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

Институт природных ресурсов
Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология
Профиль Химическая технология топлива и газа
Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Повышение ресурса платиносодержащего катализатора риформинга с использованием математической модели

УДК 665.642.442-047.37:519.863

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ5Б	Бурдина Марина Дмитриевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернякова Екатерина Сергеевна	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Раденков Тимофей Александрович	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения
	Профессиональные компетенции
Р1	Применять *глубокие* естественнонаучные, математические и инженерные *знания* для создания *новых* материалов
Р2	Применять *глубокие знания* в области современных технологий химического производства для решения *междисциплинарных* инженерных задач
Р3	Ставить и решать *инновационные* задачи *инженерного анализа*, связанные с созданием материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов химической технологии
Р4	Разрабатывать химико-технологические процессы, *проектировать* и использовать *новое* оборудование для создания материалов, конкурентоспособных на *мировом* рынке
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные *исследования* в области создания *новых* материалов, современных химических технологий, нанотехнологий
Р6	Внедрять, *эксплуатировать* современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их *высокую эффективность*, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
	Универсальные компетенции
Р7	Использовать *глубокие знания* по *проектному менеджменту* для ведения *инновационной* инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
Р8	*Активно* владеть *иностранным языком* на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
Р9	Эффективно работать индивидуально, в качестве *члена и руководителя группы*, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность *следовать корпоративной культуре* организации
Р10	Демонстрировать *глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов* инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах *устойчивого развития*
Р11	*Самостоятельно учиться* и непрерывно *повышать квалификацию* в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Институт природных ресурсов
Направление подготовки (специальность) 18.04.01 Химическая технология
Профиль Химическая технология топлива и газа
Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ _____ Юрьев Е. М.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ5Б	Бурдиной Марине Дмитриевне

Тема работы:

Повышение ресурса платиносодержащего катализатора риформинга с использованием математической модели	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 13.02.2017 г., № 762/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25 мая 2017 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе *(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.).*	*Объектом исследования являются различные марки катализаторов процесса риформинга бензинов (R-98, PR-9 и РБ-33У/РБ-44У марки Ш).*

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).*	*1) Введение: актуальность* *2) Аналитический обзор* *3) Объекты и методы исследования.* *4) Результаты и их обсуждение (влияние технологических параметров на срок службы катализаторов; пути повышения ресурса платиносодержащего катализатора риформинга)* *5) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.* *6) Социальная ответственность.* *7) Заключение.* *8) Список используемой литературы.*
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	*1) Характеристика объектов исследования* *2) Результаты исследования (3л);* *3) Таблицы и диаграммы экономических расчетов.*

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	к.т.н., доцент кафедры менеджмента Криницына З.В.
Социальная ответственность	ассистент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Раденков Т.А.
Раздел, выполненный на иностранном языке	старший преподаватель кафедры иностранных языков Когут С.В.

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

1 Теоретические основы процесса каталитического риформинга

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20 февраля 2017 г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ХТТ и ХК	Чернякова Екатерина Сергеевна	к.т.н, доцент		20.02.2017 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ5Б	Бурдина Марина Дмитриевна		20.02.2017 г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ5Б	Бурдиной Марине Дмитриевне

Институт	ИПР	**Кафедра**	ХТТ и ХК
Уровень образования	Магистр	**Направление/специальность**	Химическая технология топлива и газа

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. *Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих*	*Материально-технические – 1041,6 руб.;* *Финансовые – 206161,2 руб.;* *Человеческие – 139241,0 руб.*
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*	*Тетрадь – 2 шт.;* *Ручка – 3 шт.;* *Чернила для принтера – 100 мл;* *Бумага (формат А4) – 400 листов.*
3. *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*	*Общая система социальных отчислений – 4,4 % отчисления во внебюджетные фонды.*
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения*	*Значение степени проработанности научного проекта $Б_{сум}$ =51 и уровня имеющихся знаний у разработчика $Б_{сум}$ =51 позволяет говорить о перспективности выше среднего. Для успешной реализации на рынке необходимо:1.разработать бизнес-план коммерциализации разработанного программного обеспечения; 2.проработать вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок; 3.проработать вопросы использования инфраструктуры поддержки, получения льгот.*
2. *Планирование и формирование бюджета научных исследований*	*Составлен календарный план проекта, проведен расчет бюджета НТИ, составлен список возможных рисков.*
3. *Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования*	*Определена трудоемкость выполнения работ.*
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*:	
1. *Оценка конкурентоспособности технических решений* 2. *Матрица SWOT* 3. *График проведения и бюджет НИ* 4. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Криницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ5Б	Бурдина Марина Дмитриевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ5Б	Бурдиной Марине Дмитриевне

Институт	ИПР	**Кафедра**	ХТТ и ХК
Уровень образования	Магистр	**Направление/специальность**	Химическая технология топлива и газа

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования: Различные марки катализаторов процесса риформинга бензинов (R-98, PR-9 и РБ-33У/РБ-44У марки Ш).	*Исследование эксплуатации катализаторов на установках каталитического риформинга АО «Ачинского НПЗ ВНК» и ООО «РН-Комсомольского НПЗ».*
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ выявленных вредных факторов:	*-физико – химическая природа фактора, его связь с разрабатываемой темой;* *-действие вредных веществ на организм человека (фракция бензиновая широкая, сероводород в смеси с легкими УВ, дихлорэтан технический, натр едкий технический, диметилсульфид, бензол-содержащая фракция (по бензолу));* *-приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);* *-предлагаемые средства защиты – индивидуальные защитные средства – одноразовые перчатки, специальная одежда, очки, соответствующие респираторы*
2. Анализ выявленных опасных факторов:	*-термические опасности (печь риформинга, реактор риформинга);* *-электробезопасность (наличие химически активной и органической среды, разрушающей изоляцию и токоведущие части электрооборудования);* *-пожаровзрывобезопасность (причины – наличие в системе большого количества газа, легко воспламеняющихся жидкостей, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).*
3. Региональная безопасность:	*-анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);* *-анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы).*
4. Защита в чрезвычайных ситуациях:	*-перечень возможных ЧС на объекте;* *-выбор наиболее типичной ЧС;* *-разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;* *-разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;* *-разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.*
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	*-специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;* *-организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.*
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Раденков Т.А.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ5Б	Бурдина Марина Дмитриевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 90 с., 34 рис., 22 табл., 42 источника, 2 прил.

Ключевые слова: каталитический риформинг, катализатор, промышленная установка, компьютерно-моделирующая система, текущая активность, оптимальная активность.

Объектом исследования являются различные марки катализаторов – PR-9, R-98 и РБ-33У/РБ-44У марки Ш.

Цель работы заключается в проведении исследований по повышению ресурса платиносодержащих катализаторов риформинга.

В работе использовался метод математического моделирования, который заложен в основу программы «Контроль активности катализатора».

В ходе работы был проведен сравнительный анализ Pt-Re катализаторов, которые эксплуатируются на установках каталитического риформинга ООО «РН-Комсомольского НПЗ» и АО «Ачинского НПЗ ВНК».

На основе выполненного мониторинга данных установок произведена оценка эксплуатационных характеристик катализаторов и предложены пути повышения эффективности их работы.

Основные технологические и технико-эксплуатационные характеристики представлены в 4 разделе.

Экономическая составляющая дипломной работы включает расчет затрат на выполнение научных исследований.

В будущем планируется исследование других катализаторов для выявления основных лимитирующих показателей их работы и составление общей базы данных по катализаторам риформинга.

Оглавление

Введение 10
1 Теоретические основы процесса каталитического риформинга 11
1.1 Назначение процесса, характеристика исходных веществ и продуктов, условия проведения 11
1.2 Физико-химические основы процесса каталитического риформинга 11
1.3 Катализатор и механизм его каталитического действия 14
1.4 Влияние технологических параметров на процесс каталитического риформинга 15
1.5 Технологическое оформление процесса каталитического риформинга 17
2 Литературный обзор 21
2.1 Обзор современных разработок в области катализаторов 21
3 Объекты и методы исследования 28
3.1 Математические моделирование как метод исследования процесса каталитического риформинга бензинов 30
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 38
5.1 Предпроектный анализ 38
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования 38
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 38
5.1.3 SWOT-анализ 39
5.1.4 Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации 40
5.2 Планирование научно-исследовательских работ 42
5.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ 43
5.2.2 Разработка графика проведения научного исследования 44
5.2.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) 47
Список публикаций студента 51

Введение

Производство автомобильных бензинов является неотъемлемой частью в нефтепереработке. Одним из ключевых процессов для получения высокооктанового компонента данного вида топлива является каталитический риформинг. В настоящее время продолжает оставаться актуальным повышение селективности процесса и увеличение продолжительности эксплуатационного цикла катализатора.

При рациональном, а главное, эффективном использовании катализатора может быть достигнута максимальная эффективность процесса. В процессе каталитического риформинга используются достаточно дорогие катализаторы и, чтобы продлить срок их службы, необходимо исследовать и рассчитать, насколько эффективно они используется на том или ином нефтеперерабатывающем заводе.

В данной работе проводятся исследования по повышению ресурса платиносодержащих катализаторов риформинга различных марок – PR-9, R-98 и композиция отечественного производства – РБ-33У/РБ-44У марки Ш. Эти катализаторы эксплуатируются на установках каталитического риформинга ООО «РН-Комсомольского НПЗ» и АО «Ачинского НПЗ ВНК».

Мониторинг установок с помощью метода математического моделирования, заложенного в основу компьютерно-моделирующей системы позволит сделать вывод об эффективности эксплуатации катализаторов и сформулировать некоторые рекомендации для технологов по оптимальному ведению процесса.

1 Теоретические основы процесса каталитического риформинга

1.1 Назначение процесса, характеристика исходных веществ и продуктов, условия проведения

Каталитический риформинг – это процесс вторичной переработки нефти, направленный на преобразование углеводородов с низким октановым числом в высокооктановый жидкий продукт, называемый риформатом, который является компонентом товарного бензина.

Он позволяет получать также ароматические соединения, такие как бензол, толуол, ксилол и др., применяемые в дальнейшем в качестве сырья для нефтехимической отрасли. Большое значение имеет получение в процессе каталитического риформинга дешевого водородсодержащего газа (ВСГ), который используется в других гидрокаталитических процессах [1].

Сырьем процесса являются бензиновые фракции, фракционный состав которых определяется целевым продуктам процесса. Если процесс проводится с целью получения ароматических соединений (бензола, толуола, ксилола) используют соответственно фракции, содержащие углеводороды C_6 (60-81 °С), C_7 (82-111 °С) и C_8 (115-145 °С). Если целью является получение высокооктанового бензина, то риформингу подвергаются углеводороды C_7-C_9 (82-180 °С) [2, 3].

Риформинг проводят в каскаде из трех или более последовательно соединенных адиабатических реакторов при температуре 480-530 °С, давлении от 1 до 3,5 МПа и объемной скорости подачи сырья 1-3 $ч^{-1}$ в среде водородсодержащего газа на бифункциональных катализаторах.

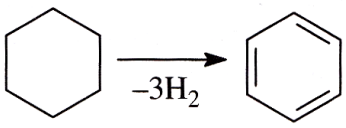
1.2 Физико-химические основы процесса каталитического риформинга

В процессе каталитического риформинга основными химическими реакциями являются реакции дегидрирования и изомеризации нафтеновых, дегид-

роциклизация и изомеризация парафиновых углеводородов. Кроме этого протекают и нежелательные побочные реакции гидрокрекинга, в результате которых образуются низко- и высокомолекулярные углеводороды, а также кокс – продукт уплотнения, откладывающийся на поверхности катализатора.

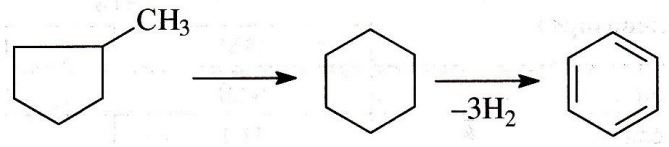
Все реакции процесса протекают на бифункциональных катализаторах, сочетающие в себе гидрирующую-дегидрирующую и кислотную функции. Функцию гидрирования (дегидрирования) в процессе выполняет металлические центры катализатора. На кислотном центре катализатора, выполняющем кислотную функцию, протекают реакции способствующие изменению структуры молекулы углеводорода (изомеризация, дегидроциклизация).

Дегидрирование нафтеновых углеводородов. Реакция дегидрирования нафтенов, идущая с образованием ароматических соединений и водорода, является важнейшей реакцией в процессе риформинга. В условиях данного процесса эта реакция протекает достаточно легко и быстро, превращение нафтенов осуществляется практически до конца. Реакция протекает с увеличением объема и поглощением тепла. Поскольку реакция дегидрирования нафтеновых углеводородов идет с образованием большого количества аренов и водорода, нафтены являются самым желательным компонентом в сырье данного процесса.

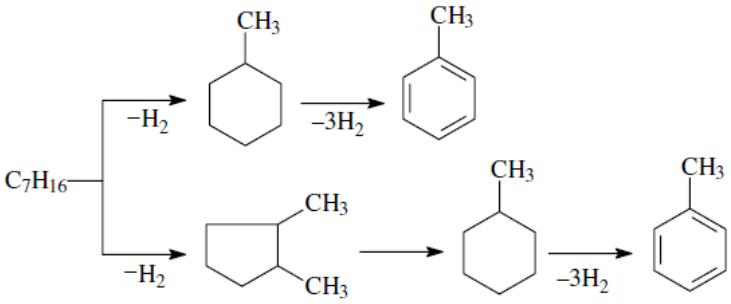


Изомеризация парафиновых и нафтеновых углеводородов. Реакция изомеризации парафиновых углеводородов протекают с образованием разветвленных структур – изомеров. Поскольку у разветвленных парафиновых углеводородов октановое число выше, чем у парафиновых углеводородов линейного строения, реакция изомеризации повышает октановое число продукта [4]. Реакция изомеризации протекает при рабочих температурах и не высоком тепловом эффекте, близком к нулю.

Эта реакция позволяет переконструировать пятичленные нафтены в шестичленные, позволяя в дальнейшем из них получать ароматические углеводороды.



Дегидроциклизация парафиновых углеводородов. Самая сложная реакция процесса каталитического риформинга, протекающая с образованием ароматических углеводородов. Дегидроциклизация осуществляется при высокой температуре и низком давлении на кислотных и металлических центрах катализатора.



Гидрокрекинг. Реакция гидрокрекинга в условиях процесса каталитического риформинга протекает на кислотных центрах катализатора с образованием парафиновых углеводородов изостроения, но поскольку реакция идет с большим потреблением водорода и снижением ароматических углеводородов, эта реакция нежелательна в процессе.

$$C_8H_{18} + H_2 \rightarrow C_3H_8 + C_5H_{12}$$

$$C_8H_{18} + H_2 \rightarrow 2C_4H_{10}$$

Коксообразование. Коксообразование протекает при высоких температурах. Эта реакция нежелательна для процесса каталитического риформинга, так как накопление кокса на поверхности катализатора приводит к потере его активности.

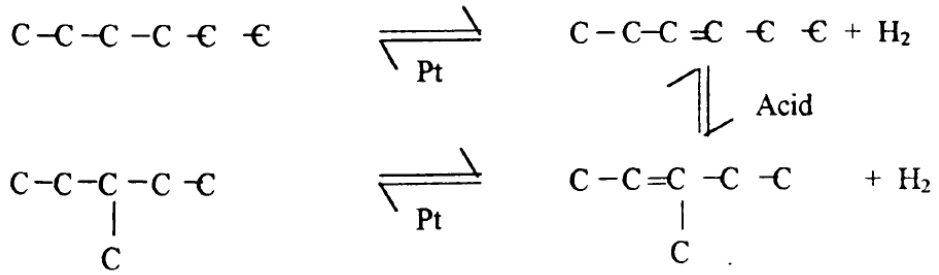
$$C_nH_{2n} + C_mH_{2m-6} + H_2 \leftrightarrow \text{КГС} \leftrightarrow \text{Кокс}$$

1.3 Катализатор и механизм его каталитического действия

Процесс каталитического риформинга осуществляется на бифункциональных катализаторах, большинство из них содержат металл (платина или рений) тонко диспергированного на носителе. В качестве носителя используют оксид кремния или чаще всего оксид алюминия. Для усиления кислотной функции носителя в состав катализатора вводят галоген: хлор или фтор [5]. В настоящее время применяют катализаторы, содержащие только хлор. Благодаря бифункциональному механизму катализатора удается преобразовать углеводородный состав исходного бензина и повысить его октановое число на 40-50 пунктов.

Большое внимание следует уделять хлорированию катализатора. Если катализатор недостаточно хлорирован (или вовсе не хлорирован), кислотная функция катализатора значительно снижается.

Например, для изомеризации парафинов и нафтенов необходима платина для дегидрирования в олефин, сам процесс изомеризации протекает на кислотных активных центрах катализатора, затем на активных центрах платины происходит гидрирование олефина обратно в парафин.



Основными эксплуатационными характеристиками катализатора являются активность, селективность и стабильность.

Активность катализатора обеспечивает необходимую глубину превращения сырья при заданной его объемной скорости пропускании через катализатор. Показателем активности при определенных условиях процесса служат октановое число риформата или содержание в нем ароматических углеводородов.

Для достижения максимальной селективности процесса необходимо чтобы с наибольшей глубиной протекали реакции ароматизации и наименьшей должна быть активность катализатора в реакциях гидрокрекинга и гидрогенолиза, приводящие к увеличению газообразных углеводородов и снижению выхода целевого продукта.

Стабильность катализатора – способность катализатора сохранять первоначальные свойства катализатора (активность и селективность) во времени, т. е. иметь достаточную продолжительность межрегенерационного цикла.

Также немало важным является хорошая регенерируемость катализатора, т. е. способность катализатора восстанавливать свои первоначальные свойства после проведения окислительной регенерации. Катализатор установки со стационарным слоем катализатора регенерируют один раз в 6-24 месяцев.

Чем выше температура проведения процесса каталитического риформинга, тем выше октановое число риформата, но продолжительность межрегенерационного периода при больших температурах значительно снижается. Продолжительность цикла работы катализатора также очень зависит от качества сырья. Однако, независимо от состава исходной нефти, используемой в процессе переработки нефти, все катализаторы требуют максимальной заключительной точки кипения сырья 180 °С.

Обычно катализатор может быть восстановлен 3 или 4 раза, прежде чем он вернется изготовителю для восстановления количества платины и/или содержания рения.

1.4 Влияние технологических параметров на процесс каталитического риформинга

Как известно, что на процесс каталитического риформинга при получении высокооктановых компонентов бензина оказывают влияние такие факторы, как температура, давление, кратность циркуляции водородсодержащего газа,

углеводородный состав, объемная скорость подачи сырья и содержание хлора в катализаторе.

Температурный режим. В процессе риформинга протекают эндотермические реакции, поэтому его проводят в каскаде трех или четырех адиабатических реакторов с промежуточным подогревом сырья. Обычно начальная температура лежит в пределах 480-530 °С только при работе в жестких условиях составляет 530 °С [5]. Повышение температуры приводит к увеличению скоростей всех реакций, в том числе и скорости накопления кокса на катализаторе, что снижает его активность.

Давление. Как и температура, давление оказывает существенное влияние на выход и качество риформата, поэтому этот параметр необходимо регулировать. Так низкий выход ароматических углеводородов и большая скорость гидрокрекинга связаны с высоким давлением процесса, в результате при прочих фиксированных параметрах с увеличением давления снижаются выход жидких продуктов процесса и содержание в них аренов [6]. При этом выход водорода уменьшается, так как возрастает его потребление в реакциях гидрокрекинга.

Кратность циркуляции ВСГ. Данный параметр процесса определяется как отношение циркулирующего водородсодержащего газа, приведенного к нормальным условиям (0,4; 0,1 МПа), к объему сырья, проходящего через реактор в единицу времени ($м^3/м^3$). С увеличением этого отношения снижается скорость дезактивации катализатора и, таким образом, продлевается межрегенерационный цикл. Выбор этого параметра производят с учетом стабильности катализатора, качества сырья и продуктов, жесткости процесса и заданной продолжительности межрегенерационного цикла [5, 6].

Объемная скорость подачи сырья. Этот параметр обратный времени контакта сырья с катализатором. Повышение объемной скорости подачи сырья повышает селективность процесса; удлиняет межрегенерационный цикл катализатора; увеличивает выход риформата, но с октановым числом ниже, чем требуемое и низким содержанием аренов.

Учитывая качество сырья процесса, условия его проведения и стабильность, устанавливают оптимальное значение объемной скорости подачи сырья. Обычно объемная скорость составляет 1,5-3,0 $ч^{-1}$.

Содержание хлора на катализаторе. Кислотным промотором катализатора является хлор, достаточное содержание которого на катализаторе и низкой влажности в реакционной системе обеспечивает стабильную активность катализатора процесса.

Объемное содержание влаги в циркулирующем ВСГ поддерживается на уровне $(10\text{-}30)\cdot10^{-6}$. Для поддерживания оптимальной концентрации хлора в катализаторе в сырьевом цикле хлор можно подавать периодически или непрерывно с дозировкой 1-5 мг/кг сырья (в виде хлорорганических соединений, например CCl_4, $C_2H_4C_{12}$) [6].

1.5 Технологическое оформление процесса каталитического риформинга

Установки всех типов каталитического риформинга включают в себя четыре блока: гидроочистки, реакторный блок, сепарации парогазовой фазы и сепарации бензина.

Большинство установок риформинга в нашей стране эксплуатируется по схеме со стационарным слоем катализатора. Установка включает в себя три или четыре последовательно соединенных реактора, в каждый из которых загружен катализатор в соотношении 1:2:4, чтобы поддерживать равномерное превращение по реакторам. Регенерация в таком случае проводится один раз в 6-24 месяца. На рисунке 1 изображена технологическая схема установки риформинга со стационарным слоем катализатора.

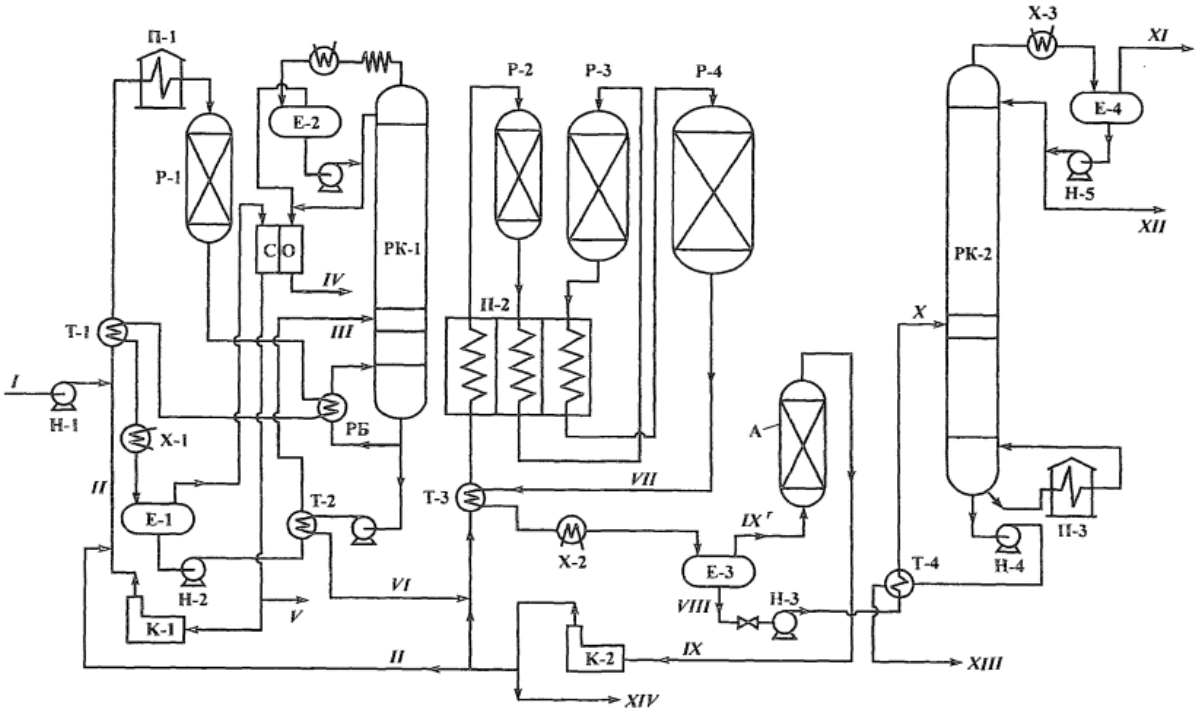


Рисунок 1 – Технологическая схема установки каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора [7]

Р-1 – реактор гидроочистки; Р-2,-3,-4 – реакторы риформинга; П-1,-2, -3 – трубчатые печи; РК-1, -2 – ректификационные колонны; А – адсорбер; СО – секция очистки газов; Е-1,-3 – сепараторы высокого давления; Е-2,-4 – сепарационные емкости колонн; Т – теплообменники; Х – холодильники; Н – насосы; К-1,-2 – компрессоры; *I* – бензин 85-180 °С; *II* – ВСГ; *III* – гидроочищенный катализат; *IV, V* – отдув ВСГ; *VI* – гидроочищенный бензин на риформинг; *VII* – риформированный катализат; *VIII* – жидкая фаза; *IX* – ВСГ на очистку; *X* – нестабильный катализат риформинга; *XI* – углеводородные газы; *XII* – сжиженный газ: *XIII* – стабильный высокооктановый бензин; *XIV* – товарный ВСГ.

В блоке гидроочистки происходит удаление серы из бензиновой фракции до содержания не более 1 мг/кг. Наличие, процессом риформинга, блока гидроочистки обязательно, т.к. соединения серы являются ядом для катализатора.

После гидроочистки сырье смешивается с компримированным до давления 0,5-4,5 МПа циркулирующим водородсодержащим газом. Получающуюся газосырьевую смесь предварительно подогревают в теплообменнике Т-3, а затем в секции печи П-2 до температуры 495-520 °С и подают в первый реактор Р-

2. В первом реакторе основной реакцией на катализаторе является реакция дегидрирования нафтеновых углеводородов в ароматические. Эта реакция сильно эндотермическая и приводит к большому перепаду температур между входом в реактор и на выходе из него.

На установке имеется три последовательно соединенных реактора и соответствующее число секций многокамерной печи П-2 для межступенчатого подогрева реакционной смеси, что позволяет поддерживать необходимую температуру и скорость реакций.

На выходе из последнего реактора Р-4 смесь охлаждают в теплообменнике Т-3 и холодильнике Х-2 и далее направляют в сепаратор высокого давления Е-3. Богатый водородом газ отводится с верха сепаратора, далее он проходит осушку в адсорбере А. Часть ВСГ возвращается в качестве рецикла на установку риформинга, а оставшийся ВСГ направляется другим потребителям.

Жидкость отводится с низа сепаратора и направляется в ректификационную колонну РК-2, называемую стабилизатором. Вверху колонны стабилизации отбирается газообразный продукт, содержащий такие газы как метан, этан, пропан и бутан, а также может содержать небольшое количество водорода. Этот углеводородный газ направляется на дальнейшую переработку, а именно извлечение пропана и бутана. Остаточный газ после такой обработки становится топливом для различных нефтеперерабатывающих заводов.

Кубовый остаток колонны стабилизации – риформат, который является компонентом товарного бензина, имеющий высокое октановое число.

Одним из самых современных типов установок каталитического риформинга являются установки с движущимся слоем катализатора. Такие установки характеризуются непрерывной регенерацией катализатора в специальном реакторе, называемом регенератором. Использование таких установок с каждым годом растет.

Они наиболее экономичны в случае, когда рабочее давление снижается с одновременным повышением глубины превращения сырья. Описание данной технологии отличается от схемы со стационарным слоем катализатора тем, что

три реактора расположены друг над другом, связаны между собой системой переточных труб малого диаметра, и имеется отдельно стоящий регенератор. Шариковый катализатор диаметром 1,6 мм свободно перетекает из реактора в реактор под действием силы тяжести. Из третьего реактора через систему затворов с шаровыми клапанами катализатор поступает в питатель пневмотранспорта и азотом подается в регенератор.

2 Литературный обзор

2.1 Обзор современных разработок в области катализаторов

За время существования процесса каталитического риформинга (65 лет) существенно повысилась глубина превращения сырья, селективность ароматизации углеводородов и стабильность работы катализатора. За это время в 4 раза увеличился межрегенерационный цикл эксплуатации катализатора и более чем в 1,5 раза увеличился выход целевых продуктов (ароматических углеводородов и водорода).

Сменилось, по меньшей мере, три поколения катализаторов, главным компонентом которых всегда оставалась платина. Прогресс в технологии процесса выразился в снижении рабочего давления и разработке нового типа реакторных устройств непрерывного риформинга с движущимся слоем катализатора (системы CCR).

В 2014 году в журнале «Катализ в промышленности» была опубликована статья, которая освещает новейшие разработки катализаторов как зарубежных, так и отечественных лицензиаров [8].

Зарубежные разработчики катализаторов UOP (США) и Axens (Франция) занимаются совершенствованием традиционных платинорениевых катализаторов в направлении оптимизации химического состава (содержание платины и рения, их соотношение, модифицирование носителя – оксида алюминия) для того чтобы повысить выход целевых продуктов и устойчивость катализаторов к потере их активности.

Для процесса риформинга по технологии с периодической регенерацией катализатора фирмой UOP были разработаны новые версии катализаторов типа R-56, R-72, R-86 и R-98, которые внедрены на НПЗ в различных странах мира, а также и в России на 20 установках [8].

Современный экономический климат и регулирование правительства играют определенную роль в использовании риформинга, причем в различных регионах в разной степени. Некоторые нефтеперерабатывающие заводы сни-

жают интенсивность эксплуатации риформинга, другие, наоборот, развивают установки для большего выхода C_5^+, H_2 и ароматики.

Так фирма UOP предлагает новые катализаторы R-254 и R-284, которые были успешно эксплуатированы в 2011 году. Эти катализаторы позволяют увеличить выход продукта, повысить активность с целью удовлетворения многообразия процессов. Исследование катализатора R-254 по методу «on-the-fly» на установке платформинга CCR NCRA (риформинг с движущимся слоем катализатора) показало значительные выгоды при получении C_5^+, H_2 и ароматики, в результате чего срок окупаемости составил менее года [9].

Фирмой Axens разработаны и внедрены новые катализаторы RG-582, RG-682, PR-9 и PR-15 на 10 установках НПЗ России [8, 10].

Отечественными разработчиками были также разработаны и внедрены новые катализаторы (аналоги зарубежных катализаторов).

- ИППУ СО РАН разработали новые катализаторы – ПР-50, ПР-51, ПР-71, ПР-81 и ШПР-81, которые эксплуатируются на 10 установках НПЗ России и Украины [8, 11].
- НПФ «ОЛКАТ» разработала новые катализаторы – РБ-33У, РБ-44У, РБ-35ЮКА и РБ-44(Ш), которые эксплуатируются на 5 установках НПЗ России [8].

Катализаторы нового поколения позволяют снизить температуру процесса и содержание ароматических углеводородов в целевом продукте – риформате.

Институтом проблем переработки углеводородов СО РАН разработан и внедрен новый катализатор риформинга ПР-81 (марка А). Этот катализатор содержит специальный кислотный промотор, который позволяет снизить температуру, а также снизить содержание аренов в риформате. Эксплуатация катализатора проводилась на установке малой мощности ЛП-35-11/40 ООО «Пурнефтепереработка» НК «Роснефть» с подтверждением заявленных показателей с 2010-2013 гг. [11]. Основные показатели представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели промышленной эксплуатации катализаторов ПР-81 на установке ЛП-35-11/40 ООО «Пурнефтепереработка» НК «Роснефть» в период 2010-2013 гг. [11]

Показатель	I цикл 2010-2011		II цикл 2011-2012		III цикл 2012-…	
	Начало	Конец	Начало	Конец	Начало	Июль 2013
Фракционный состав сырья, ºС НК/50%/КК	105/124/179		105/124/178		105/123/180	
Углеводородный состав, П/Н/А*, % масс.	47/42/11		47/40/13		48/38/14	
Объемная скорость подачи сырья, $ч^{-1}$	1,3-1,5		1,3-1,4		1,3-1,5	
Давление, МПа	1,4-1,5		1,4-1,5		1,4-1,5	
Температура на входе в реакторы, ºС	467	467	458	458	460	462
Средняя температура оп слою катализатора**, ºС	450	451	442	444	442	444
Концентрация водорода в ВСГ, % об.	79-80	74-75	84-85	83-84	87-88	84-85
Выход стабильного риформата, % масс.	88-90		89-92		89-92	
Содержание ароматических, % масс.	52-53	49-50	54-56	54-56	55-57	55-57
Содержание бензола, % масс.	4,0-4,5	1,0-1,2	1,2-1,4	1,0-1,2	1,0-1,2	1,0-1,2
Октановое число, ИМ	94,5	91,5	95,3	95,0	95,5	95,7
Рабочий цикл, мес.	12		12		13 (продолжается)	
* П/Н/А – парафины/нафтены/ароматические углеводороды ** Расчетные данные						

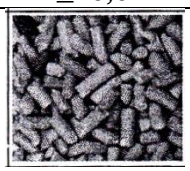
Применение этого катализатора показало его существенное отличие от платино-рениевых катализаторов типа ПР-71 [11]:

- выходные температуры по реакторам составляют 460 ºС при жесткости процесса с ИОЧ 95-96, что на 25-30 ºС ниже, чем для ПР-71;
- выход стабильного риформата составил 89-92 % масс., т. е. на 2-3 % масс. выше;
- содержание ароматических углеводородов в риформате на 5 % масс. ниже;
- содержание легких парафиновых C_4-C_5 в риформате в два раза выше, что обеспечивает повышенное давление его паров (80-100 кПа).

НПФ «ОЛКАТ» разработала новые катализаторы риформинга на основе цеолита эрионит (платиноцеолитные) СГ-3П, СГ-3П-М (марки А и Б) и ГПС, которые были эксплуатированы в 2007 году. Данные катализаторы позволяют снизить температуру процесса на 10-20 ºС, а также снизить содержание аренов

в риформате на 2-3 % масс. Единственная многотоннажная установка в России ЛКС 35-64 Сургутского ЗСК (ООО «Газпром переработка») мощностью по сырью 1 млн т/год, которая работает с использованием катализаторов, носитель которого содержит цеолит [12].

Таблица 2 – Состав и характеристика цеолит содержащих катализаторов [12]

Показатели	Катализатор		
	СГ-3П	СГ-3П-М марка А и Б	ГПС-1, ГПС-2 марка Ш
Содержание компонентов, % масс.: платины хлора железа	 0,50-0,55 Не более 1,0 ≤0,12	 0,50-0,55 Не более 1,0 ≤0,12	 0,40-0,45 0,5-1,0 ≤0,02
Насыпная плотность, г/см^3	≥0,6	≥0,6	≥0,7
Диаметр частиц (экструдат), мм:	2,6-3,0	1,2-2,2	1,6-1,8
$К_{пр}$, кг/мм	≥0,9	≥1,0	≥1,0
Потери при прокаливании, % масс.	≤10,0	≤10,0	≤3,0
Внешний вид			

За достаточно длительный период эксплуатации на секции риформинга усовершенствована как технология процесса, так и характеристики используемых катализаторов, что позволило не только существенно повысить проектные показатели процесса, но и получить базовый компонент для производства бензинов класса 5 по Таможенному регламенту (ТР) (таблица 2).

Основные проектные и фактические показатели процесса риформинга на установке ЛКС 35-64 Сургутского ЗСК с использованием катализаторов, содержащих цеолиты, за разные периоды эксплуатации приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные показатели риформинга на платиноцеолитном катализаторе [12]

Показатели	Проект	СГ-3П		СГ-3П-М		ГПС
		Первый цикл	Последний цикл	Первый цикл	Последний цикл	Первый цикл
Объемная скорость подачи, $ч^{-1}$	4,5	2,9	4,0	3,5	3,8	4,0

Продолжение таблицы 3

Температура на входе, °С	450-520	470	476	465	477	442
Давление, МПа	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	1,8
ИОЧ	92	92	93	94,5	92	96
Выход риформата, % масс.	78,6	82	89	90	92	87
Концентрация H_2 в ВСГ, % мол.	83	87	88	88	90	86
Сырье: н.к., °С содержание нафтенов, % масс.	 76 48	 90 49	 100 48	 105 48	 107 47	 108 42
Риформат, % масс.: сумма аренов бензол	 63 -	 55 4,5	 56 3,5	 58 1,5	 56 1,2	 59 1,2

Однако, не смотря на преимущества использования платиноцеолитных катализаторов, у процесса цеофрминга имеются недостатки – небольшая длительность межрегенерационного цикла, которая составляет 250-300 ч, что требует частой регенерации катализатора (в среднем каждые 10 суток) и, как следствие, срок службы цеолитсодержащего катализатора до замены составляет примерно 1 год.

При использовании катализаторов, носителем которого является гамма-оксид алюминия, как известно, для повышения их активности в реакторный блок подают хлорорганическое соединение. Хлор, который адсорбируется на поверхности катализатора, активизирует его кислотные центры, это способствует увеличить скорость не только целевых, но и побочных продуктов. В Национальном исследовательском Томском политехническом университете была разработана методика оптимальной подачи хлора в реакторы риформинга на основе учета активности катализатора. Экспериментальными данными послужили технологические данные составов входных и выходных потоков установки каталитического риформинга Л-35-11/600 ООО «ПО Киришинефтеоргсинтез». Проведенные исследования показали, что оптимальным будет подача хлора на поверхность катализатора именно в третий реактор, в котором наиболее полно будет обеспечиваться протекание реакции хлорирования Pt-Re катализатора [13].

Изготовленная в ОАО «АЗКиОС» (г.Ангарск) композиция катализаторов в шариковой форме РБ-33У/РБ-44У марки Ш хорошо зарекомендовала себя в ходе длительной эксплуатации на установках риформинга НПЗ Ангарска, Когалыма, Сургутского ЗСК [14].

Таблица 4 – Условия и результаты фиксированного пробега катализатора РБ-33У, 44У [15]

Показатель	Гарантийные	Фактические
Качество сырья		
Плотность при 20°С, г/см^3	Не менее 0,740	0,746
Фракционный состав, °С: НК 50% об. КК	 Не ниже 90 Не ниже 120 Не выше 180	 104 129 179
Содержание серы в гидрогенизате, мг/кг	Не более 0,5	0,1
Углеводородный состав, % масс.: парафиновые нафтеновые ароматические олефиновые	 47,0-50,0 41,5-43,2 7,7-9,6 0,3-0,4	 49,5 41,5 8,7 0,3
Условия процесса		
Температура входа, °С	488-492	491
Объемная скорость подачи сырья, ч$^{-1}$	1,0-1,5	1,2
Давление на выходе из последней ступени риформинга, МПа	Не выше 2,0	1,98
Кратность циркуляции ВСГ, нм^3/м^3	Не ниже 1000	1200
Показатели процесса		
ОЧ риформата: по м.м. по и.м.	 Не менее 87,0 Не менее 96,0	 87,0-87,2 96,5-97,0
Выход стабильного риформата (в расчете на гидрогенизат), % масс.	Не менее 88,0	88,5
Выход водорода, % масс.	Не менее 2,3	2,4
Концентрация водорода в ЦВСГ, % об.	75-84	82

Так, на установке риформинга Л-35-11/1000 Ангарского НПЗ при производстве высокооктанового компонента бензина с ИОЧ 95-97 п. за три года непрерывной эксплуатации температуру на входе в реакторы повысили с 487 °С до 496°С, что соответствует усредненной скорости подъема температуры 0,25 °С/месяц, является очень хорошим результатом и свидетельством высокостабильной работы катализаторов. Данные показатели превысили значения, гарантированные разработчиком катализатора (таблица 4).

В ходе эксплуатации катализаторов наряду с основными процессами риформинга протекают и побочные превращения, связанные с образованием бедных по водороду углеродсодержащих соединений и приводящие к образованию, так называемого, кокса. Скорость накопления определяется рядом технологических параметров, типом катализатора, состоянием и дисперсностью его металлических центров. Накопление кокса на поверхности порового пространства катализатора приводит к затруднению процессов массопереноса, ограничению доступа компонентов сырья к каталитическим центрам. В итоге это сопровождается снижением каталитической активности и необходимостью проведения регенерации катализатора.

Авторы статьи [16] освещают о ранее выполненных исследованиях, которые показали целесообразность использования метода термического анализа как одного из важнейших методов, позволяющих вести наблюдения за процессом коксообразования. Цель проведенного исследования заключалась в объединении опыта использования методов термического анализа (дифференциально-термического – ДТА в сочетании с термогравиметрическим – ТГ) для оценки эффективности работы платино-рениевого катализатора и прогнозирования продолжительности эксплуатационного цикла. Выполненное исследование показало, что объединение методов ДТА и ТГ действительно является эффективным для оценки работы платино-рениевых катализаторов.

3 Объекты и методы исследования

Объектами исследования в данной работе являются различные марки катализаторов – PR-9, R-98 и РБ-33У/РБ-44 У марки Ш, которые эксплуатируются на установках каталитического риформинга ООО «РН-Комсомольского НПЗ» и АО «Ачинского НПЗ ВНК». Данные установки риформинга работают по схеме со стационарным слоем катализатора (см. раздел 1.5, рисунок 1)

Цель проводимых исследований заключается в проведении исследований по повышению ресурса платиносодержащих катализаторов риформинга.

С этой целью был проведен анализ показателей эксплуатации Pt-контактов на выше перечисленных промышленных установках. Источниками информации послужили официальные публикации, а также информация полученная непосредственно на НПЗ.

В каждом индивидуальном случае по условиям контракта на поставку катализатора гарантируется определенный уровень активности и селективности.

В таблице 5 приведены физико-химические и гарантийные свойства зарубежных и отечественных катализаторов риформинга.

Следует отметить, что главной особенностью сферической формы катализаторов является использование шарикового носителя на основе нового сверхчистого активного оксида алюминия оптимизированной структуры и повышенной термостабильности. Откалиброванные по размеру шарики носителя имеют близкую к идеальной сферическую форму и высокую механическую прочность по сравнению с экструдатами. Важнейшими преимуществами нового носителя являются: текучесть слоя, позволяющая упростить и сократить время в процессе загрузки и выгрузки катализатора; снижение образования катализаторной пыли; плотная однородная упаковка катализатора; минимальная усадка в процессе эксплуатации.

Таблица 5 – Физико-химические и гарантийные свойства зарубежных и отечественных катализаторов риформинга [10, 19]

Показатели	Завод-изготовитель, марка катализатора			
	ОАО «АЗК и ОС»		UOP	Criterion
	РБ-33У марка Ш	РБ-44У марка Ш	R-98	PR-9
Форма	Сфера		Экструдаты	
Диаметр, мм	1,6-2,0		1,6	
Насыпная плотность, г/см^3	0,7-0,8		0,66-0,72	0,69-0,74
Содержание, % масс.: платина рений	 0,29-0,31 0,29-0,31	 0,24-0,26 0,39-0,43	 0,25 0,25	 0,30 0,30
Активность – массовая доля ароматических углеводородов в стабильном бензине , полученном при 490 °С, %	Не менее 72		*	*
Селективность – выход стабильного бензина с массовой долей ароматических углеводородов 65 %, %	Не менее 84		*	*

*Уровень активности и селективности катализаторов зависит от качества сырья.

Из таблицы 5 следует, что содержание активного компонента платины в катализаторах PR-9, R-98 и РБ-33У/РБ-44 У марки Ш колеблется в пределах от 0,24 до 0,31 % масс., а рения – от 0,25 до 0,43 % масс.

Насыпная плотность определяет количество катализатора в тоннах на его объем, меньшая насыпная плотность снижает содержание платины в его объеме, следовательно для переработки одного и того же количества сырья используется меньшее количество платины.

Гарантийные показатели активности для зарубежных катализаторов определяются по октановому числу стабильного катализата, а для отечественных – по содержанию ароматических углеводородов в риформате. Различие в определении показателя активности возникло, когда в начальный период развития процесса каталитического риформинга в бывшем СССР качество товарного бензина определялось содержанием в нем ароматических углеводородов. Вслед за тем, когда во всем мире начали ужесточаться требования по содержанию

ароматических углеводородов в особенности бензола, в России разработчиками катализаторов не было внесено соответствующее изменение в Технические условия на катализаторы риформинга по пункту *активность*.

3.1 Математические моделирование как метод исследования процесса каталитического риформинга бензинов

Развитие и применение метода математического моделирования в практике кинетического и технологического анализа процессов дает возможность выполнять адекватную оценку кинетических параметров различных катализаторов. Таким образом, это позволяет решать задачи прогнозирования показателей текущей и оптимальной активности, избирательности и длительности межрегенерационного цикла в условиях промышленной эксплуатации с учетом конструкционных и технологических особенностей реакторного блока и компонентного углеводородного состава сырья [17].

Решение поставленных задач, возможно, осуществить обоснованным выбором критерия оценки работоспособности катализатора с учетом динамики процесса в период эксплуатации в промышленных реакторах риформинга. Таким критерием может служить степень приближения достигаемой активности к расчётному показателю по термодинамическому равновесию, а учёт степени использования внутренней поверхности зерна катализатора при моделировании кинетики реакций и процессов на поверхности катализатора позволяет оценить скорости протекающих реакций в зависимости от параметров проведения процесса (состав смеси, температура, давление, тип катализатора и др.).

С учётом нестационарности процесса риформинга активность катализатора может быть представлена следующим образом:

$$A = k/k_0, \qquad (1)$$

где k и k_0 – константы скоростей целевой реакции на дезактивированном (k) и свежем (k_0) катализаторе; A – активность катализатора.

Поддержание стационарного состояния в течение длительного времени при протекании реакций в неравновесных условиях дезактивации осуществляется регулированием параметров состояния (температура и время контакта). Снижение активности представляет разность активностей реального и «свежего» катализатора.

При этом текущая активность катализатора А определяется с учётом скорости химических реакций

$$A = W_k - W_0(1-\alpha), \tag{2}$$

где W_k, W_o – скорость химической реакции с катализатором и без катализатора соответственно, моль/(см^3·с); α – доля свободного объема, занятого катализатором и недоступного для реагирующей смеси.

Исследования, проведенные автором публикации, показали, что динамика изменения активности катализатора риформинга определяющим образом зависит от углеводородного состава сырья, заданного октанового числа продукта, соотношения $H_2 / сырьё$ и давления. Влияние этих факторов является неоднозначным и взаимосвязанным. Возникает необходимость формирования интегрального показателя дезактивации. По своей сущности активность симбатна скорости целевых реакций и может быть выражена количеством целевого продукта в единицу времени (W). При этом необходимо указать условия её определения, что очень важно при сравнении катализаторов [18].

$$W = k_0 \cdot e^{-\frac{E}{RT}} \cdot f(C), \tag{3}$$

где E – мера запаса внутримолекулярной энергии, необходимой для протекания реакции; k_o – мера вероятности протекания реакции.

Текущая активность катализатора определяется W, а его стабильность – скоростью изменения W. Значения W рассчитываются по данным хроматографического анализа сырья и продукта при заданных технологических условиях (температура, давление, активность).

Автор [18] рассматривает проблему подбора каталитических контактов для установок риформинга бензинов с учётом нестационарности реального промышленного процесса.

Также учитывалась степень использования внутренней поверхности зерна катализатора, так как при подборе катализаторов различных марок именно структурные характеристики Pt-контакта в значительной степени влияют на основные показатели его работы (активность, селективность и стабильность).

Учёт степени использования внутренней поверхности зерна катализатора, который осуществляется через фактор эффективности η, который характеризует диффузионный режим протекания реакции внутри зерна катализатора и определяется модулем Тиле:

$$\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{r_1}{r_2}\sqrt{\frac{k_1 D_{эф2}}{k_2 D_{эф1}}}, \tag{4}$$

Коэффициент эффективной диффузии в данном случае рассчитывается по известным значениям удельной поверхности катализатора и его геометрическим характеристикам:

$$D_{эф} = \frac{D_k \theta}{\delta} = \frac{8\theta^2}{3 \cdot \delta \cdot S_{уд.} \cdot \rho}\sqrt{\frac{8RT}{\pi \cdot M}}, \tag{5}$$

где D_k – коэффициент кнудсеновской диффузии, м^2/с; θ – доля свободного объема в пористой грануле; $S_{уд}$– удельная поверхность катализатора, м^2/г; ρ – плотность гранулы, кг/м^3; M – молекулярная масса диффундирующей молекулы, г/моль; δ – коэффициент извилистости, который обычно близок к двум; R – универсальная газовая постоянная, R = 0,008314 кДж/(моль*К); T – температура, К.

Если $D_{эфф}$ >>k, $\phi \to 0$ и $\eta \to 1$, то реакция протекает в кинетической области. Для математического описания процесса превращения углеводородов в реакторе предложена нестационарная математическая модель [18], которая представляет собой систему дифференциальных уравнений в частных производных с учётом степени использования внутренней поверхности зерна катали-

затора и коксообразования (через изменение концентрации обратимого и графитообразного кокса):

$$\begin{cases} G_c \dfrac{\partial C_i}{\partial Z} + G_c \dfrac{\partial C_i}{\partial V} = \sum_j k_j \cdot C_i \cdot \eta_j, \\ G_c \dfrac{\partial T}{\partial Z} + G_c \dfrac{\partial T}{\partial V} = \dfrac{1}{\rho \cdot C_p^{см}} \sum_j \Delta H \cdot k_j \cdot C_i \cdot \eta_j. \end{cases}$$

$$при \quad Z = 0 \quad T = T_{вх} \quad C_i = C_i^{вх};$$

$$при \quad V = 0 \quad T = T_{вх} \quad C_i = C_i^{вх}.$$

где Z – общий объем переработанного сырья, м^3; V – объем катализатора в реакторах, м^3; G_c – расход газосырьевой смеси, м^3/ч; i – номер компонента в смеси; j – номер реакции по формализованному механизму; C_i – концентрация i-го компонента смеси на входе в реактор, моль/м^3; k_j – константа скорости j-й реакции; $C_p^{см}$ – теплоемкость смеси, Дж/(кг·К); ΔH – тепловой эффект j-й реакции, Дж/моль; ρ – плотность, кг/м^3; T – температура, К.

Учет нестационарности в модели позволяет численно определить эффективность использования внутренней поверхности катализаторов по отклонению текущей активности от оптимальной. На основе данного критерия оценки работоспособности катализатора в период эксплуатации в промышленных реакторах риформинга можно определить марку наиболее подходящего каталитического контакта для конкретного производства. Чем меньше отклонение текущей активности от оптимальной, тем эффективнее данный катализатор для конкретной промышленной установки.

Компьютерная моделирующая программа «Контроль активности катализатора», созданная на базе приведенной методики, на кафедре Химической технологии топлива Томского политехнического университета, предназначена для проведения непрерывного мониторинга промышленной установки с использованием предложенной математической модели. В ее основу заложены физико-химические закономерности процесса риформинга. Данная программа позволяет производить анализ таких показателей, как активность катализатора,

отложение кокса на поверхности катализатора, выход целевого продукта, а также оценить качество получаемого продукта.

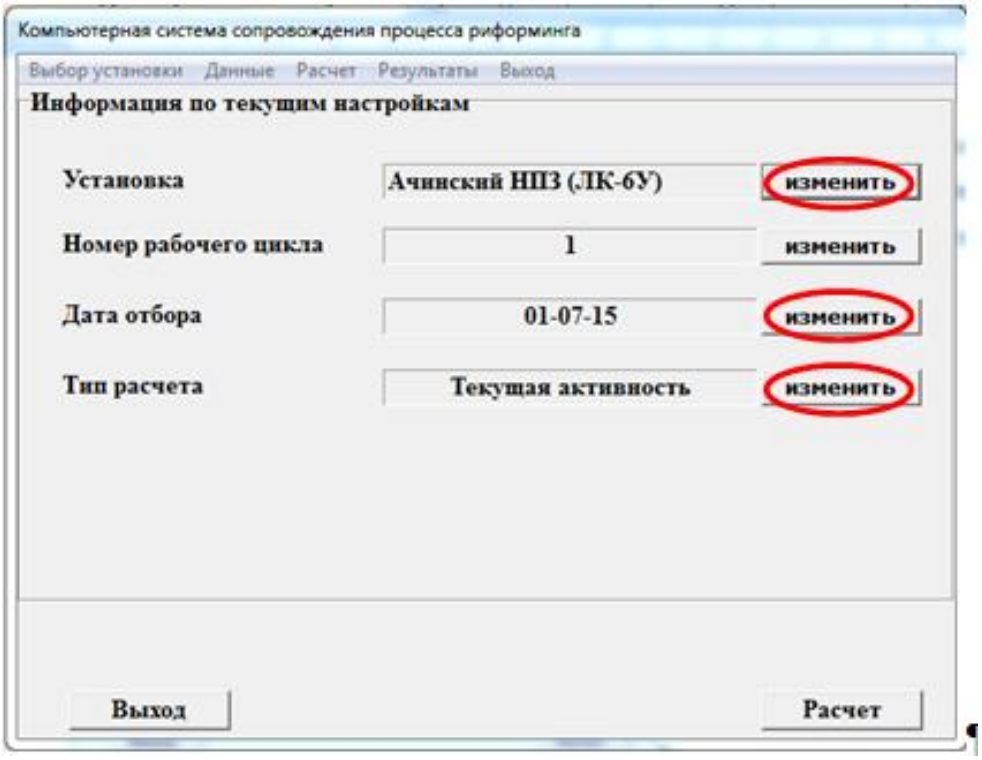


Рисунок 2 – Основное окно программы

Для проведения модельных исследований сначала необходимо выбрать технологическую установку (рисунок 2), для которой будет производиться расчет, дату отбора и тип параметра, который будет рассчитываться для данной установки.

При расчете пользователь имеет возможность изменить технологические параметры, представленные на рисунке 3.

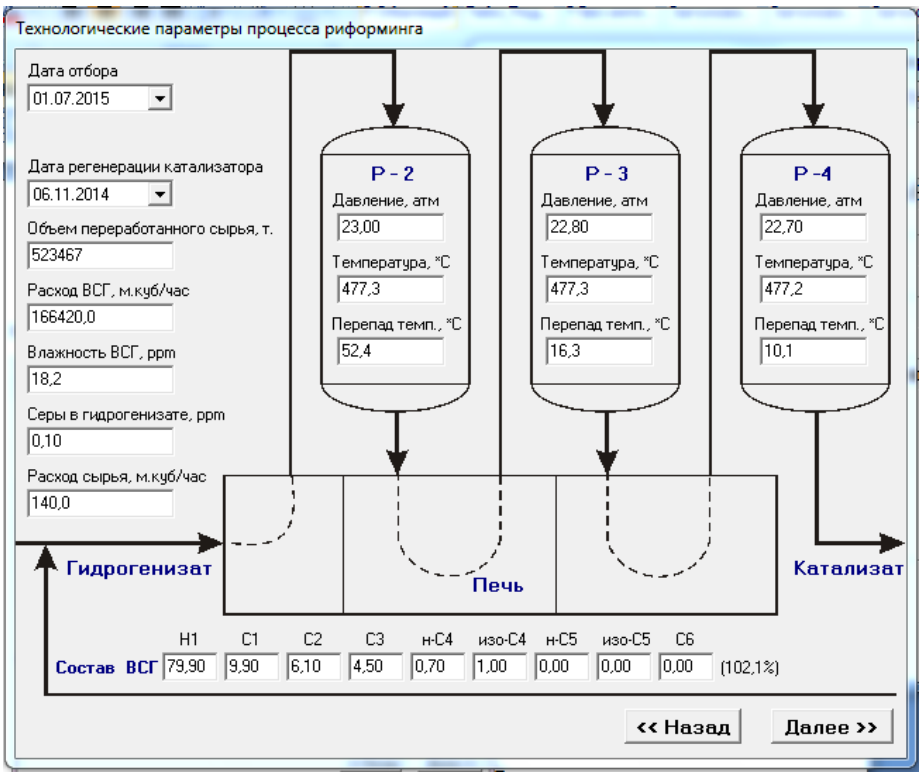


Рисунок 3 – Окно технологических параметров процесса

Продолжив расчет, на экране появится окно «Результаты расчета», где будут отражены основные характеристики риформата (рисунок 4). Кроме этого в данном окне с помощью дополнительных кнопок можно узнать информацию о сырье, металлическую и кислотную активность, а также получить рекомендации по ведению процесса и сравнить полученные результаты с данными за другую дату.

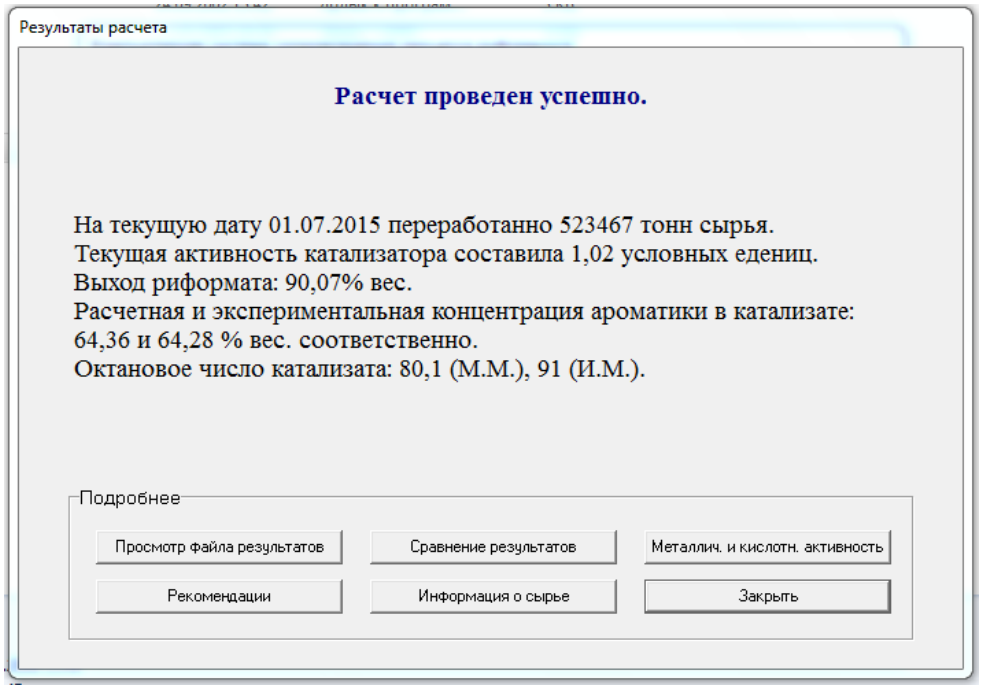
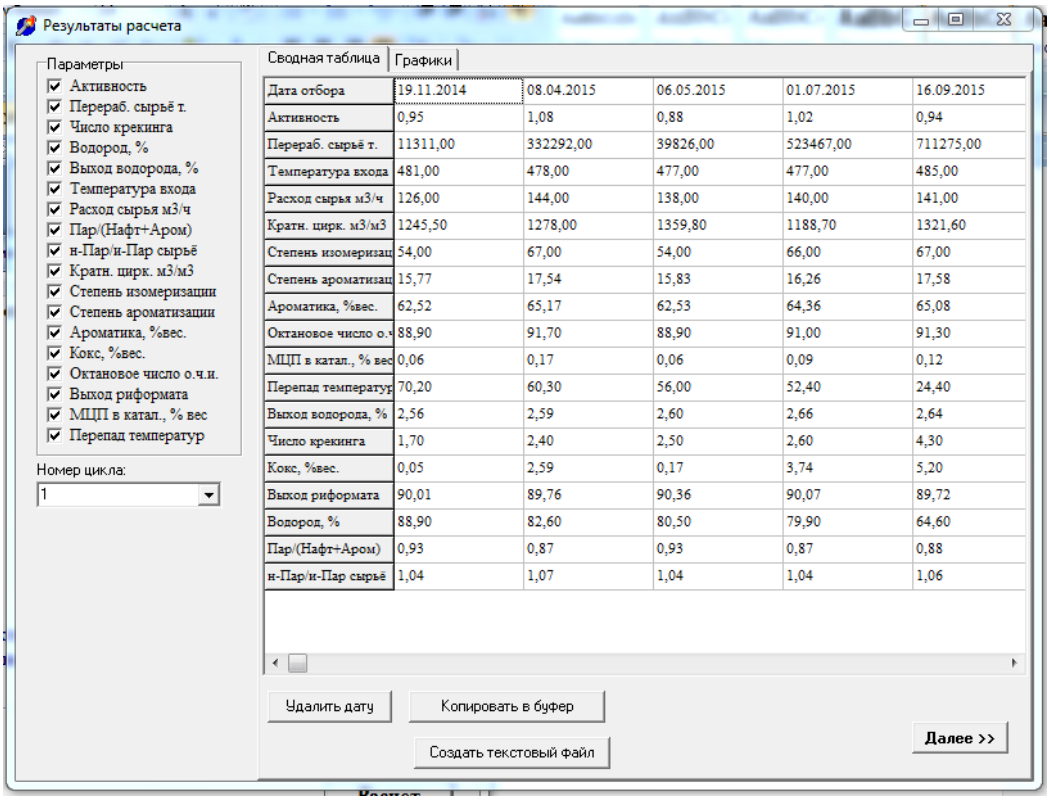


Рисунок 4– Окно результатов технологического расчета

Все результаты расчетов записываются в «Сводную таблицу», на основе которой строятся «Графики», их можно просмотреть в меню «Результаты» (рисунок 5).



Дата отбора	19.11.2014	08.04.2015	06.05.2015	01.07.2015	16.09.2015
Активность	0,95	1,08	0,88	1,02	0,94
Перераб. сырьё т.	11311,00	332292,00	39826,00	523467,00	711275,00
Температура входа	481,00	478,00	477,00	477,00	485,00
Расход сырья м3/ч	126,00	144,00	138,00	140,00	141,00
Кратн. цирк. м3/м3	1245,50	1278,00	1359,80	1188,70	1321,60
Степень изомеризац	54,00	67,00	54,00	66,00	67,00
Степень ароматизац	15,77	17,54	15,83	16,26	17,58
Ароматика, %вес.	62,52	65,17	62,53	64,36	65,08
Октановое число о.ч	88,90	91,70	88,90	91,00	91,30
МЦП в катал., % вес	0,06	0,17	0,06	0,09	0,12
Перепад температур	70,20	60,30	56,00	52,40	24,40
Выход водорода, %	2,56	2,59	2,60	2,66	2,64
Число крекинга	1,70	2,40	2,50	2,60	4,30
Кокс, %вес.	0,05	2,59	0,17	3,74	5,20
Выход риформата	90,01	89,76	90,36	90,07	89,72
Водород, %	88,90	82,60	80,50	79,90	64,60
Пар/(Нафт+Аром)	0,93	0,87	0,93	0,87	0,88
н-Пар/и-Пар сырьё	1,04	1,07	1,04	1,04	1,06

Рисунок 5 – Сводная таблица результатов

Пользователь имеет возможность провести аналогичные исследования на различном сырье (более тяжелом или более легком) и на любой другой установке предложенных в базе данных. Таким образом, можно подобрать оптимальные условия для эксплуатации катализатора, при которых его срок службы будет увеличиваться при этом, получая продукт с требуемым качеством и высоким выходом.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Предпроектный анализ

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

Целевым рынком для данного проекта будут являться предприятия нефтеперерабатывающей промышленности.

Продукт (результат НИР) – компьютерно-моделирующая программа «Контроль работы катализатора» ($Б_Ф$).

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

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

На сегодняшний день разработано множество компьютерно-моделирующих систем, позволяющих проводить мониторинг промышленных установок нефтеперерабатывающей промышленности, однако наибольшее распространение получили программные пакеты PIMS ($Б_{К1}$) и Aspen Tech ($Б_{К2}$).

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Определяется по формуле [20]:

$$К = \sum В_i \cdot Б_i, \quad (6)$$

где К – конкурентоспособность инженерного решения или конкурента;

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

$Б_i$ – балл i-го показателя.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$Б_Ф$	$Б_{К1}$	$Б_{К2}$	$К_Ф$	$К_{К1}$	$К_{К2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,09	5	4	3	0,45	0,36	0,27
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,17	5	3	3	0,85	0,51	0,51
3. Надежность	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
4. Простота эксплуатации	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
5. Качество интеллектуального интерфейса	0,09	5	3	3	0,45	0,27	0,27
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
3. Цена	0,04	5	4	4	0,2	0,16	0,16
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
5. Послепродажное обслуживание	0,07	5	3	3	0,35	0,21	0,21
6. Финансирование научной разработки	0,04	4	5	4	0,16	0,2	0,16
7. Наличие сертификации разработки	0,06	4	5	4	0,24	0,3	0,24
Итого	0,95	57	48	43	4,58	3,62	3,29

Таким образом, проводя анализ конкурентных технических решений, наиболее конкурентоспособным будет $К_ф$.

5.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта (таблица 11).

Таблица 11 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2.Актуальность промышленной технологии. С3. Экологичность технологии. С4.Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С5.Наличие бюджетного финансирования. С6.Квалифицированный персонал.	**Слабые стороны научно-исследовательского проекта:** Сл1.Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров Сл2.Отсутствие инжиниринговой услуги, способной обучить работать в рамках проекта Сл3.Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца Сл4. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования
Возможности: В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях В4. Повышение стоимости конкурентных разработок	СиВ: Разработка математической модели для проведения мониторинга промышленных установок каталитического риформинга с целью оптимизации её работы, получения продукта с конкурентными преимуществами с оптимальной себестоимостью, высоким качеством и инжиниринговой услугой.	СЛиВ: 1.Повышение квалификации кадров у потенциальных потребителей 2.Создание инжиниринговой услуги с целью обучения работе с готовым продуктом 3.Приобретения необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца 4.Сокращение поставок или смена поставщика
Угрозы: У1.Отсутствие спроса на новые технологии производства У2.Развитая конкуренция технологий производства У3.Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции.	СВиУ: 1.Продвижение программы с целью создания спроса 2.Создание конкурентных преимуществ готового продукта 3.Сертификация и стандартизация продукта	СЛиУ: 1.Выходит на рынок и набирает популярность программа близкая по характеристикам. 2.Привлечение новых заказчиков.

5.1.4 Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить на степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения. Для этого необходимо запол-

нить специальную форму (таблица 12), содержащую показатели о степени проработанности проекта с коммерческой позиции и компетенций разработчика научного проекта.

Таблица 12 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	3
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	4
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	3
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	4
15.	Проработан механизм	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	51	51

Таким образом, по полученным результатам оценки степени готовности проекта к коммерциализации можно сделать вывод о том, что перспективность разрабатываемого проекта выше среднего. Однако, для того чтобы его успешно реализовать на рынке необходимо:

1. разработать бизнес-план коммерциализации разработанного программного обеспечения;

2. проработать вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок;

3. проработать вопросы использования инфраструктуры поддержки, получения льгот.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке (таблица 13):

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований [20].

Таблица 13 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Магистр
	3	Выбор направления исследований	Магистр, руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Магистр, руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических исследований, изучение литературы	Магистр
	6	Проведение экспериментов (мониторинг)	Магистр, руководитель, лаборант
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Магистр, лаборант
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Оформление отчета по НИР	9	Составление пояснительной записки	Магистр, Руководитель
	10	Сдача работы на рецензию	Магистр
	11	Предзащита	Магистр, руководитель
	12	Подготовка к защите дипломной работы	Магистр
	13	Защита дипломной работы	Магистр, руководитель

5.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Определение ожидаемого значения трудоемкости $t_{ожi}$:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (7)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i-ой работы чел.-дн.; t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн. В таблице 14. приведены результаты трудоемкости работ [20].

Таблица 14 – Трудоемкость работ

Наименование работ	**Трудоемкость работ**			**Исполнители**
	t_{min}, чел-дни	**t_{max}, чел-дни**	**$t_{ожi}$, чел-дни**	
Составление и утверждение технического задания	1	5	2,6	Р
Подбор и изучение материалов по теме	4	10	6,4	М
Выбор направления исследований	3 3	5 5	3,8 3,8	М Р
Календарное планирование работ по теме	1 1	7 7	3,4 3,4	М Р
Проведение теоретических исследований, изучение литературы	26	80	47,6	М
Проведение экспериментов (мониторинг)	60 20 60	120 45 120	84 30 84	М Р Л
Сопоставление результатов экспериментов с теорией	14 14	30 30	20,4 20,4	М Л
Оценка эффективности полученных результатов	5	7	5,8	Р
Составление пояснительной записки	14 5	30 14	20,4 8,6	М Р
Сдача работы на рецензию	4	7	5,2	М
Предзащита	1 1	2 2	1,4 1,4	М Р
Подготовка к защите дипломной работы	5	7	5,8	М
Защита дипломной работы	1 1	2 2	1,4 1,4	М Р

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

Продолжительность каждой работы в рабочих днях:

$$T_{р_i} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (8)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел. [20].

5.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой [20]:

$$T_{кi} = T_{рi} \cdot k_{кал}, \quad (9)$$

где $T_{кi}$– продолжительность выполнения i-й работы в календарных днях; $T_{рi}$ – продолжительность выполнения i-й работы в рабочих днях; $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (10)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 118 - 7} = 1{,}5$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе $T_{кi}$ округляем до целого числа (таблица 15).

Таблица 15 – Временные показатели выполнения работ

Наименование работ	**Трудоемкость работ $t_{ожi}$, чел-дни**	**Исполнители**	**Длительность работ в рабочих днях $T_{рi}$**	**Длительность работ в календарных днях $T_{кi}$**
Составление и утверждение технического задания	2,6	Р	2,6	4
Подбор и изучение материалов по теме	6,4	М	6,4	10
Выбор направления исследований	3,8 3,8	М Р	1,9 1,9	3 3
Календарное планирование работ по теме	3,4 3,4	М Р	1,7 1,7	3 3
Проведение теоретических исследований, изучение литературы	47,6	М	47,6	72
Проведение экспериментов (мониторинг)	84 30 84	М Р Л	28 10 28	43 15 43
Сопоставление результатов экспериментов с теорией	20,4 20,4	М Л	10,2 10,2	16 16
Оценка эффективности полученных результатов	5,8	Р	5,8	9
Составление пояснительной записки	20,4 8,6	М Р	10,2 4,3	16 7
Сдача работы на рецензию	5,2	М	5,2	8
Предзащита	1,4 1,4	М Р	0,7 0,7	1 1
Подготовка к защите дипломной работы	5,8	М	5,8	9
Защита дипломной работы	1,4 1,4	М Р	0,7 0,7	1 1

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ (таблица 16) [20].

Таблица 16– Календарный план-график проведения НТИ

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{кi}$, кал. Дн.	Продолжительность выполнения работ														
				янв.	февр.			март			апрель			май			июнь	
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4															
2	Подбор и изучение материалов по теме	Магистр	10															
3	Выбор направления исследований	Магистр, руководитель	3 3															
4	Календарное планирование работ по теме	Магистр, руководитель	3 3															
5	Проведение теоретических исследований, изучение литературы	Магистр	72															
6	Проведение экспериментов (мониторинг)	Магистр, руководитель, лаборант	43 15 43															
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Магистр, лаборант	16 16															
8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	9															
9	Составление пояснительной записки	Магистр, руководитель	16 7															
10	Сдача работы на рецензию	Магистр	8															
11	Предзащита	Магистр, руководитель	1 1															
12	Подготовка к защите дипломной работы	Магистр	9															
13	Защита дипломной работы	Магистр, руководитель	1 1															

Руководитель

Лаборант

Дипломник

5.2.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Расчет материальных затрат НТИ. Материальные затраты рассчитываются по следующей формуле:

$$З_м = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^{m} Ц_i \cdot N_{расхi}, \quad (11)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i-го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м^2 и т. д.); $Ц_i$ – цена приобретения единицы i-го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м^2 и т. д.); k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (15-25 %). Результаты сведены в таблицу 17.[20].

Таблица 17 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. с НДС, руб.	Затраты на материалы, (**$З_м$**), руб.
Тетрадь	шт.	2	20	48
Ручка	шт.	3	16	57,6
Чернила для принтера	мл	100	5	600
Бумага (формат А4)	листов	400	0,7	336
Итого:				1041,6

Расчет затрат на электроэнергию. Расчет затрат на электроэнергию определяется по формуле:

$$Е_э = \sum N_i \cdot Т_э \cdot Ц_э, \quad (12)$$

где Ni – мощность электроприборов по паспорту, кВт; Тэ – время использования электрооборудования, час; Цэ – цена одного кВт*ч, руб. (2,1 руб./кВт*ч). Результаты представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Затраты на специальное оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования с НДС, руб.	Мощность прибора, N_i, кВт	Сумма затрат на электроэнергию, $Е_э$, руб	Общая стоимость оборудования, руб.
1.	Компьютер	1	25000	0,375	293	25000
2.	Струйный принтер	1	3000	0,025	19,5	3000
Итого:					312,5	28000

Расчет основной заработной платы. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 19.

Таблица 19 – Основная заработная плата исполнителей темы

Исполнитель	Оклад, руб.	Районный коэффициент	Месячная зарплата, руб./мес.	Количество рабочих месяцев, мес.	Общие затраты по заработной плате, руб.
Руководитель	12678	1,3	16481	6	98888
Лаборант	10347	1,3	13451	3	40353
Итого:					139241

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления). В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФОМС) от затрат на оплату труда работников (таблица 20) [20].

Таблица 20 – Социальные отчисления

Исполнитель		Месячная заработная плата, руб./мес.	
Руководитель проекта		16481	
Лаборант		13451	
Социальные отчисления:			
ПФР (22 %)	ФСС (2,9 %)	ФОМС (5,1 %)	Страхование по классу опасности (0,5 %)
6585 руб.	868 руб.	1526,5 руб.	149,6 руб.
Итого:			9130,1 руб.

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 [20]:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{нр}, \qquad (13)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16 %.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта. Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции (таблица 21, рисунок 34).

Таблица 21 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	1041,6
2. Затраты на специальное оборудование	28000
3. Затраты на электроэнергию	312,5
4. Затраты по основной заработной плате	139241
5. Социальные отчисления	9130,1
6. Накладные расходы	28436,032
Итого:	206161,23

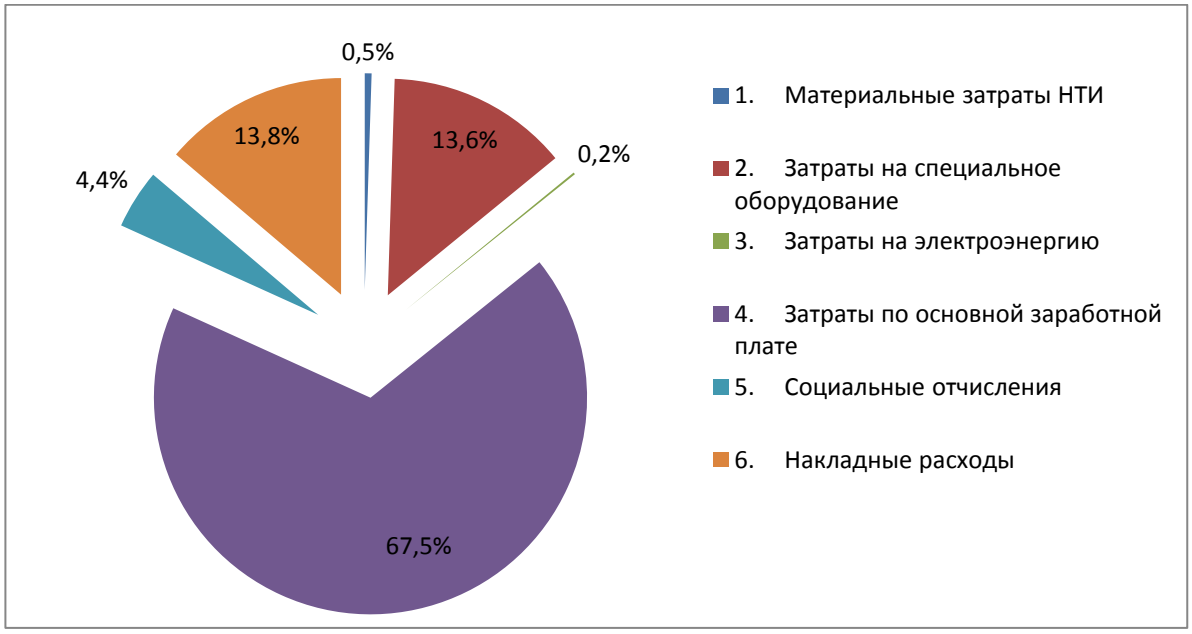


Рисунок 34 – Круговая диаграмма материальных затрат на проведение НТР

Таким образом, по данным результатов расчета данное исследование характеризуется низкой стоимостью, поскольку основная часть затрат приходится на затраты по заработной плате.

Список публикаций студента

1. Якупова И.В., Кириллова М.Д., Чернякова(Шарова) Е.С. Зависимость срока эксплуатации катализатора риформинга от давления в реакторах промышленной установки риформинга // Проблемы геологии и освоения недр: труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 4-8 апреля 2016. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016 – Т. 2 – с. 595 – 596.

2. Кириллова М.Д. Исследование влияния давления в реакторах на процесс каталитического риформинга бензинов // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулева, посвященной 120-летию Томского политехнического университета, Томск, 17-20 мая 2016. – Томск: ТПУ, 2016 – с. 349.

3. Кириллова М.Д. Исследование влияния состава сырья процесса каталитического риформинга // Проблемы геологии и освоения недр: труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 4-8 апреля 2016. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016 – Т. 2 – с. 501 – 503.

2. Kirillova M.D. Kontrolle der Arbeit von Industriellen Katalytischen Reforming-Anlage A-35-11/450K Komsomolsker Raffinerie // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 70-летнему юбилею Победы советского народа над фашистской Германией, Томск, 6-10 апреля 2015. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015 – Т. 2 – с. 804 – 806.

3. Кириллова М.Д. Исследование и повышение эффективности работы промышленной установки риформинга методом математического моделирова-

ния // XXVI Менделеевская конференция молодых ученых: сборник тезисов, Самара, 17-23 апреля 2016. – Самара: СамГТУ, 2016 – с.70

4. Yakupova I.V., Kirillova M.D., Chernyakova E.S., Ivanchina E.D. The reactor pressure effect on the reforming catalyst lifetime // Catalytic Hydroprocessing in Oil Refining (STS 2016): II Scientific-Technological Symposium: abstracts Belgrad, April 17-23, 2016. – Novosibirsk: Boreskov Institute of Catalysis SB RAS, 2016 – p. 165 – 166.