

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»
(химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов)
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Выбор варианта каталитического крекинга для производства высокооктанового бензина

УДК 665.633.092.097

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д33	Шпорт Юлия Юрьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Левашова А.И.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король И.С.	К.Х.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кузьменко Е.А.	К.Т.Н.		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии
P4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностраным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве , ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»
 (химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов)
 Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) _____ (Дата) Кузьменко Е.А.
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д33	Шпорт Юлии Юрьевне

Тема работы:

Выбор варианта каталитического крекинга для производства высокооктанового бензина	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 13.04.18 г. №2589

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.18 г.
--	--------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду; энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Виды каталитического крекинга.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>В псевдоожиженном слое катализатора (лифт-реактор)</i> – <i>Каталитический крекинг «Флюид» (ККФ)</i>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования,</i></p>	<p><i>1. Литературный обзор: Сырье, продукты, катализаторы, химизм каталитического крекинга, основное и вспомогательное оборудование.</i></p> <p><i>2. Объекты и методы исследований</i></p> <p><i>3. Расчеты и аналитика: Аналитический обзор, теоретический анализ.</i></p> <p><i>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</i></p> <p><i>5. Социальная ответственность;</i></p> <p><i>Заключение</i></p>

<i>конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<i>отсутствует</i>
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность	Король Ирина Степановна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
-	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.01.18 г.
---	--------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Левашова А.И.	к.т.н., доцент		15.01.18 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д33	Шпорт Ю.Ю.		15.01.18 г.

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д33	Шпорт Юлии Юрьевне

Институт	ТПУ ИШПР	Отделение школы	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Химическая технология

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Матрица SWOT</i>
2. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
3. <i>График проведения и бюджет НИИ</i>
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ</i>
5. <i>Сравнительная эффективность разработки</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д33	Шпорт Юлия Юрьевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д33	Шпорт Юлии Юрьевне

Институт	ТПУ ИШПР	Отделение школы	Отделение химической инженерии
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Химическая технология

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования: приборы и оборудования каталитического крекинга Рабочая зона: лаборатория ТПУ Методика: выбор варианта каталитического крекинга для производства высокооктанового бензина Область применения: нефтедобывающая промышленность</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</p> <p>1.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</p>	<p>1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования.</p> <p>1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.</p> <p>1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.</p> <p>2.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.</p> <p>2.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.</p> <p>3.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований.</p> <p>3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС. разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>4.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.</p> <p>4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Король И.С.	к. х.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д33	Шпорт Юлия Юрьевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 85 страниц, 20 рисунков, 20 таблиц, 17 источников.

Ключевые слова: каталитический крекинг, бензин, лифт–реактор, октановое число, катализатор, флюид.

Объектом исследования является установка лифт–реактор, флюид крекинг.

Цель работы – выявить подходящий вариант каталитического крекинга для производства бензина с наилучшими качествами.

В процессе исследования проводился разбор процессов каталитического крекинга.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать выводы о том, что на рынке существует метод для более глубокой переработки нефти.

Область применения: на предприятиях нефтеперерабатывающей промышленности, где реализован процесс каталитического крекинга.

Экономическая значимость работы заключается в возможности увидеть целесообразно ли использование тех или иных вариантов каталитического крекинга. Возможна ли оптимизация процесса путем корректировки технологического режима.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков.
- ГОСТ 17.1.3.12-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие правила охраны вод от загрязнения при бурении и добыче нефти и газа на суше.
- ГОСТ Р 22.0.01-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения
- ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита населения. Основные положения

В данной работе использованы следующие обозначения и сокращения:

ГВП – глубокая вакуумная перегонка;

ГО – гидроочистка;

КК – каталитический крекинг;

ЗК – замедленное коксование;

ДА – деасфальтизация;

ВГ – вакуумный газойль;

К – кокс; Асф – асфальтены;

Гд – гудрон;

Г – газ;

Б – бензин;

Д – дизельное топливо;

FCC – fluid catalytic cracking;

ККФ – каталитический крекинг-флюид;

LCO – light cycle oil;

ППР – предупредительно плановый ремонт;

ВКР – выпускная квалификационная работа;

НПЗ – нефтеперерабатывающий завод.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	12
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	13
1.1 Сырье каталитического крекинга	13
1.2 Продукты каталитического крекинга.....	16
1.3 Катализаторы процесса	19
1.4 Химизм и механизм реакций каталитического крекинга.....	24
1.5 Основное и вспомогательное оборудование.....	29
1.5.1 Основное оборудование	30
1.5.2 Вспомогательное оборудование.....	36
2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	41
2.1 Объекты исследования	41
3 РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА.....	52
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	54
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	54
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	54
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	55
4.1.3 SWOT-анализ	56
4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	58
4.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	58
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	58
4.3.2 Определение трудоемкости работ	60

4.3.3	График проведения научного исследования.....	61
4.3.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	66
4.3.4.1	Расчет материальных затрат НТИ.....	66
4.3.4.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	67
4.3.4.2	Основная заработная плата исполнителей темы.....	68
4.3.4.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	69
4.3.4.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)..	70
4.3.4.6	Накладные расходы.....	71
4.3.4.6	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта 71	
4.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	72
5	РАЗДЕЛ СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	76
5.1	Производственная безопасность.....	77
5.1.1	Анализ вредных и опасных факторов.....	78
5.1.2	Средства защиты от воздействий опасных и вредных производственных факторов.....	79
5.2	Экологическая безопасность.....	79
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	80
5.3	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности....	81
5.4.1	Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	81
5.4.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....	82
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	84

Введение

Нефть представляет собой уникальное природное ископаемое – жидкую смесь углеводородов различной структуры и свойств, залегающих в пористых горных породах. Эта жидкость – ценнейший источник энергии для всего человечества. Ежегодно в мире добывается более 4,2 млрд тонн нефти. Большая часть нефти расходуется на производство топлив для автомобильных двигателей – бензиновых и дизельных. А так как, наибольшим спросом пользуются светлые нефтепродукты, которые имеют максимальную продажную цену, то важным показателем технологического совершенства нефтеперерабатывающих заводов, является глубина переработки нефти. Потому как, чем больше светлых нефтепродуктов из тонн нефти, получит завод, тем большую прибыль получит. Но как известно, выход продукта после первичной переработки, составляет около пятидесяти 50 % масс [1].

Главной задачей современной нефтеперерабатывающей промышленности является углубление переработки нефти, с целью увеличения производства качественных моторных топлив и сырья для нефтехимии.

Каталитический крекинг, являясь одним из наиболее распространенных крупнотоннажных процессов углубленной переработки нефти, обеспечивает производство высокооктанового бензина (с максимально высоким выходом – до 50% масс.) и ценных сжиженных газов [2].

Целью работы является рассмотреть варианты каталитического крекинга позволяющие получить максимальный выход продуктов, а так же рассмотреть возможные перспективы этой области.

1 Литературный обзор

1.1 Сырье каталитического крекинга

В качестве сырья в процессе каталитического крекинга в течение многих десятилетий традиционно использовали вакуумный дистиллят (газойль) широкого фракционного состава (350-580°C). В ряде случаев в сырье крекинга вовлекаются (рисунок 1): газойлевые фракции термодеструктивных процессов, гидрокрекинга, рафинаты процессов деасфальтизации мазутов и гудронов, полупродукты масляного производства и др. В последние годы в мировой нефтепереработке наблюдается тенденция к непрерывному утяжелению сырья [3].



Рисунок 1 – Сырье каталитического крекинга

Существует пять типичных вариантов получения сырья для каталитического крекинга (рисунок 2)

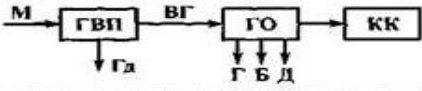
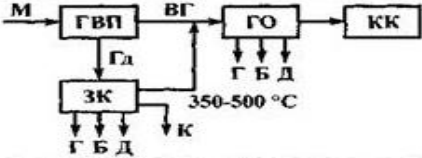
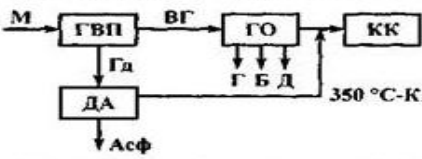
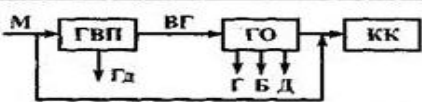
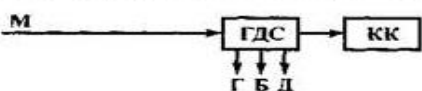
Схема процесса	Вариант	Выход бензина с ГТ неф-ти, %
	1	46
	2	55
	3	57
	4	57
	5	58

Рисунок 2 – Варианты получения сырья

ГВП – глубокая вакуумная перегонка; ГО – гидроочистка; КК – каталитический крекинг; ЗК – замедленное коксование; ДА – деасфальтизация; ВГ – вакуумный газойль; К – кокс; Асф – асфальтены; Гд – гудрон; Г – газ; Б – бензин; Д – дизельное топливо.

Качество исходного сырья оказывает большое влияние на работу катализаторов. Групповой химический состав сырья более значительно влияет на выход и качество продуктов крекинга. Нежелательными компонентами в сырье являются (рисунок 3): повышенное содержания в сырье металлов и азотистых соединений, а также утяжеление фракционного состава ведут к значительному коксообразованию и быстрой дезактивации катализатора. По этой причине газойли коксования и термического крекинга перерабатывать сложнее, чем прямогонное сырье. Поэтому при крекинге даже прямогонных газойлей, полученных из смолистых и сернистых нефтей, приходится ограничивать конец кипения сырья на уровне 480-490°C [5].

Нежелательные соединения в сырье каталитического крекинга



Рисунок 3 – Нежелательные компоненты сырья

Наибольшая эффективность крекинга достигается на предварительно гидроочищенном сырье.

Подготовка (облагораживание) сырья каталитического крекинга осуществляется с целью снижения содержания металлов и коксогенных компонентов в сырье до такой степени, чтобы его последующая каталитическая переработка была бы более экономична, то есть при умеренных габаритах регенератора и без чрезмерного расхода дорогостоящего катализатора [6].

Известно около 30 процессов подготовки нефтяных остатков и вакуумных дистиллятов с использованием или без использования водорода. К процессам с использованием водорода относятся (рисунок 4) гидроочистка, различные виды гидрокрекинга; к процессам без использования водорода - висбрекинг, коксование, термоконтактный крекинг, деасфальтизация и селективная очистка с помощью растворителей и др. [6].

Выбор того или иного процесса подготовки сырья к дальнейшей переработке зависит от качества сырья, необходимой глубины его очистки и определяется технико-экономическими показателями коксогенных компонентов сырья (смол и асфальтенов) и гетероорганических соединений и металлов [6].

Способы подготовки сырья для каталитического крекинга



Рисунок 4 – Способы подготовки сырья

В большинстве вакуумных газойлей, направляемых на каталитический крекинг, в зависимости от типа исходной нефти содержание в них групповых компонентов колеблется в довольно широких пределах: парафиновых 15-35% нафтеновых 20-40% и ароматических 15-60% [6].

Крекинг подготовленного сырья приводит к уменьшению выхода кокса и газа и увеличению выхода бензина. Улучшается качество полученных продуктов [5].

1.2 Продукты каталитического крекинга

Продуктами процесса каталитического крекинга являются (рисунок 5) углеводородные газы (выход 20-30 % мас. на сырье), высокооктановая фракция бензина (выход до 50 % мас. на сырье), легкий и тяжелый газойли (выход до 20 % мас. на сырье) и кокс на катализаторе (выход 2,5-6 % мас. на сырье).

Продукты каталитического крекинга



Рисунок 5 – Продукты каталитического крекинга

– Жирный газ, получаемый на установках каталитического крекинга характеризуется значительным содержанием углеводородов изостроения, особенно изобутана. Это повышает ценность газа как сырья для дальнейшей переработки. Жирный газ установки каталитического крекинга и бензин для удаления из него растворенных легких газов поступают на абсорбционно-газофракционирующую установку. Сухой газ, получаемый после выделения бутан-бутиленовой и пропан - пропиленовой фракций, большей частью используется как энергетическое топливо [6].

– Нестабильный бензин. При каталитическом крекинге можно вырабатывать высокооктановый автомобильный бензин или сырье для получения базового авиационного бензина путем каталитической очистки. При производстве базового авиационного бензина исходным сырьем являются керосиновые и легкие соляровые дистилляты первичной перегонки нефти или их смеси, выкипающие в пределах 240-360 °С. Сначала получают бензин с концом кипения 220-245 °С (так называемый мотобензин). После стабилизации этот бензин поступает на дальнейшую переработку - каталитическую очистку (вторая ступень каталитического крекинга), на которой получают базовый авиационный бензин. Последний, в результате каталитической очистки, содержит, по сравнению с автомобильным бензином, значительно меньше олефинов и больше ароматических углеводородов, что соответственно

повышает стабильность и октановое число авиационного бензина. Базовые авиационные бензины в зависимости от свойств перерабатываемого сырья и условий процесса имеют октановые числа по моторному методу от 82 до 85, а с добавкой этиловой жидкости (3 - 4мл на 1 кг бензина) - от 92 до 96. Нестабильный бензин каталитического крекинга подвергают физической стабилизации с целью удаления растворенных в нем легких углеводородов, имеющих высокое давление насыщенных паров. Из стабильных бензинов каталитического крекинга получают авиационные бензины или используют их как высокооктановые компонента для приготовления автомобильных бензинов разных марок. Компоненты автомобильного бензина каталитического крекинга в нормальных условиях хранения достаточно химически стабильны [6].

– Легкий газойль. Легкий газойль по сравнению с товарными дизельными фракциями имеет более низкое цетановое число и повышенное содержание серы. Цетановое число легкого каталитического газойля, полученного из легких соляровых дистиллятов парафинового оснований, составляет 45-56, из нафтеноароматических дистиллятов - 25-35. При крекинге более тяжелого сырья цетановое число легкого газойля несколько выше, что объясняется меньшей глубиной превращения. Цетановые числа с повышением температуры крекинга снижаются. Легкие каталитические газойли содержат непредельные углеводороды и значительные количества (28-55%) ароматических углеводородов. Температура застывания этих газойлей ниже, чем температура застывания сырья, из которого они вырабатываются. На качество легкого газойля влияет не только состав сырья, но и катализатор и технологический режим. С повышением температуры выход легкого каталитического газойля и его цетановое число уменьшаются, а содержание ароматических углеводородов в нем повышается. Легкие каталитические газойли используются в качестве компонентов дизельного топлива в том случае, если смешиваемые компоненты дизельного топлива, получаемые при первичной перегонке нефти, имеют запас по цетановому числу и содержат серы в количестве ниже нормы. В других случаях легкий газойль используют

лишь в качестве сырья для получения сажи или в качестве разбавителя при получении мазутов. Возможно и комбинированное использование легкого газойля, В этом случае его подвергают экстракции одним из растворителей, применяемых в производстве масел селективным методом [6].

– Тяжелый газойль. Тяжелый газойль является остаточным продуктом каталитического крекинга. Качество его зависит от технологических факторов и характеристик сырья, а также от качества легкого газойля. Тяжелый газойль может быть загрязнен каталитической пылью; содержание серы в нем обычно выше чем в сырье каталитического крекинга. Тяжелый газойль используют либо при приготовлении мазутов, либо в качестве сырья для термического крекинга и коксования. В последнее время его используют как сырье для производства сажи [6].

1.3 Катализаторы процесса

Реакции крекинга протекают на поверхности катализатора. Выбор катализатора зависит от комбинации самой большой возможной реактивности и лучшего сопротивления трению. Катализаторы, используемые в крекинге при нефтепереработке, являются обычно твердыми материалами (цеолит, гидросиликат алюминия, обрабатываемая бентонитная глина, земля Фуллера, боксит и алюминсиликат), которые присутствуют в форме порошков, шариков, гранул или формообразных материалов, называемых штамповками (экструдитами).

Развитие цеолит содержащих катализаторов в начале 60-х годов 20-го века произвело революцию в технологии каталитического крекинга. В сравнении с аморфными алюмосиликатными катализаторами, цеолит содержащие катализаторы более активны и более селективны в отношении ценных продуктов крекинга.

В настоящее время подавляющее большинство установок каталитического крекинга работает с использованием синтетических микросферических цеолитсодержащих катализаторов. Их основными составными частями являются носитель и цеолит.

Рассмотрим, из чего состоят современные катализаторы крекинга. FCC катализаторы представляют собой частицы микросферической формы со средним диаметром 75 мкм. Отличаются хорошей сферичностью и округлостью. Благодаря гладкой поверхности они обладают хорошей текучестью и легко псевдоожижаются на установках. Основными компонентами катализатора являются – цеолит, и матрица.

– Цеолит. Цеолит это ключевой и самый дорогой компонент FCC катализатора. Именно он влияет на активность и селективность катализатора. В современных катализаторах применяют цеолит типа «Y» Это алюмосиликат с упорядоченной структурой. Элементарный строительный блок цеолитного кристалла – элементарная ячейка. Размер элементарной ячейки это расстояние между повторяющимися ячейками в структуре цеолита (рисунок 6).

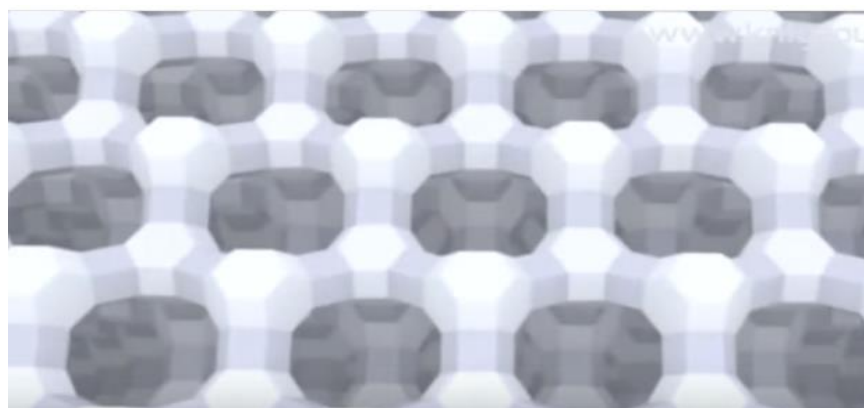


Рисунок 6 – Структура цеолита

Каждая элементарная ячейка содержит определенное количество атомов алюминия и кремния (рисунок 7)

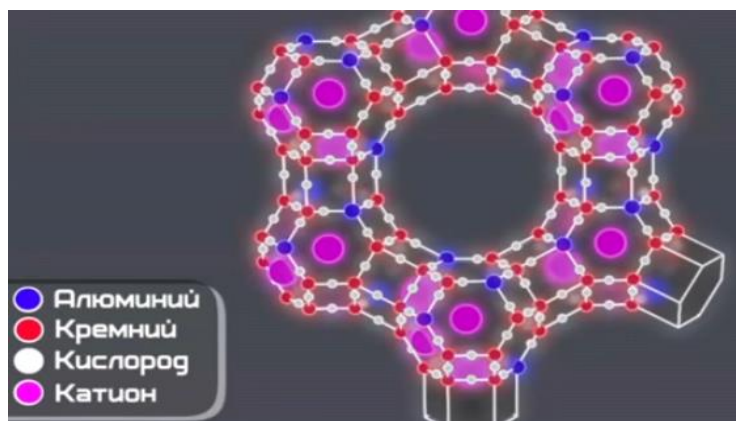


Рисунок 7 – Строение ячейки кристалла цеолита

Молярное отношение алюминия к кремнию называется модулем цеолита. Цеолит применяемый в качестве компонента FCC катализатора, должен иметь строго определенную форму и размер частиц. В слишком больших кристаллах затруднена диффузия углеводородных молекул, а слишком маленькие кристаллы термически неустойчивы.

Морфология и размер частиц закладывается на стадии синтеза цеолита. Изначально цеолит «Y» синтезируется в натриевой форме из гидрогеля определенного состава. Синтез осуществляется в специальных реакторах в строго контролируемых условиях. Процесс роста кристаллов контролируется в специализированной лаборатории с помощью рентгеновского дифрактометра, а распределение частиц по размерам, с помощью лазерного анализатора размера частиц. В результате получается цеолит содержащий около 13% оксида натрия и имеющий модуль 5,5. Но такой цеолит не может использоваться, так как натрий является каталитическим ядом и нейтрализует кислотные центры цеолита. Поэтому натрий «Y» подвергается химическому и термическому модифицированию. Подвергается серии катионных обменов термохимическим модифицированием. Катионные обмены на аммоний и редкоземельные элементы (лантан, гольмий, неодим, диспрозий и т.д.) осуществляются на барабанных и ленточных фильтрах. Целью таких обменов является не только удаления натрия, но и формирование определенного катионного состава цеолита. Эта характеристика важна, так как влияет на структуру отбора

продуктов крекинга. Дело в том что в процессе термической и гидротермической обработки, происходит извлечение алюминия из цеолитной структуры, что в свою очередь приводит к формированию мезопористой структуры цеолита. Изначально цеолит «Y» обладает микропористой структурой с диаметром входного окна равным восьми ангстремм (рисунок 8). Поэтому крекинг углеводородных молекул имеющих молекулярный диаметр более восьми ангстремм в порах цеолита практически невозможен.



Рисунок 8 – Ячейка цеолита

Специальные технологии обработки позволяет создать цеолит пронизанный вторичными порами диаметром 3-4 нм. Эти поры изнутри покрыты активной алюмосиликатной фазой, таким образом микросферический кристалл цеолита становится пористым. Более того внутри кристалла формируются своеобразные нанореакторы (рисунок 9) в которых крекинг начинается во вторичных порах и продолжают на внутренних участках цеолита.

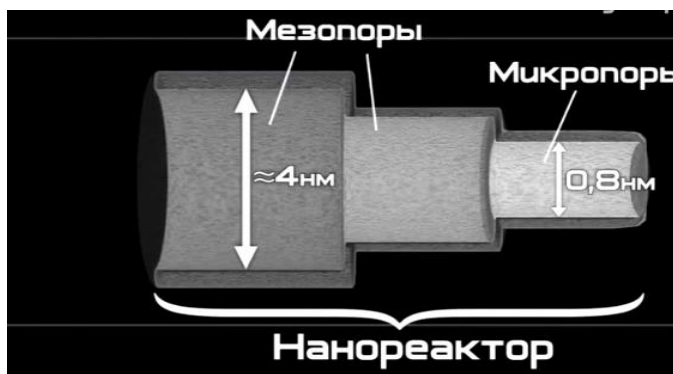


Рисунок 9 – Нанореактор цеолита

Контроль за образованием вторичных пор ведется с помощью сорбтометров. Методами адсорбции азота и воды. Мезо и макропористые методом адсорбции бензола, гептана и ртути. Далее готовый цеолит необходимо соединить с компонентами матрицы.

– Матрица. Матрица является диффузионной средой для молекул сырья и продуктов крекинга, поэтому она должна иметь пористую структуру, позволяющую диффузию углеводородов в катализатор и из вне катализатора. Слишком большое содержание мелких пор в матрице, приводит к быстрой блокировки их коксовыми отложениями. Слишком большое содержание крупных пор, снижает прочность катализатора. Активная матрица обеспечивает катализатор участками первичного крекинга, то-есть предварительно расщепляет молекулы тяжелого сырья для дальнейшего крекинга на внутренних участках цеолита. Результатом является синергетическое взаимодействие между матрицей и цеолитом, в котором активность достигаемая при их совместном действии может быть больше чем сумма их индивидуальных активностей.

Цеолит смешивается с матрицей с соотношении (рисунок 10) в специальных смесителях, после выдержки при определенной температуре и значениях рН.

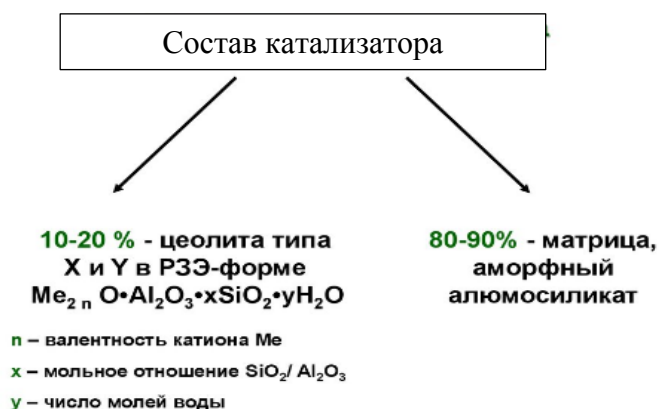


Рисунок 10 – Состав катализатора

Полученная смесь направляется к форсункам распылительной сушилки. Распыление происходит под давлением 140 атмосфер. Распылительная сушка, ответственный этап. Именно в процессе сушки закладываются такие важные характеристики как: объем, распределение пор по размерам, насыпная плотность, фракционный состав. Благодаря конструкции распылительной форсунки катализаторы приобретают идеальную сферичность. В распылительной сушке частицы катализатора моментально высушиваются в потоке горячего воздуха. В заключении полученная микросфера промывается на барабанных фильтрах и закаливается в печи. Каждая партия катализатора проходит испытания, в ходе которых оцениваются его основные характеристики, а именно: активность, стойкость к истиранию, объем пор, насыпная плотность, фракционный и химический состав, удельная поверхность.

1.4 Химизм и механизм реакций каталитического крекинга

Каталитический крекинг – расщепляет сложные углеводороды на более простые молекулы с целью увеличения качества и количества и уменьшения остатков, входящих в состав сырья, под воздействием высокой температуры и низком давлении в присутствии цеолитсодержащего алюмосиликатного катализатора. Этот процесс перегруппировывает молекулярную структуру, преобразуя компоненты тяжелых углеводородов в более легкие фракции, такие как керосин, бензин, сжиженный нефтяной газ, масло и исходное сырье для получения нефтепродуктов.

Катализом в химии называют ускорение химических реакций под воздействием веществ (катализаторов), которые участвуют в реакции, но не входят в состав продуктов реакции

Реакции крекинга. Механизм их до конца неясен, но на основании анализа образующихся продуктов качественно можно выделить следующие реакции. Основные реакции:

- крекинг парафинов (дает парафин и олефин);
- крекинг олефинов (дает олефин + олефин);
- деалкилирование ArU (отрыв или крекинг алкильных цепей);
- крекинг нафтенов (дает циклогексан + олефин без разрыва кольца).

Вторичные реакции (определяют состав конечных продуктов крекинга):

- перенос водорода (нафтен + олефин дают ароматику + алкан);
- изомеризация (алкан дает изоалкан);
- перенос алкильных групп (бензол + ксилол дают два толуола);
- конденсация бензольных колец;
- диспропорционирование олефинов низкой молекулярной массы [7].

Применительно к каталитическому крекингу необходимо рассматривать не только химизм целевого процесса, но и сопровождающие его физико-химические явления:

- поступление сырья к поверхности катализатора (внешняя диффузия);
- диффузия (внутренняя) молекул сырья в поры катализатора;
- хемосорбция молекул сырья на активных центрах катализатора;
- химические реакции на катализаторе;
- десорбция продуктов крекинга и непрореагировавшего сырья с поверхности и диффузия из пор катализатора;
- удаление продуктов крекинга и непрореагировавшего сырья из зоны реакции [7].

В зависимости от режима процесса, качества сырья и степени дисперсности катализатора, роль диффузных и адсорбционных процессов может быть больше или меньше. Наиболее распространенной теорией механизма каталитического крекинга является карбоний-ионный механизм (карбоний-ион — положительно заряженный углеводородный ион).

На поверхности катализатора имеются каталитические центры двух видов: протонные, где каталитическая функция принадлежит протонам (кислоты Бренстеда); апротонные, где координационно-ненасыщенный атом алюминия служит акцептором электронов [7].

При крекинге скорость распада парафиновых углеводородов растет с повышением их молекулярной массы. При температуре крекинга, равной 450-520°C, катализатор не действует на легкие углеводороды (пропан, бутан), а высококипящие углеводороды подвергаются глубоким превращениям. Скорость крекинга цетана больше скорости гептана в тринадцать раз. Как и при термическом крекинге, теплота каталитического крекинга расценивается как итоговый тепловой эффект совокупности реакций разложения и уплотнения. Необходимо отметить, что цеолитсодержащим катализаторам больше присущи реакции изомеризации (с выделением тепла), чем аморфным катализаторам. Тепловые эффекты указанных выше реакций различаются по величинам и знаку, большинство - эндотермичны. Так реакции перераспределения водорода, полимеризации, циклизации, конденсации, изомеризации и др. протекают с эндотермическим эффектом [7].

Основными факторами, влияющими на процесс каталитического крекинга являются - температура процесса, давление в реакторе, объемная скорость подачи сырья, кратность циркуляции катализатора. Результаты процесса каталитического крекинга определяются такими показателями, как общая глубина превращения сырья, выход целевых продуктов и их качество.

– Температура процесса каталитического крекинга. В зависимости от вида перерабатываемого сырья, температура в реакторе составляет от 470 до 535°C. Температура оказывает существенное влияние на процесс каталитического крекинга, при повышении температуры процесса до 470-480°C выход бензина возрастает и проходит через максимум, при увеличении температуры выше 490°C выход снижается, т.к. происходит разложение ранее образовавшихся углеводородов и повышается выход газообразных углеводородов и кокса на катализаторе. Следует отметить, что с увеличением температуры выше 490°C

повышается скорость распада углеводородов и скорость вторичных реакций дегидрирования нафтеновых соединений в ароматические, что приводит к увеличению концентрации ароматических и непредельных углеводородов в газе и бензине (содержание C1 и C3 в газе увеличивается, а C4 уменьшается). С повышением температуры увеличивается октановое число бензина. Крекингу более ароматического сырья и более тяжелого по фракционному составу соответствуют более высокие температуры. Для каждого сочетания сырья и катализатора существует оптимальный температурный режим крекинга, обеспечивающий энергетическое равновесие между десорбцией промежуточных продуктов уплотнения с поверхности и адсорбцией исходных молекул сырья, быстрое удаление продуктов разложения и минимальный выход кокса [7].

– Давление в реакторе. Давление в реакторе составляет от 0,13 до 0,28 МПа в зависимости от технологического режима и типа установки. С повышением давления снижается выход бензина, уменьшается выход газов C1-C3, а также суммарное содержание олефиновых и ароматических углеводородов в продуктах каталитического крекинга. В последнее время наметилась тенденция повышения давления до 0,21-0,28 МПа при увеличении температуры процесса до ~510-530°C [7].

– Объемная скорость подачи сырья. Время контакта сырья и катализатора определяется объемной скоростью – отношением расхода жидкого сырья (в м³/час), к объему катализатора занимающего реакционную зону. Для пылевидного катализатора, применяют величину массовой скорости подачи сырья [в кг/(кг·ч)], определяемую аналогично объемной. Чем выше объемная скорость, тем ниже степень превращения. Повышение объемной может быть скомпенсировано более высокой активностью катализатора, а также ростом температуры. При равных температуре и активности катализатора уменьшение объемной скорости приводит к увеличению степени превращения. Объемная скорость обычно составляет от 1,5 ч⁻¹ для шарикового и до 3,5 ч⁻¹ для микросферического катализатора. При применении

катализатора повышенной активности легче крекируемое сырье можно перерабатывать при более высоких значениях объемной скорости - до $3-5 \text{ ч}^{-1}$ и выше [8].

– Кратность циркуляции катализатора. В системах с крупногранулированным катализатором кратность циркуляции от 3 до 4 т/т сырья, а в системах с циркулирующим микросферическим катализатором на каждую тонну поступающего в реактор сырья, вводят 6-10 тонн регенерированного катализатора. На современных установках кратность катализатора увеличена до 10-15 т/т сырья, что позволило снизить степень закоксованности катализатора. Увеличение кратности циркуляции ведет к сокращению продолжительности пребывания катализатора в зоне реакции. Количество кокса на единице поверхности катализатора уменьшается. Средняя активность катализатора возрастает, что приводит к повышению выхода газа, бензина и кокса. В целом абсолютное количество целевых продуктов возрастает. Изменением кратности циркуляции катализатора можно регулировать количество теплоты, вносимой в реактор, степень превращения сырья, степень закоксованности катализатора на выходе из реактора. Время пребывания катализатора в реакционном пространстве зависит от типа установки: на установке с движущимся слоем катализатора составляет 10-30 мин, с псевдооживленным слоем - 5-6 мин, на цеолитсодержащих катализаторах - 30 секунд, а на установках с использованием лифт-реактора – 2-6 секунд. С экономической точки зрения повышение кратности циркуляции приводит к увеличению размеров регенератора и росту эксплуатационных расходов на перемещение катализатора. Количество кокса на входе в регенератор не должно превышать 0,8-1,0 % (масс.), остаточное содержание кокса после регенерации не более 0,25-0,3 % (масс.) в расчете на катализатор. Для поддержания рабочей активности приходится выводить из системы часть катализатора и заменять его свежим. Расход катализатора 2,0-2,3 кг на 1000 кг сырья [8].

Промышленные процессы каталитического крекинга осуществляются как на неподвижном, так и на непрерывно циркулирующем катализаторе. В последнем случае большое влияние на процесс оказывает соотношение количеств катализатора и сырья, подаваемых в реактор. Материальные балансы. Выход и качество продуктов каталитического крекинга можно регулировать, изменяя технологический режим, а также используя различное сырье и катализатор [8].

1.5 Основное и вспомогательное оборудование

Имеются три основных функции во всех процессах каталитического крекинга:

- Реакция – исходное сырье реагирует с катализатором и расщепляется в различные углеводороды.
- Регенерирование – катализатор восстанавливается путем выжигания кокса.
- Фракционирование – крекированный поток углеводородов разделяется на различные продукты.

Развитие технологий каталитического крекинга в направлении переработки более тяжелого сырья сопровождалось изменением конструктивного оформления процесса. Эволюция от установок со стационарным и движущимся слоем катализатора, до установок с кипящим слоем и лифт-реактором (рисунок 11). Двух ступегчатая регенерация (фирмы тотал) и процессом миллисекунд привела к сокращению времени контакта сырья и катализатора от 30 минут до одной секунды. Изменению объемной скорости подачи сырья от 1 до 60 ед.час, увеличению массового соотношения катализатора и сырья от единицы до десяти. Варианты контакта сырья и катализатора:

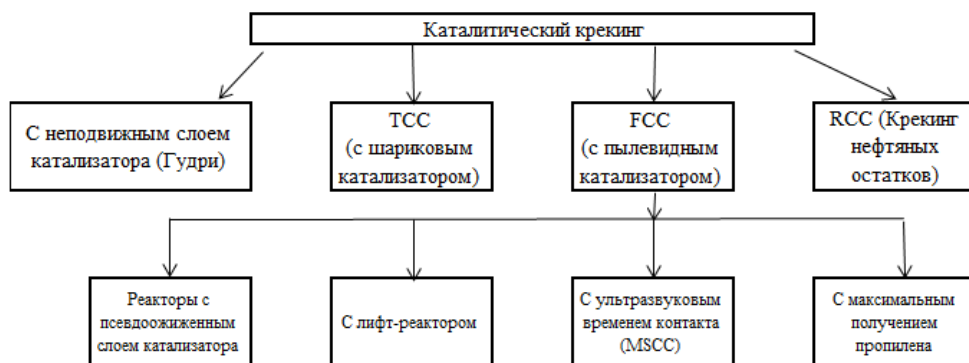


Рисунок 11 – Варианты каткрекинга

Три основных типа процессов каталитического крекинга: каталитический крекинг с флюидизированным катализатором (FCC), каталитический крекинг с перемещающимся катализатором, каталитический крекинг с термофором (ТСС).

1.5.1 Основное оборудование

Аппаратурное оформление каталитического крекинга состоит из трех частей: реактора, регенератора и ректификационной колонны.

– Реактор. Центральной частью установки каталитического крекинга является реактор (рисунок 12). Назначением реактора является создание оптимальных условий для проведения процесса химического превращения с целью получения заданного выхода и качества целевых продуктов.

Тип реактора, его конструктивное оформление в основном определяется характером осуществляемой в нем реакции, фазовым состоянием реагентов, наличием и видом катализатора, увеличенной и знаком теплоты реакции, температурой и давлением, при которых осуществляется реакция. Однако, одну и ту же реакцию можно проводить в реакторов различного типа, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки.

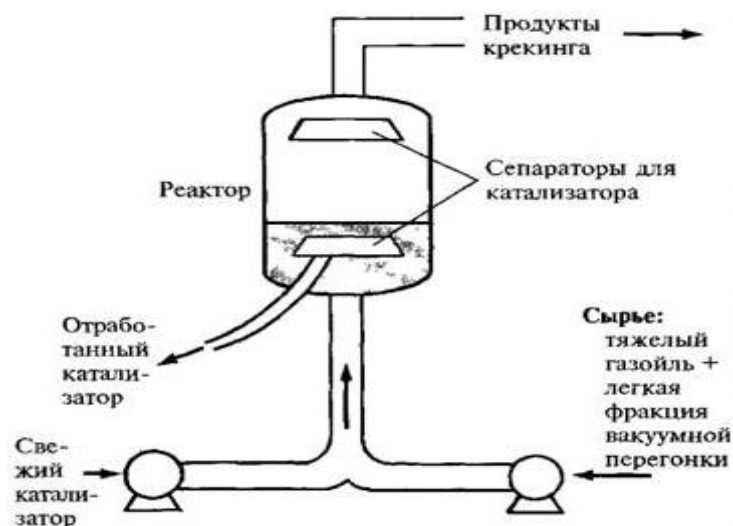


Рисунок 12 – реакторный блок каталитического крекинга

Принцип работы. Реактор каталитического крекинга тяжёлого вакуумного газойля представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, состоящий из трех частей: верхней, средней – десорбер, и нижней – ствола. Корпус аппарата выполнен из стали и футеровкой изнутри жаростойким бетоном, и установленной пенобетонной изоляцией. Регенерированный катализатор (содержание кокса на катализаторе не более 0,10% масс) с температурой 690-700 °С поступает в нижнюю часть прямоточного реактора, где подхватывается водяным паром и транспортируется вверх по реактору. Мгновенно испарившееся сырье движется вверх по стояку реактора с завершением стадии крекирования верхней части прямоточного реактора [10].

Для схем с однократным подъемом катализатора используются два варианта – реактор располагают над регенератором или регенератор над реактором (рисунок 13). При прочих равных условиях схемы с однократным подъемом катализатора отличаются большей высотой установки. Так, для установки каталитического крекинга с гранулированным катализатором высота реакторного блока при двукратном подъеме составляет 60–70 м, а при однократном 80–100 м.

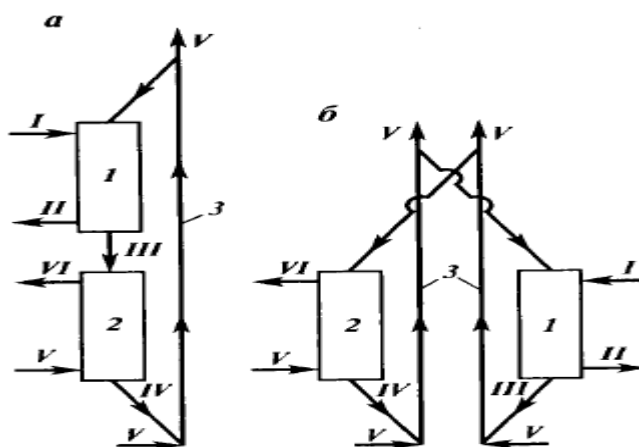


Рисунок 13 – Схемы реакторных блоков с одно (а) и двукратным (б) подъемом катализатора:
 1 – реактор; 2 – регенератор; 3 – пневмоподъемник. Поток: I – сырье; II – продукты реакции; III – закоксованный катализатор; IV – регенерированный катализатор; V – воздух; VI – газы регенерации

С целью обеспечения более быстрого разделения (в реакторе) катализатора и продуктов крекинга прекращения их дальнейшего контакта во избежании явления «перекрекинга» выход прямоточного реактора оборудован баллистическим сепаратором, где происходит быстрая и качественная разделение двух фаз; твердой (катализатор), ссыпаящийся в зону десорбции, и газообразной, поступающей в отстойную зону аппарата. Продукты крекинга, после очистки от катализаторной пыли в двухступенчатых циклонах, поступают, с температурой 515-535°C, на ректификацию и газоразделение.

Катализатор, уловленный циклонами, по наклонным стоякам ссыпается в зону десорбции, где осуществляется его отпарка от уловленных продуктов крекинга, как с поверхности катализатора, так и из его внутренних пор. Десорбция углеводородов осуществляется водяным паром подаваемым вниз зоны десорбции противотоком опускающемуся вниз по тарелкам катализатору.

Отпаренный от углеводородов катализатор по наклонной транспортной линии из нижней зоны десорбера с температурой 510-515°C, содержащий кокса до 5% масс. на перерабатываемое сырье, поступает в регенератор.

– Регенератор. Самый крупный аппарат на установке каталитического крекинга, его объем значительно превышает объем реактора. Размеры

регенератора зависят от его производительности по сжигаемому коксу (количество кокса, выжигаемого с поверхности закоксованного катализатора за единицу времени) и выбранного технологического режима процесса регенерации (температура, давление). Производительность регенератора характеризуется количеством выжженного кокса в единицу времени, и она определяется как произведение количества циркулирующего катализатора на разность содержаний кокса на нем до и после выжига. Регенератор представляет собой аппарат с радиальным потоком реакционных газов, разделенный гидравлически на три зоны. В верхней зоне при мольном содержании кислорода не менее 1% происходит выжиг кокса, в средней при содержании кислорода 10 – 20% и подаче хлорорганических соединений – окислительное хлорирование катализатора. В нижней зоне катализатор дополнительно прокаливается в потоке сухого воздуха. Катализатор под действием силы тяжести проходит все зоны. Катализатор смешивают с горячим воздухом, нагретым приблизительно до 600°C (1100°F). Этот процесс называется окислением кокса и напоминает сжигание древесного угля в брикетах, потому что в обоих случаях углерод соединяется с кислородом, и при этом образуется диоксид углерода и иногда моно. Оксид углерода (CO), а также выделяется большое количество тепла. Тепло в виде горячего потока CO и обычно используют в какой-либо части процесса, например, чтобы нагреть сырье в теплообменнике. Восстановленный катализатор выходит из нижней части регенератора. Его можно снова смешать с сырьем и направить в реактор [11]. Из регенератора через систему затворов катализатор поступает в питатель пневмотранспорта и водородсодержащим газом подается в бункер, расположенный над реактором первой ступени. После выжига кокса в регенераторе кислородом воздуха регенерированный катализатор вновь поступает в реактор. Таким образом, катализатор находится в непрерывном движении, проходя по циклу крекинг – регенерация [9].

– Ректификационная колонна крекинга. Углеводородная смесь, полученная в результате крекинга, подается (перекачивается) в

ректификационную колонну, предназначенную для разделения продуктов каталитического крекинга. В колонне смесь обычно разделяется на следующие фракции: углеводородные газы и более легкие, то есть крекинг-бензин, легкий крекинг-газойль, тяжелый крекинг-газойль и кубовый остаток,[9] который называется газойль. Последний продукт может использоваться разными способами, но чаще всего его смешивают со свежей порцией сырья, с которой он снова поступает в процесс. Если число циклов достаточно велико, рециркулирующий газойль может полностью исчезнуть. Такой вариант носит зловещее название рециркуляция до уничтожения.

Тяжелый крекинг-газойль можно использовать как сырье для термического крекинга или как компонент остаточного топлива (мазута). Легкий газойль является хорошим компонентом дизельного и дистиллятного топлива, а крекинг-бензин служит эффективным компонентом автомобильного бензина. Граница между бензиновой фракцией и фракцией легкого газойля не является строго фиксированной. Перемещение этой границы позволяет регулировать соотношение между бензином и дистиллятом в зависимости от времени года. Когда наступает зимний отопительный сезон, многие нефтеперерабатывающие заводы переходят на режим максимального количества дистиллята. Для этого изменяют точку выкипания для крекинг-бензина, так чтобы большее количество продукта попало во фракцию легкого газойля. Летом, чтобы перейти на режим максимального количества бензина, границу между фракциями сдвигают в противоположном направлении.

Верхние погоны, выходящие из ректификационной колонны крекинга, отличаются по составу от легких фракций, получающихся при ректификации сырой нефти. В процессе крекинга образуются олефины, поэтому поток углеводородных газов содержит не только метан, этан, пропан и бутаны, но также водород, этилен, пропилен и бутилены. Из-за этих дополнительных компонентов крекинг-газ направляют для разделения на установку фракционирования крекинг-газа. В этом состоит отличие от газа, полученного, например, при ректификации сырой нефти (а также, как мы увидим позже, при

гидроочистке, гидрокрекинге, риформинге и т. д.), который содержит только насыщенные соединения. В последнем случае газ направляют на установку фракционирования насыщенного газа. Изобутан, пропилен и бутилены, полученные с установки каталитического крекинга, оказываются полезными для процесса алкилирования, в котором эти олефины превращаются в компоненты компаундированного бензина.

Все узлы установки каталитического крекинга, соединенные в общую систему [9] (рисунок 14, 15) . Обратите внимание, что в системе имеется два циркулирующих потока. В левой части рисунка катализатор выходит из зоны реакции, проходит регенерацию и снова возвращается в зону реакции. В правой части углеводороды входят в систему и уходят из нее, но за счет фракции рециркулирующего газойля некоторые компоненты постоянно циркулируют в системе.

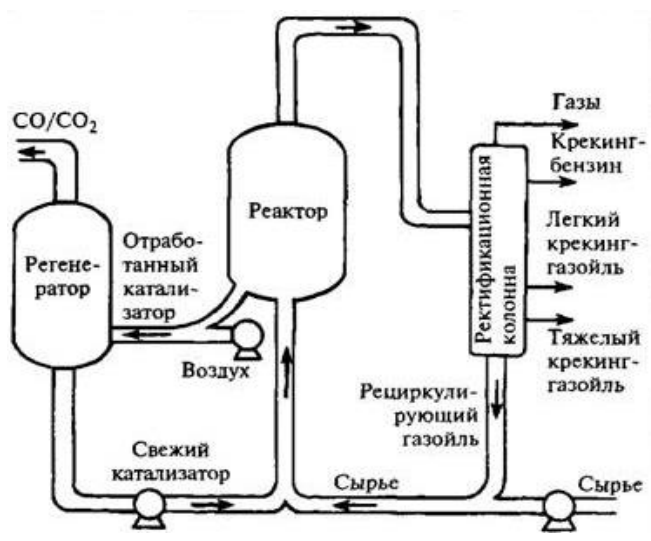


Рисунок 14 – Схематичная установка каталитического крекинга

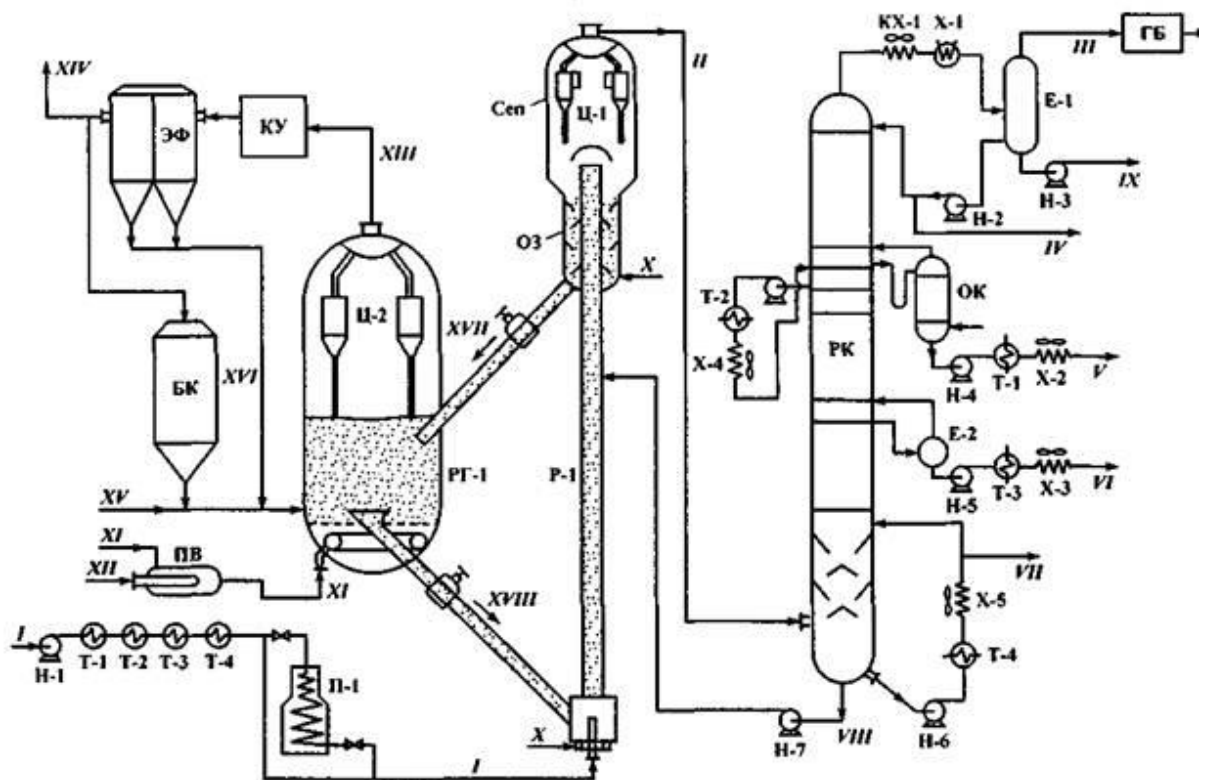


Рисунок 15 – Принципиальная схема установки каталитического крекинга: P-1 - реактор сквозноточный; РГ-1 - регенератор с кипящим слоем; Сеп - сепарационная зона реактора; Ц-1, -2 - циклонные группы; КУ - котел-утилизатор; ЭФ - электрофильтр; БК - бункер для катализатора; ПВ - подогреватель воздуха; П-1 - трубчатая печь; РК -ректификационная колонна; ОК - отпарная колонна; ГБ - газовый блок; ОЗ - отпарная зона. Потoki: I- сырье; II - продукты реакции; III - углеводородный газ; IV - бензин; V - керосиновая фракция; VI - сырье для технического углерода (фракция 350-420 °С); VII - остаточная фракция выше 420 °С; VIII - шлам; IX - водный конденсат; X - перегретый водяной пар; XI -воздушное дутье; XII- топливо на нагрев воздуха; XIII- дымовые газы; XIV- очищенные и охлажденные дымовые газы; XV- свежий катализатор на догрузку системы; XVI- уловленная катализаторная пыль; XVII- закоксованный катализатор; XVIII - регенерированный катализатор

1.5.2 Вспомогательное оборудование

Современные тенденции развития технологии каталитического крекинга диктуют условия применения более совершенного оборудования, использование которого направлено на сокращение времени контактирования

сырья с катализатором в реакторе, на эффективность пылеулавливания и ввода сырья и на изменение технологии отпарки отработанного катализатора. Это обуславливает необходимость разработки новых сепарационных устройств, циклонов, форсунок и введение новых технологий, обеспечивающих возможность вовлечения в сырье нефтяных остатков [10].

– Сепарационные устройства. Применение новых сепарационных устройств, обеспечивающих минимальное время разделения твердой и газовой фаз (0,2 - 0,3 с), позволяет уменьшить количество вторичных реакций в камере реактора и снизить выход кокса и сухого газа, увеличить выход дистиллятов.

– Циклоны. Повышение эффективности пылеулавливания на установках каталитического крекинга можно добиться заменой циклонов регенератора устаревшей конфигурации (с неоптимальным соотношением основных геометрических размеров) на новые циклоны с более высоким отношением длины к диаметру цилиндрической части корпуса. Это позволит уменьшить, потери катализатора из системы до 20%.

– Форсунки. От эффективности ввода сырья существенно зависят технико-экономические показатели работы установок каталитического крекинга. По результатам исследований, проводимых за рубежом и в нашей стране, а также на основе опыта эксплуатации установок каталитического крекинга, разработаны рекомендации эффективного ввода сырья: однородное распыление и равномерное распределение сырья и катализатора по сечению прямоточного реактора; минимальное обратное перемешивание катализатора; быстрая теплопередача от частиц катализатора к образовавшимся каплям сырья; невысокий перепад давления в потоке сырья; рациональное использование энергии водяного пара; отсутствие эрозионного износа оборудования. Реализация этих требований зависит от правильного выбора конструкции распылительных форсунок (рисунок 16) и конфигурации нижней части прямоточного реактора [10].

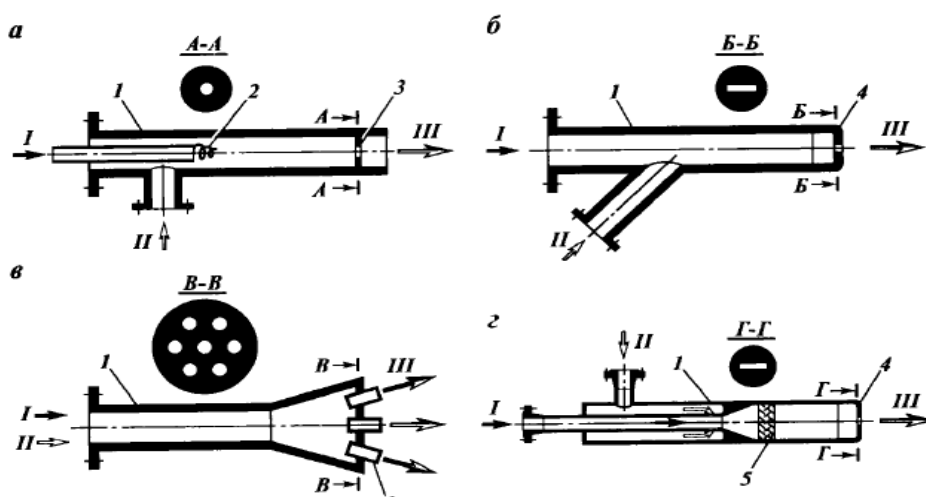


Рисунок 16 – Конструкции распиливающих сопел для установок каталитического крекинга:
а – сопло с круглым отверстием; *б* – сопло со щелевым отверстием фирмы «Келлог»; *в* – сопло с многочисленными форсунками; *з* – сопло «Атомах» фирм «Келлог» и «Мобил»; *1* – корпус; *2* – спираль; *3* – диафрагма с круглым отверстием; *4* – наконечник со щелевым отверстием; *5* – статический смеситель; *6* – форсунки. Поток: *I* – сырье; *II* – водяной пар; *III* – паросырьевая смесь

Положительные примеры модернизации устройств для ввода сырья существуют на предприятиях «Ангарская нефтехимическая компания» (АО «АНХК»), «Ярославнефтеоргсинтез», АО «Рязанский НПЗ» и АО «Уфанефтехим». На этих установках каталитического крекинга первоначально использовались форсунки, разработанные Французским институтом нефти, которые были дооборудованы модернизированным диснергатором, позволяющим максимально использовать энергию водяного пара и повысить эффективность ударного дробления потока сырья. Форсунки с модифицированными соплами Вентури и камерами предварительного диспергирования сырья, позволяют повысить скорость испарения сырья, эффективность его контактирования с катализатором, тем самым увеличить выход бензиновой фракции. В качестве диспергирующего агента использовался водяной пар. Многосопловые форсунки размещаются соосновно транспортной линии реактора и обеспечивают равномерное распределение струй по сечению реактора. Если процесс каталитического крекинга осуществляется в вертикальном прямоточном реакторе, то целесообразно размещать форсунки на

несколько метров выше его основания с ориентацией в радиальном направлении. Такое конструктивное оформление обеспечивает строго равномерное распределение и минимальное обратное перемешивание катализатора в зоне его смешивания с сырьем. В результате применения новой форсунки на примере установки 1 А/1М АО «АНХК» произошло изменение выхода бензиновой фракции и легкого газойля — они повысились соответственно на 2,1% и 1,4% (масс), выход сухого газа снизился на 10% [10].

– Отпарная секция. Для повышения эффективности отпарки отработанного катализатора в реакторном блоке целесообразно использование каскадных устройств в отпарной секции (рисунок 17) [10]. Отпарная секция, в которой катализатор обрабатывается водяным паром с целью десорбции с его поверхности углеводородов (в реакторе) или продуктов сгорания (в регенераторе). Водяной пар, введенный в отпарную секцию, вытесняет углеводородные пары или газы из свободного объема между частицами катализатора, предотвращая тем самым их взаимное проникновение. Отпарные секции конструктивно выполняются по-разному. При отпарке отработанного катализатора углеводороды сравнительно легко удаляются из промежутков между отдельными частицами катализатора и сравнительно трудно из пор, поэтому режим работы такой отпарной секции предопределяется не только гидродинамикой потоков катализатора и отпаривающего агента, но и скоростью диффундирующих в порах катализатора встречных потоков водяного пара и углеводородов. Отпарное устройство должно обеспечить достаточно полную десорбцию углеводородов из отработанного катализатора, так как недесорбированные углеводороды выжигаются в регенераторе вместе с коксом, повышая тепловую нагрузку аппарата, расход воздуха и энергозатраты, а также увеличивая потери. Эффективность работы отпарных устройств зависит от их конструкции, длительности пребывания катализатора в зоне отпарки, а также расхода отпаривающего агента.

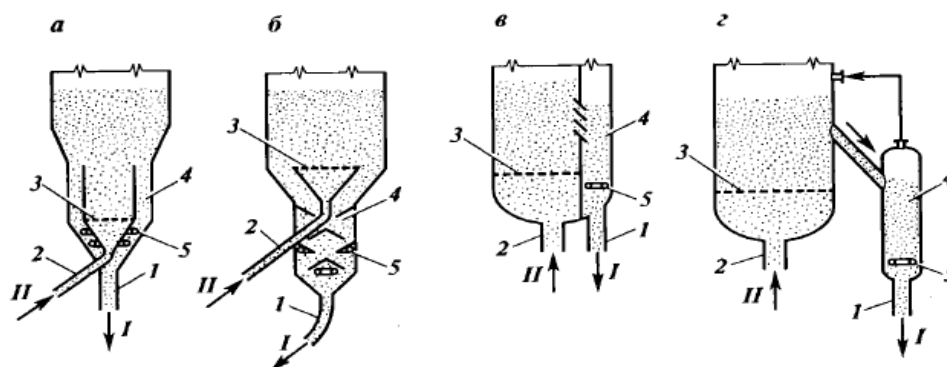


Рисунок 17 – Схемы отпарных секций реакторов и регенераторов установок каталитического крекинга: а – кольцевая; б – цилиндрическая с перегородками «диск – кольцо»; в – сегментная; г – цилиндрическая выносная; 1 – стояк отработанного катализатора; 2 – ствол пневмоподъемника; 3 – распределительная решетка; 4 – отпарная секция; 5 – маточник для водяного пара. Поток: 1 – отработанный катализатор; II – регенерированный катализатор

Ранее на установках применялась технология отпарки, разработанная Французским институтом нефти. Отсутствие каскадных устройств приводило к существенному снижению эффективности отпарки, повышенным удельным расходам водяного пара (4,2 — 4,4 кг на 1т) и циркулирующего катализатора. Для сравнения: на однотипной установке Лисичанского НПЗ, реактор которой дооборудован каскадными устройствами в отпарной секции, удельный расход водяного пара не превышает 2,8 - 3 кг на 1 т циркулирующего катализатора.

2 Объекты и методы исследования

2.1 Объекты исследования

Каталитический крекинг при переработке тяжелого нефтяного сырья позволяет получать дополнительно до 15-20 % в расчёте на нефть высокооктанового бензина. Все имеющиеся установки каталитического крекинга отличаются друг от друга в основном конструкцией реактора и регенератора и их взаимным расположением. Большинство – это установки с псевдоожиженным слоем катализатора (FCC процесс) и лифт-реактором.

Целью работы является, рассмотреть принцип работы систем крекинга с лифт-реактором и флюид крекинг.

Эти системы каталитического крекинга различаются по способу транспорта катализатора, взаимному расположению реактора и регенератора, методам осуществления секционирования, а также конструктивному оформлению внутренних узлов аппарата – выравнивающих устройств (предназначены для обеспечения равномерного по сечению аппарата движения катализатора), газораспределительных и газосборных устройств, распределителей катализатора, отпарных секций и др.

– Установка флюид крекинг.

При эксплуатации установок флюид каталитического крекинга (fluid catalytic cracking – FCC) особое внимание обращают на увеличение их выработки и на улучшение качества продукции. Схематичный рисунок установки предствален на рисунке 18. Крекинг с флюидизированным катализатором – это процесс преобразования углеводородного сырья тяжелых фракций в более ценные продукты. В качестве сырья могут использоваться разные вещества: газойль, вакуумный газойль, тяжелый осадок нефтеперегонки. Типичными продуктами этого процесса являются бензин, легкие топливные масла и

олефиновые газы. Процесс каталитического крекинга с флюидизированным катализатором смешивает предварительно нагретый углеводород с горячим, восстановленным катализатором, когда он поступает в разделительную колонну, ведущую к реактору

Углеводородные пары, уходящие из верхней части главной ректификационной колонны установки FCC, представляют собой смесь компонентов фракций сжиженного нефтяного газа, бензина и сбросного (топливного) газа. Этот поток охлаждают до 40–45 °С в конденсаторе, откуда смесь газа и жидкости направляют в уравнительную емкость. Одну часть жидкости из уравнительной емкости возвращают в ректификационную колонну в качестве верхнего орошения, другую часть подают в качестве абсорбента в первичный абсорбер газофракционирующей установки (gas concentration unit – GCU). Несконденсировавшиеся пары из уравнительной емкости сжимают в двухступенчатом центробежном компрессоре до 1,4–1,5 МПа и через конденсатор направляют в приемник высокого давления. Углеводородная жидкая фаза из этого приемника, отделившаяся от воды, поступает в отпарную колонну, где из нее отпариваются легкие углеводороды и такие примеси как сероводород. Газы из приемника высокого давления проходят последовательно через два абсорбера – первичный и «отжимной» (sponge absorber); в первом абсорбентом служат жидкость из уравнительной емкости и циркулирующий дебутанизованный бензин, во втором – легкий циркулирующий газойль (light cycle ректификационной oil – LCO) из главной ректификационной колонны. Газы из отпарной колонны также возвращаются в приемник высокого давления через конденсатор. Тепло в отпарную колонну подводится в термосифонном кипятильнике. Кубовый продукт отводится в дебутанизатор, после щелочной очистки направляется в емкости бензина. Газообразные углеводороды, отогнанные там же, после конденсации собираются в сборнике флегмы, из которого балансовая часть, верхнего продукта, выводится в виде сжиженного нефтяного газа.

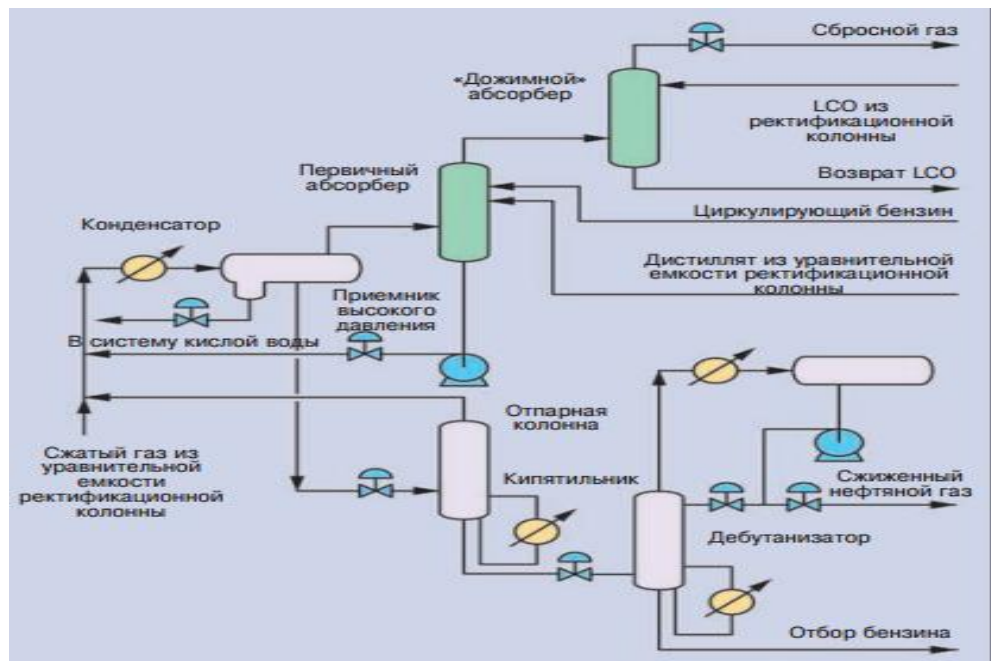


Рисунок 18 – Схематичный рисунок установки флюид каталитического крекинга (fluid catalytic cracking – FCC)

Влияние параметров на работу GCU:

– Температуру верха главной ректификационной колонны FCC поддерживают подачей орошения, стремясь найти оптимум между температурой конца кипения бензина и содержанием в нем серы (снижение этой температуры позволяет в некоторой степени снизить содержание серы).

– Режим в отпарной колонне, в частности температура куба, определяет полноту отгонки сероводорода из сжиженного нефтяного газа и давление его паров по Рейду. Слишком высокая температура в кубе отпарной колонны приведет к потере части ценных углеводородов с топливным газом.

– Увеличение потока циркулирующего бензина в первичный абсорбер позволяет полнее извлекать компоненты сжиженного нефтяного газа из топливного газа, но слишком сильное увеличение этого потока может привести к уносу части бензина в топливный газ, к возвращению нефтяного сероводорода в отпарную колонну и в сжиженный газ.

– Подача LCO в «отжимной» абсорбер улучшает полноту извлечения

компонентов сжиженного нефтяного газа и бензина из топливного газа, но слишком большая подача легкого циркулирующего газом в главную приведет к возврату сероводорода и легких углеводородов, в главную ректификационную колонну, увеличению нагрузки на GCU и на компрессор газа перед газодиффузионной установкой.

– Увеличение давления на GCU уменьшает потери компонентов сжиженного нефтяного газа с топливным газом, но при слишком большом давлении увеличится содержание в газе, что легких приведет газов к и ухудшению сероводорода в сжиженном нефтяном газе, что приведет к ухудшению таких показателей качества, как давление паров по Рейду и коррозия медной пластинки [13].

В странах Западной Европы, Японии и особенно США накоплен большой опыт промышленной переработки и остаточного сырья на установках ККФ. Отсутствуют побочные продукты, так как кокс сжигается в регенераторе, а тепло, которое при этом выделяется используется для поддержания реакций крекинга.

В процессе каталитического крекинга флюид (ККФ) перерабатывается тяжёлое и относительно недорогое сырьё, при этом выход пропилена в нем выше, чем выход этилена. Установку ККФ технологически достаточно легко можно перевести из режима выработки моторных топлив в режим с увеличенной выработкой более легких продуктов. Первый процесс ККФ в жестких условиях (так называемый «глубокий каталитический крекинг» - DCC) был разработан компанией Sinoproc RIPP и внедрен в начале 90-х годов.

В последнее время продажа эксклюзивных лицензий по использованию процессов типа DCC различных модификаций осуществлялась компаниями Shaw Stone & Webster, Exxon Mobil (FM), Orthoflow, Kellogg Brown & Root's (KBR). Технологии предназначены, прежде всего, для преимущественного производства пропилена и бутиленов. Российскими нефтяными компаниями также учитывалась перспектива роста потребности в

сырье для производства полипропилена и другой нефтехимической продукции (высокооктановых компонентов бензина). Вступление в силу технического регламента, устанавливающего более жесткие нормативы качества автомобильных бензинов уже с 2012 года, влекло за собой необходимость увеличения выработки бутиленов для последующего выпуска алкилата, эфиров в качестве компонентов автомобильных бензинов. Для удовлетворения вышеуказанных потребностей на ряде Российских НПЗ в перспективе планируется сооружение новых установок каталитического крекинга, ориентированных на максимальное производство пропилена и бутиленов.

Имеется большое количество разнообразных модификаций промышленных установок каталитического крекинга. Так, установка ККФ, в основу которой положен процесс НОС фирмы «Келлог», предназначена специально для переработки остатков – мазута и гудрона. От установки ККФ дистиллятного сырья она отличается лишь наличием паровых змеевиков в регенераторе и выносных теплообменников. Степень превращения сырья достигает 60-73 %.

Каталитический крекинг мазута RCC характеризуется диспергированием сырья с помощью рециркулирующих легких УВ-х газов, которые вводятся ниже входа сырья. Распыл мазута, предварительно нагретого в теплообменниках осуществляется с помощью ультразвуковых форсунок. В результате уменьшения размеров капель сырья интенсифицируется испарение.

Широкое внедрение в каталитические процессы высокоэффективных цеолитсодержащих микросферических катализаторов позволило при разработке реакторных блоков установок каталитического крекинга перейти от реакторов с псевдоожиженным слоем катализатора к созданию прямоточных лифт-реакторов с восходящим потоком катализаторной взвеси.

– Установка с лифт-реактором.

На рисунке 19 представлена схема установки каталитического крекинга с лифт-реактором.

Сырье подается в лифт-реактор на катализатор, поступающий сюда же из регенератора с температурой до 630 °С. Лифт-реактор представляет собой

вертикальную трубу, в которой транспорт катализатора потоком паров сырья сочетается с протеканием химических реакций. Время пребывания катализатора и сырья в таком реакторе составляет 5-7 секунд. На поверхности катализатора за короткое время происходит крекинг тяжелых углеводородов, за счет расширения вскипающих углеводородов катализатор движется вверх по реактору. Далее пары углеводородов поступают в ректификационную колонну, а катализатор под действием силы тяжести поступает в регенератор. Сюда подается воздух, кокс с поверхности катализатора выгорает и его активность восстанавливается. Катализатор за счет сгорания кокса вновь нагревается до 630°C и поступает под действием силы тяжести в лифт-реактор.

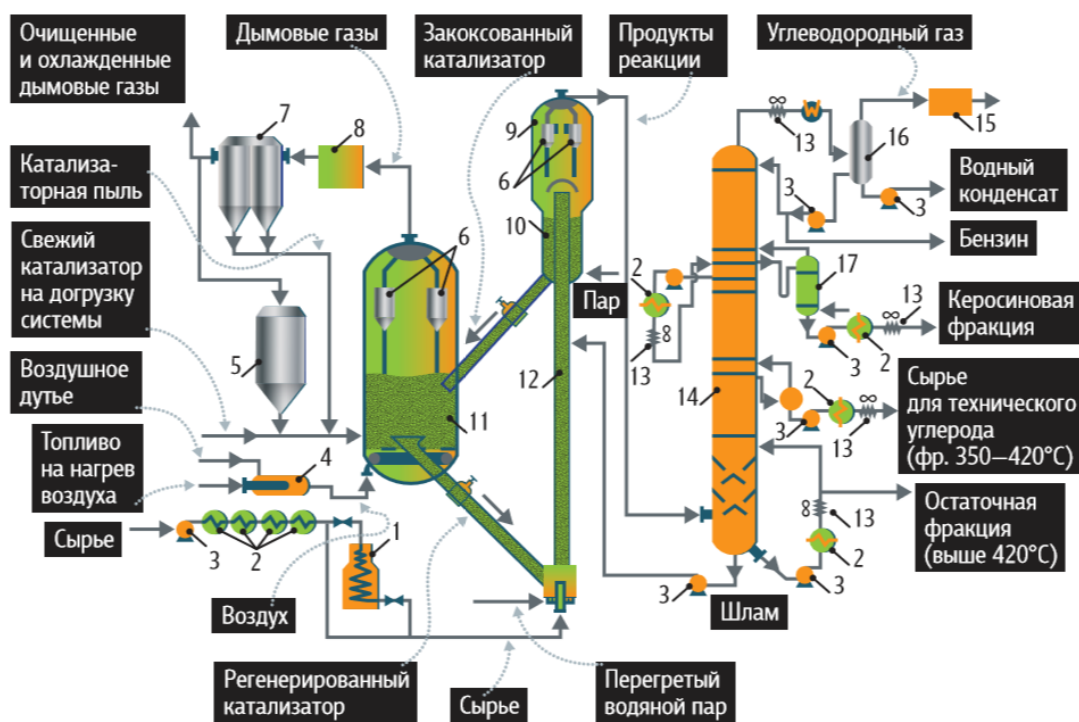


Рисунок 19 – Каталитический крекинг с лифт-реактором 1 – трубчатая печь; 2 – теплообменник; 3 – насос; 4 – подогреватель воздуха; 5 – бункер для катализатора; 6 – циклоны; 7 – электрофильтр; 8 – котел-утилизатор; 9 – сепарационная зона реактора; 10 – отпарная колонна; 11 – регенератор с кипящим слоем; 12 – проточный реактор; 13 – холодильник (АВо); 14 – ректификационная колонна; 15 – газовый блок; 16 – емкость; 17 – отпарная колонна

Общее количество катализатора, загруженного в установку, достигает 400 тонн. В таблице 5 представлены технологический режим и показатели

процесса. Принципиальное отличие установок каталитического крекинга от других заключается в том, что катализатор никогда не меняют, а лишь понемногу добавляют в систему свежий катализатор. Расход катализатора связан с тем, что в процессе постоянного движения с большой скоростью частицы катализатора соударяются между собой и о стенки аппаратов. В результате образуется катализаторная пыль, которая частично уносится с дымовыми газами из регенератора, а частично – с продуктами и оседает затем в составе шламов в товарных резервуарах. Регенерация катализатора и организация его непрерывного движения внутри установки – наиболее сложные вопросы процесса каталитического крекинга. Установка каталитического крекинга не только дает большое количество бензиновой фракции с высоким октановым числом и дизельной фракции с низким содержанием серы, но и значительное количество пропан-пропиленовой фракции и бутан-бутиленовой фракции, которые служат сырьем для производства различных полимеров и высокооктановых компонентов бензина – алкилатов, олигомеризатов и эфиров. Общее углубление переработки нефти на установках каталитического крекинга составляет не менее 20%. Общая мощность установок каталитического крекинга в мире превышает 500 млн тонн по сырью. За этими установками, безусловно, будущее нефтепереработки. Будут улучшаться катализаторы (в Омске для этой цели компания «Газпром нефть» начала строительство новой катализаторной фабрики), повышаться выходы и качество полезных продуктов. А если в дальнейшем установки каталитического крекинга будут в состоянии перерабатывать не только вакуумные газойли, но и прямогонные мазуты, углубление переработки нефти на этих установках может составить до 40% [12].

Наиболее распространенной в мире является технология фирмы UOP. Компания UOP предлагает технологию управляемого каталитического крекинга в псевдооживленном слое, которая соответствует перспективным направлениям нефтепереработки, это достигается за счет принципиально новой конструкции ряда аппаратов, разработанных на основе комплексного

подхода, обеспечивающего жесткую зависимость между конструкцией установки, составом катализатора и технологическими параметрами процесса. Технология, получившая название управляемого (контролируемого) каталитического крекинга, была разработана с целью получения оптимальной структуры вывода целевых продуктов за счет оптимизации конструкции реактора и регенератора, а также состава катализатора.

Новая технология позволяет получить различные целевые продукты и, прежде всего, компоненты автомобильных бензинов.

Особенности выбранной схемы процесса являются:

– Высокая технологическая гибкость, позволяющая производить и немедленно реагировать на изменение рыночных требований к номенклатуре и качеству нефтепродуктов.

- Переработка гидрооблагороженного сырья на конверсионном катализаторе типа ДА-250 с высоким выходом бензина (50-51%) и средним значением ОН (90-92 п. по ИМ).

- Переработка гидрооблагороженного сырья на конверсионном катализаторе типа ДА-250 с добавлением октаноповышающей добавки для получения максимального значения октановой характеристики бензина (92-93 п. по ИМ) при среднем выходе бензиновой фракции (48-49%).

- Введением в процесс низкооктановых бензинов (5% масс) вторичных процессов для получения максимального количества бензиновой фракции (50-51%) октановым числом не менее 92 пунктов.

– Применение современной реакционной смеси позволяющей обеспечить оптимальное условие крекирования сырья при использовании высокоактивных катализаторов крекинга. Прогрессивными техническими решениями данной системы являются:

- Крекинг сырья в лифт-реакторе переменного сечения высотой реакционной зоны 33 м, с временем пребывания катализатора в реакционной зоне 3,08 с.

- Ввод сырья в установившийся поток (выше точки ввода регенерирования катализатора) через форсунку тонкого распыла (размер капель не более 8 мкм) что обеспечивает быстрое и полное испарение сырья.
- Быстрое разделение сырья и катализатора непосредственно на выходе из лифт-реактора.
- Организация системы регулирования температуры крекинга за счет ввода рецикла в среднюю часть реактора.
- Малое количество катализатора и малое время его пребывания в реакторе резко снижает среднее содержание и тем самым повышает его селективность, при этом обеспечивается максимальный вывод целевых продуктов требуемого качества, стабильность циркуляции катализатора и работа реакторного блока в режиме замкнутого теплового баланса.
- Реализация в проекте принципиально новой конструкции нижней части лифт-реактора, обеспечивающей регулярность подвода регенерированного катализатора к точке контакта с каплями сырья и практически исключая явление «обратного переливания катализатора».
- Суть работы лифт-реактора переменного сечения в том, что регенерированный катализатор из нижней части лифт-реактора подхватывается водяным паром и бензином, ускоряется в разгонном участке лифта, где осуществляется впрыск сырья.

Следует отметить, что при переработке остаточных видов сырья «разгонный участок» может быть использован для газовой пассивации каталитических ядов (никеля, ванадия). Для этого вместо разгонного водяного пара в нижнюю точку лифт-реактора подают газообразный восстановитель.

Утилизация энергии дымовых газов регенерации катализатора крекинга производится на газоутилизационной турбине. Ее применение значительно улучшает баланс потребления энергии за счет выработки электроэнергии и выдачи общезаводского хозяйства 9 МВт.

В настоящее время применяются несколько конструкций концевых устройств для лифт-реактора (рисунок 20). В порядке увеличения

эффективности к ним относятся инерционный сепаратор, циклоны с восходящим потоком и разработанные фирмой «Мобил» циклоны с замкнутым потоком.

Для оптимального отделения катализатора от нефтепродуктов в лифт-реакторе необходимо во избежание повторного крекинга бензина предотвратить каталитический крекинг в разбавленной фазе после лифт-реактора и, сокращая время пребывания паров на участке между выходом из лифт-реактора и зоной резкого охлаждения, в главной ректификационной колонне свести к минимуму термический крекинг. Кроме того, система отделения катализатора от нефтепродуктов должна обладать операционной гибкостью и не требовать повышенного внимания со стороны оператора, сводить к минимуму коксование в трубопроводах и уменьшать потери катализатора в ректификационной колонне. Наиболее полно всем этим требованиям отвечает концевое устройство лифт-реактора в виде циклонов с замкнутым потоком [10].

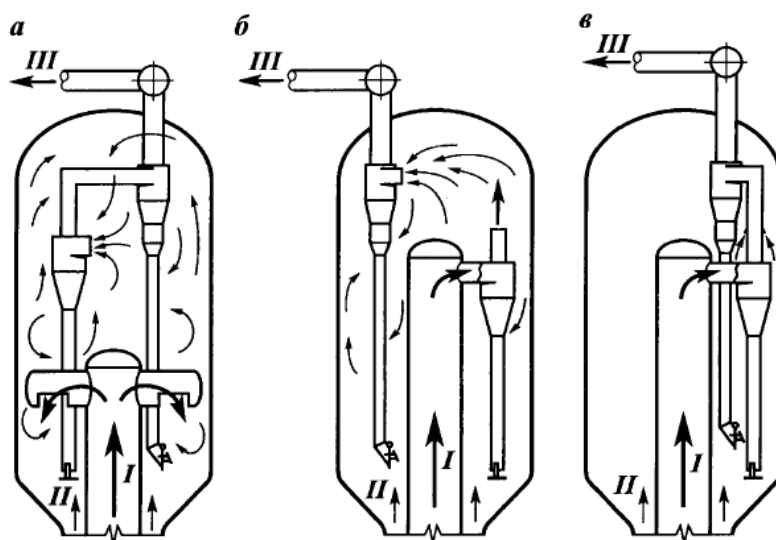


Рисунок 20 – Конструкции концевых устройств для лифт-реактора:

a – инерционный сепаратор; *б* – циклоны с восходящим потоком; *в* – циклоны с замкнутым потоком. Потоки: *I* – смесь катализатора и паров нефтепродуктов из лифт – реактора; *II* – парогазовый поток из десорбера; *III* – продукты крекинга [10]

3 Расчеты и аналитика

Произведем аналитический обзор установок и выход продукта. На основе рассмотренных вариантов, сопоставим данные и проанализируем выход продукта в с разных технологических исполнений. Данные представим в виде таблиц 1 и 2.

Таблица 1 – Характеристика технологического режима и выход продукта установки крекинга с кипящим слоем (FCC)

№	Показатель	Значение
1	Температура крекинга, °С	475-485
2	Массовая скорость подачи сырья, ч ¹	10-12
3	Кратность циркуляции	5,0-5,5
4	Давление в реакторе, МПа	0,06
5	Температура в регенераторе, °С	610-620
6	Давление в регенераторе МПа	0,01
7	Выход продуктов, %(мас.):	
7.1	сумма C ₂	3,0
7.2	фракция C ₃ -C ₄	5,6
7.3	бензин с к.к-205°С	38,0
7.4	легкий газойль	30,0
7.5	тяжелый газойль	20,2
7.6	кокс	3,2

Таблица 2 – Характеристика технологического режима и выход продукта установки крекинга с лифт-реактором

№	Показатель	Значение
1	Температура крекинга, °С	515-520
2	Объемная скорость подачи сырья, 1/час	80-100
3	Кратность циркуляции	5,0-7,0
4	Давление в системе, МПа	0,15
5	Температура в регенераторе, °С	650-670
6	Выход С2,%масс	3,4
7	Выход С3-С4,% масс	12,6
8	бензин (С5-205°С)% масс	50,0
9	Дизельная фракция, % масс	12,9
10	тяжелый газойль,% масс	17,5

На основе данных, можно сделать вывод, что оптимальнее являются лифт-реакторы, выход бензина на них составляет 50%, тогда как у реакторов с кипящим слоем выход бензина 38% .

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данном разделе будет рассмотрен выбор варианта каталитического крекинга для производства высоко октанового бензина, с целью найти более экономичный и более эффективный метод глубокой переработки нефти.

Объектом исследования являются различные варианты проведения процесса: с кипящим (псевдоожигженным) слоем катализатора; с лифт-реактором; каталитический крекинг-флюид (ККФ).

Предмет исследования – выход высокооктанового бензина.

Исследование проводилось с использованием данных о технологиях проведения каталитического крекинга с различных НПЗ.

Процесс каталитического крекинга является одним из важнейших процессов вторичной нефтепереработки, поскольку совершенствование данного процесса позволяет не только улучшить качественные показатели продуктов, но и увеличить глубину переработки нефтеперерабатывающего завода в целом, улучшая экономические показатели эффективности предприятия и влияя на экологические аспекты производства.

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

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследования являются крупные нефтеперерабатывающие заводы химические комбинаты.

По результатам проведенного сегментирования рынка были выбраны наиболее благоприятные сегменты (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка

Параметры		Вид услуги		
		С кипящим слоем катализатора	Каталитический крекинг-флюид	Каталитический крекинг с лифт-реактором
	Простота эксплуатации			
	Показатели качества			
	Время безостановочной работы			

Таким образом, наиболее оптимальным сегментом и направлением для исследования крекинга является процесс каталитического крекинга с кипящим слоем катализатора.

Только крупные нефтеперерабатывающие заводы имеют возможность внедрять все три варианта технологической схемы и обоснование выбора наиболее перспективной технологической схемы для них может оказать наибольший экономический эффект в виде сохранения ресурсов, увеличения времени работы оборудования, снижения времени на ППР и простой, а также улучшение эксплуатационных показателей работы.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку

сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Таблица 4.2 - 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	0,214	2	3	1	0,428	0,642	0,214
2. Удобство в эксплуатации	0,100	2	3	1	0,200	0,300	0,100
3. Энергоэкономичность	0,120	1	2	3	0,120	0,240	0,360
4. Безопасность	0,032	2	1	3	0,064	0,032	0,096
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,100	2	3	1	0,200	0,300	0,100
2. Уровень проникновения на рынок	0,150	1	2	3	0,150	0,300	0,450
3. Цена	0,134	1	2	3	0,134	0,268	0,402
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,150	3	2	1	0,450	0,300	0,150
Итого	1				1,7	2,3	1,9

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

$B_{к1}$ – ООО «Омский НПЗ»

$B_{к2}$ – ООО «Московский НПЗ»

4.1.3 SWOT-анализ

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

Результаты SWOT-анализа представлены в таблице 4.

Таблица 4.3 – SWOT-анализ проекта

	СИЛЬНЫЕ СТОРОНЫ:	СЛАБЫЕ СТОРОНЫ:
	C1. Распространенность технологической схемы	Сл1. Большой срок внедрения на производство
	C2. Доступность оборудования и запчастей	Сл2. Подходит только для сырья определенного типа
	C3. Экономия дорогостоящих катализаторов каталитического крекинга	Сл3. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования
	C4. Стабильность показателей качества	Сл4.Повышение цен у поставщиков.
	C5. Простота использования	
ВОЗМОЖНОСТИ:	Выход каталитического крекинга на рынок, будет способствовать развитию разработки, что увеличит спрос на продукцию. За счет инфраструктуры ТПУ возможно увеличение потенциала разработки.	Использование инфраструктуры ТПУ, позволят выбрать лучший вариант крекинга.
V1. Повсеместное внедрение на НПЗ		
V2. Возможность экономии материальных ресурсов		
V4. Увеличение стоимости анализа с ростом количества средних НПЗ		
V5. Повышение стоимости конкурентных разработок		
Угрозы:	Угрозу отсутствия спроса и наличие развитой конкуренции уменьшит качество получаемого продукта. Наличие необходимого оборудования для исследования образца покроет несвоевременное финансовое обеспечение, а квалифицированный персонал увеличит качество продукции	Слабые стороны проекта это развитие конкуренции. Высока вероятность других способов крекинга использующихся за рубежом будет имеющих более высокую производительность.
У1. Недостаточный учет технико-эксплуатационных показателей		
У2. Появление новых технологий на рынке		
У3. Ограничения на экспорт технологии		
У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства		
У5. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции		

4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 4.4 - Морфологическая матрица для методов исследования видов крекинга

	1	2	3
А. Вид услуги	С кипящим слоем катализатора	Каталитический крекинг-флюид	Каталитический крекинг с лифт-реактором
В. Вид катализатора	С применением катализатора цеолит ZSM-5	С применением катализатора цеолит ZSM-5	С применением катализатора микросферического

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой входят бакалавр, научный руководитель, консультант по части социальной ответственности (СО) и консультант по экономической части (ЭЧ) ВКР. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, распределены исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Бакалавр, Руководитель
	3	Обзор современных методов и патентных исследований по выбранному направлению	Бакалавр, Руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Бакалавр
Теоретическое обоснование и проведение экспериментальных исследований	5	Поиск материалов. Проведение теоретических исследований	Бакалавр
	6	Изучение литературы	Бакалавр
Обобщение полученных результатов, выводы по проделанной работе	7	Оценка эффективности проведенных исследований	Руководитель
	8	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка технической документации и проектирование	9	Подбор данных для выполнения экономической части работы	Бакалавр
	10	Оформление экономической части работы	Бакалавр
	11	Сбор информации по охране труда	Бакалавр
	12	Оформление результатов по охране труда	Бакалавр
Оформление отчета по НИР	13	Составление пояснительной записки	Руководитель, Бакалавр
	14	Сдача работы на рецензию	Бакалавр
	15	Предзащита	Бакалавр, руководитель
	16	Подготовка к защите дипломной работы	Бакалавр
	17	Защита дипломной работы	Бакалавр

4.3.2 Определение трудоемкости работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула :

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

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

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (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.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями .

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

где T_{p_i} – 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.

Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы.

4.3.3 График 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 :

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 119} = 1,48 \quad (5)$$

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

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

Таблица 4.6 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Наименование работ	Трудоёмкость работ									Исполнители		
		t_{\min} , чел-дни			t_{\max} , чел-дни			$t_{\text{ож}}$, чел-дни					
		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	Составление и утверждение технического задания	1	1	1	5	6	5	2,6	3	2,6	Р	Р	Р
2	Выбор направления исследований	3	4	3	4	6	5	3,4	4,8	3,8	Р Б	Р Б	Р Б
3	Обзор современных методов и патентных исследований по выбранному направлению	2	2	2	6	6	6	3,6	3,6	3,6	Р Б	Р Б	Р Б
4	Календарное планирование работ по теме	1 1	1 2	1 1	2 2	3 4	3 3	1,4 1,4	1,8 2,8	1,8 1,8	Р Б	Р Б	Р Б
5	Поиск материалов. Проведение теоретических исследований	14	20	16	30	30	30	20, 4	24	21, 6	Б	Б	Б
6	Изучение литературы	4	6	5	6	8	7	4,8	6,8	5,8	Б	Б	Б
7	Оценка эффективности проведенных исследований	1	1	1	3	4	3	1,8	2,2	1,8	Р	Р	Р
8	Определение целесообразности проведения ОКР	2	5	3	5	9	7	3,2	6,6	4,6	Р	Р	Р
9	Подбор данных для выполнения экономической части работы	3	4	3	5	7	7	3,8	5,2	4,6	Б	Б	Б
10	Оформление экономической части работы	3	4	3	5	7	7	3,8	5,2	4,6	Б	Б	Б
11	Сбор информации по охране труда	3	4	3	5	7	7	3,8	5,2	4,6	Б	Б	Б

Продолжение таблицы 4.6													
№	Наименование работ	Трудоемкость работ									Исполнители		
		t_{\min} , чел-дни			t_{\max} , чел-дни			$t_{\text{ож}}^i$, чел-дни					
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
12	Оформление результатов по охране труда	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Б	Б	Б
13	Составление пояснительной записки	1 10	1 20	1 15	1 20	1 40	1 30	1 14	1 28	1 21	Р Б	Р Б	Р Б
14	Сдача работы на рецензию	1	3	2	3	7	5	1,8	4,6	3,2	Б	Б	Б
15	Предзащита	1 1	1 1	1 1	2 2	2 2	2 2	1,4 1,4	1,4 1,4	1,4 1,4	Р Б	Р Б	Р Б
16	Подготовка к защите дипломной работы	5	7	6	10	15	12	7	10, 2	8,4	Б	Б	Б
17	Защита дипломной работы	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Б	Б	Б

Р – руководитель

Б – Бакалавр

На основе таблицы 4.6 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 4.7 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 4.7 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Наименование работ	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}			Длительность работ в календарных днях, T_{ki}			Исполнители		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Составление и утверждение технического задания	2,6	3	2,6	4	4	4	Р	Р	Р
2	Выбор направления исследований	1,7	2,4	1,9	3	4	3	Р Б	Р Б	Р Б
3	Обзор современных методов и патентных исследований по выбранному направлению	1,8	1,8	1,8	3	3	3	Р Б	Р Б	Р Б
4	Календарное планирование работ по теме	0,7 0,7	0,9 1,4	0,9 0,9	1 1	1 2	1 1	Р Б	Р Б	Р Б
5	Поиск материалов. Проведение теоретических исследований	20,4	24	21,6	30	36	32	Б	Б	Б
6	Изучение литературы	4,8	6,8	5,8	7	10	9	Б	Б	Б
7	Оценка эффективности проведенных исследований	1,8	2,2	1,8	3	3	3	Р	Р	Р
8	Определение целесообразности проведения ОКР	3,2	6,6	4,6	5	10	7	Р	Р	Р
9	Подбор данных для выполнения экономической части работы	3,8	5,2	4,6	6	8	7	Б	Б	Б
10	Оформление экономической части работы	3,8	5,2	4,6	6	8	7	Б	Б	Б
11	Сбор информации по охране труда	3,8	5,2	4,6	6	8	7	Б	Б	Б
12	Оформление результатов по охране труда	1,4	1,4	1,4	2	2	2	Б	Б	Б
13	Составление пояснительной записки	1 7	1 14	1 10,5	1 10	1 21	1 16	Р Б	Р Б	Р Б
14	Сдача работы на рецензию	1,8	4,6	3,2	3	7	5	Б	Б	Б
15	Предзащита	0,7 0,7	0,7 0,7	0,7 0,7	1 1	1 1	1 1	Р Б	Р Б	Р Б
16	Подготовка к защите дипломной работы	3,5	5,1	4,2	5	8	6	Б	Б	Б
17	Защита дипломной работы	0,5	0,5	0,5	1	1	1	Б	Б	Б

Максимальное по длительности исполнение 2. На его основе строим график проведения НИОКР

Таблица 4.8 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{ki} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февраль	февраль	февраль-март	март	март-апрель	апрель	апрель	апрель-май	май	май	май-июнь	июнь		
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120		
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	■													
2	Выбор направления исследований	Руководитель	4	■													
		Бакалавр		▨													
3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	Руководитель	3		■												
		Бакалавр			▨												
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	1		■												
		Бакалавр	2		▨												
5	Поиск материалов. Проведение теоретических	Бакалавр	36			▨	▨	▨	▨								
6	Изучение литературы	Бакалавр	10						▨								
7	Оценка эффективности проведенных исследований	Руководитель	3							■							
8	Определение целесообразности и проведения ОКР	Руководитель	10							■	■						
9	Подбор данных для выполнения экономической части работы	Бакалавр	8									▨					
10	Оформление экономической части работы	Бакалавр	8									▨					
11	Сбор информации по охране труда	Бакалавр	8									▨					
12	Оформление результатов по охране труда	Бакалавр	2										▨				
13	Составление пояснительной записки	Руководитель	1											■			
		Бакалавр	21											▨	▨	▨	
14	Сдача работы на рецензию	Бакалавр	7													▨	
15	Предзащита	Руководитель	1														■
		Бакалавр	1														▨
16	Подготовка к защите дипломной работы	Бакалавр	8														▨
17	Защита дипломной работы	Бакалавр	1														▨

■ – руководитель

▨ – бакалавр

4.3.4 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 используется следующая группировка затрат по статьям:

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

4.3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi} \quad (6)$$

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

$N_{расxi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента (k_T), принимаем в пределах 20% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 4.9.

Таблица 4.9 – Материальные затраты

Наименование	Ед. измерения	Количество			Цена за ед. с НДС, тыс.руб.			Затраты на материалы, (З _м)+(k _т), тыс. руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Катализатора крекинга цеолит ZSM	тн.	1,5	2	3,2	2520	2520	2520	4536	6048	9677
газойль	тн.	2	4	3	30	30	30	72	148	108
Ручка	шт.	2	4	3	0,20	0,20	0,20	0,48	0,96	0,72
Бумага	шт.	100	300	200	0,5	0,5	0,5	60	180	120
Итого:								4668,5	6377	9905,7

4.3.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Все расчеты по приобретению спецоборудования и ПО, включая 15% на затраты по доставке и монтажу, отображены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования и ПО для научных работ

Наименование ПО			Стоимость спецоборудования и ПО с НДС +15% доставка, монтаж, руб.		
Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Компьютер	Компьютер	Компьютер	46000	46000	46000
Лазерный	Лазерный	Лазерный принтер	5750	5750	5750
Microsoftoffice	Microsoftoffice	Microsoftoffice	11490	11490	11490
-	Delphi	Delphi		43800	43800
Итого:			63240	107040	107040

Расчет затрат на электроэнергию определяется по формуле :

$$E_э = \sum N_i \cdot T_э \cdot Ц_э \quad (7)$$

где N_i – мощность электроприборов по паспорту, кВт;

$T_{э}$ – время использования электрооборудования, час;

$Ц_{э}$ – цена одного кВт*ч, руб (2,7 руб. в г.Томск).

$$E_{э} = 0,8 \cdot 200 \cdot 2,7 = 432 \text{ руб}$$

4.3.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Зарботная плата включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии и доплаты) и дополнительную заработную плату. Также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (8)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата. (12 – 20 % от $Z_{осн}$).

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

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

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.

Расчёты в таблице 4.11

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб.дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя. Расчёты в таблицу 4.12

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней –выходные дни –праздничные дни	119	119
Потери рабочего времени –отпуск –невыходы по болезни	92	92
Действительный годовой фонд рабочего времени	155	155

Месячный должностной оклад работника:

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

где Z_{tc} – зарплатная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{mc});

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p – районный коэффициент, для Томска равный 1,3.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.12.

Таблица 4.11 – Расчет основной заработной платы

Категория	$k_{пр}$	Z_{mc} , руб.	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель								
ППС3	0,3	12067	0,3	1,3	25099,4	1684	49	82516
Бакалавр								
ППС1	0,3	8600	0,3	1,3	17888	1200	61	73200

Общая заработная плата исполнителей работы представлена в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{дон}$, руб.	$C_{зп}$, руб.
Руководитель	82516	9901,9	92417,9
Бакалавр	73200	8784	81984

4.3.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с

обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

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

В данном примере $Z_{\text{доп}} = 12 \%$. Расчеты в таблице 4.13

4.3.4.5 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 (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона 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% .

Результаты расчета представлены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	82516	9901,9
Бакалавр	73200	8784
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого:	47263	

4.3.4.6 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:

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

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Результаты расчета представлены в таблице 4.15.

4.3.4.6 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. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	4668500	6377000	9905700	Таблица 4.8
2. Затраты на специальное оборудованиеи ПО для научных (экспериментальных) работ	63240	107040	107040	Таблица 4.9
3. Затраты на электроэнергию	432	432	432	
4. Затраты по общей заработной плате исполнителей темы	174402	174402	174402	Таблица 4.12
5. Отчисления во внебюджетные фонды	47263	47263	47263	27,1% от п.4
6. Накладные расходы	792614	1072981	1637574	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	5746451	7779118	11872411	Сумма ст. 1- 6

Как видно из табл. 4.15 основные затраты НТИ приходятся на материальные затраты.

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как :

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

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

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

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

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля). Данные для расчёта взяты из таблицы 4.15

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

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

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

Сравнительная оценка интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 4.16).

Таблица 4.16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Повышение производительности	0,226	2	3	1
2. Удобство в эксплуатации	0,300	2	3	1
3. Энергоэкономичность	0,220	1	2	3
4. Безопасность	0,254	2	1	3

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности для каждого исполнения:

$$I_{p-исн1} = 2 \cdot 0,226 + 2 \cdot 0,300 + 1 \cdot 0,220 + 2 \cdot 0,254 = 1,78;$$

$$I_{p-исн2} = 3 \cdot 0,226 + 3 \cdot 0,300 + 2 \cdot 0,220 + 1 \cdot 0,254 = 2,27;$$

$$I_{p-исн3} = 1 \cdot 0,226 + 1 \cdot 0,300 + 3 \cdot 0,220 + 3 \cdot 0,254 = 1,95.$$

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{финр}} \quad (17)$$

$$I_{исп1} = \frac{1,78}{0,48} = 3,71$$

$$I_{исп2} = \frac{2,27}{0,66} = 3,44$$

$$I_{исп3} = \frac{1,95}{1} = 1,95$$

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

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

Сводим результаты по показателям эффективности разработки в таблицу 4.17:

Таблица 4.17 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,48	0,66	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	1,78	2,27	1,95
3	Интегральный показатель эффективности	3,71	3,44	1,95
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,93	0,53

Вывод: в ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были определены финансовый показатель разработки, показатель ресурсоэффективности, интегральный показатель эффективности и, на основании сравнительной эффективности вариантов исполнения, оптимальным был выбран вариант исполнения 1: выбор варианта каталитического крекинга для получения высокооктанового бензина.

5 Раздел социальная ответственность

В данном разделе дипломного проекта будет рассмотрена социальная ответственность при изучении вариантов каталитического крекинга для получения высоко октанового бензина.

Мощные предприятия нефтепереработки имеют стабильно высокое содержание загрязняющих веществ, вблизи источника, очень медленно снижающееся по мере удаления от него. Наиболее опасная обстановка возникает в аварийных ситуациях.

Установки каталитического крекинга относятся к одним из главных загрязнителей в нефтеперерабатывающих предприятиях. Источник выбросов дымовых газов в атмосферу – это печь, через которую первоначально проходит сырьё и где нагревается до необходимой температуры процесса.

Социальная ответственность направлена на: обеспечение безопасности жизни и здоровья работников в процессе осуществления трудовой деятельности; на совершенствовании обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, формирование страховых тарифов в зависимости от состояния условий и охраны труда на рабочих местах; на разработку комплексных мер, направленных на экономическое стимулирование технического перевооружения и модернизацию производства в целях улучшения условий труда, последовательное сокращение доли производственного оборудования с выработанным ресурсом и сроком службы в общем объеме основных производственных фондов; на усовершенствование системы подготовки и переподготовки специалистов в сфере охраны труда с учетом соответствующих профессиональных стандартов и с использованием современных технологий.

5.1 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлены в виде таблицы (таблица 5.1.)

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по оценке технического состояния подводного перехода нефтегазопровода

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1) высокая концентрация сероводорода в газе крекинга; 2) алюмосиликатная пыль; 3) вращающиеся части вентиляторов, воздуходувок, насосов; 4) оборудование; 5) ожог горячим катализатором при отборе проб	1. Токсические вещества; 2. Повышенная запылённость воздуха рабочей зоны.	3. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; 4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи 5. Повышенная температура материалов	1) ГН 2.2.5.686-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы 2) ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны 3) ГОСТ 12.2.003-74 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности» 4) ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ Электробезопасность. 5) ГОСТ Р 12.0.001-2013. Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов безопасности труда. Основные положения

5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов

Наиболее опасными местами производства являются помещение насосной, печь, колодцы промышленной канализации, место отбора пробы.

Эксплуатация установки связана со следующими опасными и вредными факторами:

- высокая температура процесса крекинга и регенерации катализатора, вследствие чего возможны:

- ожог работающих горячим катализатором при отборе проб или случае разгерметизации оборудования и катализаторопроводов;

- ожог работающих с водяным паром или конденсатом;

- ожог работающих с пламенем при розжиге форсунок печи;

- температура регенерации катализатора (600—750 °С).

- Сложность аппаратного оформления, вследствие чего возможно получение работающими травм в результате контакта с вращающимися частями вентиляторов, воздуходувок, насосов и падения работающих при обслуживании аппаратуры, расположенной на высоте.

- Повышенная запыленность воздуха алюмосиликатной пылью, вследствие чего возможны заболевания легких. "общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» ГОСТ 12.1.005-88. Силикатсодержащие пыли, силикаты, алюмосиликаты (цеолиты искусственные): величина ПДК, 2 мг/м³.

- Высокая концентрация сероводорода в газе крекинга, вследствие чего возможны отравления работающих в случае аварийной утечки их из аппаратов.

- Наличие тока высокого напряжения. Опасное и вредное воздействия на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и профессиональных заболеваний.

5.1.2 Средства защиты от воздействий опасных и вредных производственных факторов

- Средства индивидуальной защиты.

Для предупреждения профессиональных заболеваний и отравлений на установке каталитического крекинга, средствами индивидуальной защиты являются: спецодежда из хлопчатобумажной ткани (брюки, куртка, рукавицы); фильтрующие противогазы марки БКФ; ботинки кожаные.

- Средства коллективной защиты.

Приточная и вытяжная вентиляция в горячей и холодных насосных;

Все поверхности горячих трубопроводов изолированы;

Все вращающиеся агрегаты ограждены специальными кожухами;

Аппараты герметичны, что исключает возможность выделения вредных веществ в окружающую среду;

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы:

- защитное заземление;
- зануление;
- выравнивание потенциалов.

5.2 Экологическая безопасность

Выпускаемая продукция и сырьё установки при больших концентрациях вызывают вредное воздействие на окружающую среду.

Защита атмосферы На установке имеют место вредные выбросы выделяющиеся при сжигании различных видов топлив и газов в трубчатых печах, на факельных установках, и отходящие газы регенерации с установок

каталитического крекинга. Необходимо проводить замены ловушек открытого типа закрытыми, полностью или частично герметизированными.

Радикальной мерой снижения выбросов через факельные системы является уменьшение сжигания газов на факелах. Для этого необходимо: тщательно соблюдать регламенты ведения технологических процессов, создавать резервные ёмкости для сбора факельного газа с целью его последующей переработки или сжигания в котлах и печах технологических установок, стабилизация давления в топливной сети предприятия и ликвидация сбросов топливного газа на факел.

Защита гидросферы Сточные воды очищаются от нефтепродуктов, а затем сбрасываются в производственную канализацию [15],[16].

Защита литосферы. Твердые отходы, такие как катализаторная пыль и крошка, вывозится в отвал.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Подготовленность к чрезвычайным ситуациям является одним из наиболее важных факторов в безопасности жизнедеятельности людей. Чрезвычайная ситуация – это совокупность таких обстоятельств, сопровождающихся разрушениями зданий, сооружений, материальных ценностей, поражению и гибелью людей [ГОСТ Р 22.0.01-94]. Чрезвычайные ситуации могут возникнуть в результате производственной аварии.

К чрезвычайным ситуациям относятся: производственные аварии, стихийные бедствия, социальные конфликты.

Оперативная часть плана ликвидации потенциальных аварий предусматривает способы оповещения об аварии (сигнализация), включение аварийной вытяжной вентиляции, пути выхода людей из опасных зон. К сигнализации безопасности относятся световые, звуковые и цветовые сигналы, знаковая сигнализация, а также различные указатели. План ликвидации аварий

изучают все сотрудники, а также работники спасательной станции и пожарной части.

В аварийных ситуациях, когда атмосфера лаборатории внезапно оказывается зараженной ядовитыми парами или газами, оставаться в помещении для ликвидации последствий аварии можно только в противогазе, при отключенных нагревательных приборах.

При возникновении пожара необходимо отключить электронагревательные приборы, вентиляцию, убрать огнеопасные вещества в безопасное место, а также, одновременно, по возможности ликвидировать очаг.

При стихийном бедствии следует незамедлительно уведомить весь персонал лаборатории об угрозе возникновения бедствия. При поступлении сигнала о возможном инциденте все сотрудники лаборатории должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты. После этого в лаборатории отключается электроэнергия и водоснабжение. При необходимости персонал эвакуируется в безопасное место [17].

5.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.4.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

При работах с вредными и опасными условиями труда, а также при работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, работников бесплатно оснащают специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты, а также смывающими и (или) обезвреживающими средствами, прошедшими обязательную, сертификацию или декларирование соответствия, согласно типовым нормам.

Федеральный государственный надзор за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы

трудового права, осуществляется федеральной инспекцией труда в порядке, установленном Правительством Российской Федерации. Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований по безопасному ведению работ в отдельных сферах деятельности осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации уполномоченными федеральными органами исполнительной власти. Ведомственный контроль по охране труда проводят министерства и ведомства, контролирующие внутриведомственное соблюдение законодательства о труде. Для этой цели создаются специальные службы охраны труда в виде отделов с аппаратом инженеров по охране труда, санитарных врачей и других специалистов. Профсоюзный общественный контроль по охране труда осуществляют общественные инспектора, а также комиссии по охране труда комитетов профсоюзов. Для исключения возможности несчастных случаев должны проводиться обучение, инструктажи и проверка знаний работниками требований безопасности труда.

5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Сотрудники допускаются к работе только в спецодежде и средствах индивидуальной защиты. На рабочем месте должны быть запасы сырья и материалов, не превышающие сменную потребность. Необходимо знать специфические свойства применяемых веществ и соблюдать установленные правила работы с ними. Все эксплуатируемые электроустановки должны соответствовать требованиям «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей», и др. нормативных документов. Эксплуатация электрооборудования не допускается без заземления. Помещения опытно-производственной лаборатории обеспечиваются первичными средствами пожаротушения согласно действующим нормам. Весь персонал обязан уметь пользоваться средствами пожаротушения и оказывать первую помощь при несчастном случае. Не допускается загромождения

рабочих мест, проходов, выходов из помещений и здания, доступа к противопожарному оборудованию.

Заключение

В данной работе были рассмотрены современные виды каталитического крекинга. Усовершенствование конструктивного оформления каталитического крекинга и катализаторов, позволили увеличить выход целевого продукта – компонента автобензина от 30 – 40% до 50 – 55% массы.

На данный момент наиболее совершенным являются лифт-реакторы. Так выход бензина на них составляет 48-51% с октановым числом 91/92, тогда как у реакторов с кипящим слоем выход бензина 37% с октановым числом 90/91

Список использованных источников литературы

- 1 Основы нефтегазового дела / Коршак А. М. – Уфа : ДизайнПолиграфСервис, 2002. – 253 с.
- 2 Основные процессы нефтепереработки: справочник / А. Мейерс. Роберт, ФедоровнаГлаголева. Ольга, П. Лыков. О.. – М. : Профессия, 2011. – 940с.
- 3 Технология глубокой переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов / С. А. Ахметов. – Уфа : Гилем , 2002. – 672 с.
- 4 Технология переработки природных энергоносителей / Мановян А.К. – М.: Химия, КолосС, 2004. – 456 с.
- 5 Сернистые соединения природных газов и нефтей / Гасанович Алхазов. Тофик. – М. : Недра, 1989. – 151 с.
- 6 Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты / Э. Ф. Каминский, В. А. Хавкин. – М. : "Техника", 2001. – 384 с.
- 7 Стратегические приоритеты российских нефтеперерабатывающих предприятий / Сомов В.Е. - М.: ЦНИИТЭНефтехим, 2002. - 292 с.
- 8 ГОСТ 8226-82. Исследовательский метод определения октанового числа. – М. : Стандартинформ, 2013. – 44 с.
- 9 Справочник по переработке нефти/ Промышленный инжиниринг / Паркаш И. А. Суриндер, Н. Лындин. В., И. Фалькович. М.. – М. : ЗАО "ОЛИМП-БИЗНЕС", 2012. – 759 с.
- 10 Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии. Учебник для вузов / Скобло А.И., Молоканов Ю.К., Владимиров А.И., Щелкунов ВА. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2000. – 677 с.
- 11 Переработка Нефти / Л. Леффлер. Уильям. – М. : ЗАО "ОЛИМП-БИЗНЕС", 1999. – 224 с.
- 12 ПОПУЛЯРНАЯ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКА / Багдасаров. Л.Н.. – М. : РГУ нефти и газа, 2017. – 59 с.
- 13 Оптимизация работы газофракционирующей установки / К. Мандал –Индия: IndianoilCorp., 2007.

- 14 ГОСТ Р 22.0.01-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ
- 15 ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков.
- 16 ГОСТ 17.1.3.12-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие правила охраны вод от загрязнения при бурении и добыче нефти и газа на суше.
- 17 ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита населения. Основные положения.