирование в нефтегазовой отрасли. Обзоры и статьи. Моделирующие программы для нефтяной и газовой промышленности. Интернет ресурс, режим доступа [www.gibbsim.ru/Amodeling\\_review.htm](http://www.gibbsim.ru/Amodeling_review.htm)
22. Кравцов А.В. Компьютерное прогнозирование и оптимизация производства бензинов. Физико-химические и технологические основы / Иванчина Э.Д. – Томск: STT – 2000. – 192 с.
23. Моделирование промышленных нефтехимических процессов с использованием объектно-ориентированного языка Delphi // Известия Томского политехнического университета / Долганов И.М., Францина Е.В., Афанасьева Ю.И., Иванчина Э.Д., Кравцов А.В. – 2010. – Т. 317. – № 5. – С. 57–61.

24. Кодексом об административных нарушениях [Электронный ресурс]. - Режим доступа www. URL: <http://www.consultant.ru/popular/koap>.
25. Уголовный кодекс РФ [Глава 19, статья 143] [Электронный ресурс]. - Режим доступа www. URL: <http://www.zakonrf.info/uk/143>.
26. Конституция Российской Федерации [Электронный ресурс]. - Режим доступа www. URL: <http://www.consultant.ru/popular/cons>.
27. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03: утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 13 июня 2003 г. № 118 г. Москва.
28. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (принят ГД ФС РФ 21.12.2001) (ред. от 6.04.2015 г)// СПС Консультант
29. ГОСТ 12.1.002–84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни и требования к проведению контроля на рабочем мест. – введ. 01.01.1986.- М.: Стандартинформ, 2009. – 7 с.
30. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 утверждены Постановлением Госкомсанэпиднадзора России 31 октября 1996 г. № 36. Москва.
31. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий: санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.566-96: утверждены Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 31 октября 1996 г. № 40. Москва.
32. Комплекс упражнений на рабочем месте за компьютером [Электронный ресурс] / 1997– 2014 «ЭргоСОЛО». – Режим доступа: [http://ergosolo.ru/reviews/health/office\\_exercises/](http://ergosolo.ru/reviews/health/office_exercises/), свободный. – Загл. С экрана. – Дата обращения 15.05.2016 г.

33. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере ТОИ Р-45-084-01: утверждена Приказом Министерства РФ по связи и информатизации от 2 июля 2001 г. N 162.

34. Естественное и искусственное освещение: санитарные нормы и правила СНиП 23-05-95 утверждены Постановлением Минстроя России от 2 августа 1995 г. № 18-78. Москва.

35. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий: санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03: утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 6 апреля 2003 г. Москва.

36. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.548-96: утверждены Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 1 октября 1996 г., № 21. Москва.

37. Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.1294-03: утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 18 апреля 2003г. Москва.

38. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны: гигиенические нормативы ГН 2.2.5.1313-03: утверждены главным государственным санитарным врачом РФ 27.04.2003. Москва.

39. Полимерные и полимерсодержащие строительные материалы, изделия и конструкции. Гигиенические требования безопасности: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.2.729-99: Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 27 января 1999 г. № 3. Москва.

40. 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.

41. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ (ред. от 23.06.2014).
42. ГОСТ 12.1.007-76 "Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности".
43. ГОСТ 17.2.3.02-78 «Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями»
44. ГОСТ 17.1.3.10-83 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных и подземных вод от загрязнения нефтью и нефтепродуктами при транспортировании по трубопроводу»
45. ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения. – введ. 01.01.1995.- М.: Издательство стандартов, 1994. – 11 с.
46. Евсеева Н.С., Ромашова Т.В. Опасные метеорологические явления как составная часть природного риска (на примере юга Томской области) // Вестник Томского государственного университета. – 2011. – №353. – с. 199–204.
47. Генеральное соглашение между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации на 2014 – 2016 годы.

## Приложение А

### Таблица А – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед.,руб.			Затраты на материалы, (Зм), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
<b>I Сырье и основные материалы</b>										
Фракция 70-140 °С с ЭЛОУ-АВТ-11	т	500000	400000	450000	15000	15000	15000	7500000000	6000000000	6750000000
Фракция 140-180 °С сЭЛОУ-АВТ-11	т	300000	250000	280000	15000	15000	15000	4500000000	3750000000	4200000000
Стабильный бензин с АВТ-4	т	270000	230000	260000	15000	15000	15000	4050000000	3450000000	3900000000
Бензин УЗК	т	150000	130000	135000	10000	10000	10000	1500000000	1300000000	1350000000
Бензин-отгон с установки ГО ДТ	т	70000	80000	75000	10000	10000	10000	700000000	800000000	750000000
Бензин-отгон с установки "Парекс"	т	20000	15000	19000	10000	10000	10000	200000000	150000000	190000000
<b>II Вспомогательные материалы:</b>										
Катализатор гидроочистки	т	1000	1000	1000	13000	13000	13000	13000000	13000000	13000000
Катализатор риформинга	т	45	70	55	25000	25000	25000	1125000	1750000	1375000
Активированный глинозем	т	200000	200000	200000	10000	10000	10000	2000000000	2000000000	2000000000
1,2-Дихлорэтан	т	156000	156000	156000	7000	7000	7000	1092000000	1092000000	1092000000
<b>III Энергетические затраты</b>										
Топливо	т	870500	870500	870500	680	680	680	591940000	591940000	591940000
Электроэнергия	кВт/ч	123100000	123100000	123100000	3,55	3,55	3,55	437005000	437005000	437005000
Пар	т	26280	26280	26280	200	200	200	5256000	5256000	5256000
Сжатый воздух	м3	3960000	3960000	3960000	0,50	0,50	0,50	1980000	1980000	1980000
Вода оборотная	м3	24835867	24835867	24835867	0,80	0,80	0,80	19868693,6	19868693,6	19868693,6
Вода химочищенная	м3	188198	188198	188198	2,0	2,0	2,0	376396	376396	376396
<b>Итого</b>								<b>22612551090</b>	<b>19613176090</b>	<b>21302801090</b>

## Приложение Б

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

№ п/п	Наименование оборудования			Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	реактор	реактор	реактор	3	3	4	3450000	3000000	3400000	10350000	9000000	13600000
2.	колонный аппарат	колонный аппарат	колонный аппарат	3	3	3	2950000	2950000	2950000	8850000	8850000	8850000
3.	компрессор	компрессор	компрессор	5	5	5	700000	700000	700000	3500000	3500000	3500000
4.	адсорбер	адсорбер	адсорбер	2	2	2	400000	400000	400000	800000	800000	800000
5.	теплообменник	теплообменник	теплообменник	5	5	5	60000	60000	60000	300000	300000	300000
6.	конденсатор-холодильник	конденсатор-холодильник	конденсатор-холодильник	2	2	2	75000	75000	75000	150000	150000	150000
7.	холодильник	холодильник	холодильник	1	1	1	90000	90000	90000	90000	90000	90000
8.	насос	насос	насос	7	7	7	90000	90000	90000	630000	630000	630000
9.	трубчатая печь	трубчатая печь	трубчатая печь	1	1	1	2950000	2950000	2950000	2950000	2950000	2950000
10.	сепаратор	сепаратор	сепаратор	3	3	3	100000	100000	100000	300000	300000	300000
11.	емкость	емкость	емкость	2	2	2	230000	230000	230000	460000	460000	460000
12.	КИПиА	КИПиА	КИПиА	1	1	1	450000	450000	450000	450000	450000	450000
13.	Вычислительная техника	Вычислительная техника	Вычислительная техника	1	1	1	30000	30000	30000	30000	30000	30000
Затраты по монтажу и доставке оборудования										4329000	4126500	4816500
Итого:										33189000	31636500	36926500