

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

Инженерная школа природных ресурсов
Отделение химической инженерии
Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»
Профиль «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|---|
| Исследование технологии каталитического риформинга |

УДК 665.64:519.876

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 3-2Д53 | Торопова Наталья Максимовна | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Чузлов Вячеслав Алексеевич | К.Т.Н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Рыжакина Татьяна Гавриловна | К.Э.Н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--|-----------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель отделения ОД ШБИП | Романова Светлана Владимировна | - | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|--------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Кузьменко Елена Анатольевна | К.Т.Н | | |

Томск – 2020 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ООП 18.03.01)

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

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

Инженерная школа природных ресурсов
Отделение химической инженерии
Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»
Профиль «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Кузьменко Е.А.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной бакалаврской работы

В форме:

| |
|---------------------|
| Бакалаврской работы |
|---------------------|

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

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|------------------------------|
| 3-2Д53 | Тороповой Наталье Максимовне |

Тема работы:

| | |
|---|-------------------------|
| Исследование технологии каталитического риформинга | |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | 87-47/об. от 27.03.2020 |

| | |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 26.05.2020 |
|--|------------|

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>Объект исследования – установка каталитического риформинга ЛК – 6У ТОО «ПНХЗ» г. Павлодар.</p> <p>Установка предназначена для получения высокооктанового компонента автомобильных бензинов и технического водорода. Водородсодержащий газ (технический водород) используется далее в качестве сырья установки производства водорода или в процессах гидроочистки топлив.</p> |
|---|---|

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

(аналитический обзор по литературным источникам с

целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).

- 1 Литературный обзор
 - 1.1 Теоретические сведения
 - 1.2 Химизм процесса
 - 1.3 Относительные скорости реакций каталитического риформинга и их роль в процессе
 - 1.4 Катализаторы процесса
 - 1.4.1 Биметаллические катализаторы
 - 1.4.2 Триметаллические катализаторы
 - 1.4.3 Активность и селективность катализатора
 - 1.5 Влияние основных параметров на процесс риформинга
 - 1.6 Модели риформинга
 - 1.6.1 Кинетические модели
 - 1.6.2 Модели деактивации катализатора
 - 1.7 Конфигурации реактора и классификация процессов
 - 1.7.1 Реактор с аксиальным вводом сырья
 - 1.7.2 Реактор с радиальным вводом сырья
 - 1.7.3 Полурегенераторный каталитический риформинг (SRR)
 - 1.7.4 Циклический каталитический риформинг
 - 1.7.5 Непрерывный риформинг с регенерацией катализатора (CCR)
- 2 Объект и метод исследования
 - 2.1 Установка каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора
 - 2.2 Метод исследования
- 3 Исследовательская часть
 - 3.1 Исследование углеводородного состава перерабатываемого сырья на свойства производимого риформата
 - 3.2 Исследование влияния температуры процесса на свойства производимого риформата
 - 3.3 Исследование влияния объемной скорости подачи сырья на свойства производимого риформата
 - 3.4 Мониторинг активности промышленного катализатора процесса риформинга
 - 3.5 Прогнозирование активности катализатора
- 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение
 - 4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

| | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none">4.2 Планирование научно-исследовательских работ4.3 Бюджет научно-технического исследования4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования5 Социальная ответственность<ul style="list-style-type: none">5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности5.2 Производственная безопасность5.3 Экологическая безопасность5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях |
|--|---|

| | |
|---|---|
| Перечень графического материала | |
| <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i> | |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы | |
| <i>(с указанием разделов)</i> | |
| Раздел | Консультант |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность | Доцент, к.э.н, Рыжакина Татьяна Гавриловна |
| Социальная ответственность | Старший преподаватель, Романова Светлана Владимировна |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: | |
| | |

| | |
|---|------------|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | 14.01.2020 |
|---|------------|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-------------|------------------------|---------|------------|
| Доцент | Чузлов В.А. | к. т. н. | | 14.01.2020 |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------------|
| 3-2Д53 | Торопова Наталья Максимовна | | 14.01.2020 |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

| | |
|---------------|------------------------------|
| Группа | ФИО |
| 3-2Д53 | Тороповой Наталье Максимовне |

| | | | |
|----------------------------|-------------|----------------------------------|---|
| Школа | ИШПР | Отделение | Химическая инженерия |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов |

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|---|
| 1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта | Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта |
| 2. Разработка устава научно-технического проекта | Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий. |
| 3. Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок | Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ. |
| 4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности | Проведение оценки экономической эффективности исследования каталитической активности |

Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):

| |
|---|
| 1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения НТИ 4. Определение бюджета НТИ 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ |
|---|

| | |
|--|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 14.01.2020 |
|--|------------|

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент | Рыжакина Татьяна Гавриловна | Кандидат экономических наук | | 14.01.2020 |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|-----------------------------|----------------|-------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 3-2Д53 | Торопова Наталья Максимовна | | 14.01.2020 |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| | |
|---------------|------------------------------|
| Группа | ФИО |
| 3-2Д53 | Тороповой Наталье Максимовне |

| Школа | ИШПР | Отделение | Химической инженерии |
|----------------------------|-------------|----------------------------------|---|
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов |

Тема ВКР:

| | |
|---|---|
| Исследование технологии каталитического риформинга | |
| 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 - установка каталитического риформинга.</p> <p>Область применения - нефтеперерабатывающая промышленность.</p> |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| <p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> | <p><i>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)</i></p> |
| <p>2. Производственная безопасность:</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - Повешенный уровень шума; - Недостаточная освещенность рабочей зоны; -- Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека. - Повышенная температура поверхностей и оборудования; - Расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли(пола); - Сосуды, работающие под давлением. |
| <p>3. Экологическая безопасность:</p> | <p><i>Основными загрязнителями атмосферы на производстве являются:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Диоксид азота; - Углерод черный (сажа); - Оксид углерода; - Метан; - Бензапирен. <p><i>Для защиты гидросферы предусмотрено:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Обвалование площадок; - Дренажные емкости для сбора розливов нефтепродуктов; - Сточные воды проходят механическую очистку. <p><i>Защита литосферы осуществляется утилизацией отходов производства, установленным регламентом производства.</i></p> |
| <p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> | <p><i>Перечень возможных ЧС:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Взрывы, пожары, разгерметизация |

| | |
|--|---|
| | <i>трубопровода;</i> <i>- Протечки в запорно-регулирующей арматуре или в аппаратах;</i> <i>- Сбой системы электроснабжения;</i> <i>- Увеличение содержания нефтепродуктов в подтоварной воде;</i> <i>- Унос нефти на УОГ;</i> <i>- Повышенная вибрация насоса;</i> <i>- Давление на приеме насоса ниже нормы.</i> |
|--|---|

| | |
|---|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 14.01.2020 |
|---|------------|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|-----------------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Старший преподаватель отделения ОД ШБИП | Романова Светлана Владимировна | | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---------------|-----------------------------|----------------|-------------|
| 3-2Д53 | Торопова Наталья Максимовна | | 14.01.2020 |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 112 страниц, 22 рисунка, 33 таблицы, 17 формул, 66 источников.

Ключевые слова: риформинг, установка, катализатор, реактор, моделирование, мониторинг, математическая модель.

Объект исследования работы является промышленная установка каталитического риформинга. Целью работы является анализ факторов, которые влияют на качество и выход целевых продуктов процесса каталитического риформинга и повышение эффективности промышленной установки каталитического риформинга ЛК – 6У ТОО «ПНХЗ» г. Павлодар.

В процессе исследования было рассмотрено воздействие технологических характеристик на установке каталитического риформинга.

В результате исследования подобраны оптимальные условия для проведения процесса каталитического риформинга на технологической установке.

Область применения: нефтехимическая промышленность.

Экономическая эффективность в предоставленной работе дает возможность без значимых материальных расходов проводить вычислительные опыты для каталитического риформинга.

Оглавление

| | |
|---|----|
| Введение | 14 |
| 1 Литературный обзор..... | 16 |
| 1.1 Теоретические сведения..... | 16 |
| 1.2 Химизм процесса | 18 |
| 1.3 Относительные скорости реакций каталитического риформинга и их роль в процессе..... | 21 |
| 1.4 Катализаторы процесса | 22 |
| 1.4.1 Биметаллические катализаторы | 24 |
| 1.4.2 Триметаллические катализаторы..... | 24 |
| 1.4.3 Активность и селективность катализатора | 25 |
| 1.5 Влияние основных параметров на процесс риформинга | 26 |
| 1.6 Модели риформинга..... | 29 |
| 1.6.1 Кинетические модели | 29 |
| 1.6.2 Модели деактивации катализатора..... | 33 |
| 1.7 Конфигурации реактора и классификация процессов..... | 35 |
| 1.7.1 Реактор с аксиальным вводом сырья..... | 37 |
| 1.7.2 Реактор с радиальным вводом сырья | 39 |
| 1.7.3 Полурегенераторный каталитический риформинг (SRR) | 41 |
| 1.7.4 Циклический каталитический риформинг | 42 |
| 1.7.5 Непрерывный риформинг с регенерацией катализатора (CCR) ... | 43 |
| 2 Объект и метод исследования..... | 46 |
| 2.1 Установка каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора | 47 |
| 2.2 Метод исследования..... | 48 |

| | |
|---|----|
| 3 Исследовательская часть..... | 53 |
| 3.1 Исследование углеводородного состава перерабатываемого сырья на свойства производимого риформата | 53 |
| 3.2 Исследование влияние температуры процесса на свойства производимого риформата..... | 56 |
| 3.3 Исследование влияния объемной скорости подачи сырья на свойства производимого риформата | 58 |
| 3.4 Мониторинг активности промышленного катализатора процесса риформинга..... | 61 |
| 3.5 Прогнозирование активности катализатора..... | 64 |
| 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..... | 67 |
| 4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения..... | 67 |
| 4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования | 67 |
| 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений | 69 |
| 4.1.3 SWOT-анализ | 70 |
| 4.2 Планирование научно-исследовательских работ..... | 72 |
| 4.2.1 Определение трудоемкости выполненных работ | 74 |
| 4.3 Бюджет научно-технического исследования | 77 |
| 4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования | 77 |
| 4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ . | 78 |
| 4.3.3 Расчет заработной платы..... | 78 |
| 4.3.4 Расчет дополнительной заработной платы | 81 |
| 4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)... | 81 |

| | |
|--|-----|
| 4.3.6 Накладные расходы | 82 |
| 4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта | 82 |
| 4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования | 83 |
| 5 Социальная ответственность | 86 |
| 5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 87 |
| 5.2 Производственная безопасность..... | 88 |
| 5.3 Экологическая безопасность..... | 94 |
| 5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 97 |
| Заключение | 101 |
| Список использованных источников | 103 |
| Приложение А | 109 |
| Приложение Б..... | 110 |
| Приложение В | 111 |
| Приложение Г | 112 |

Введение

Процесс каталитического риформинга бензиновых фракций (риформинг бензина) считается одним из важнейших процессов современной нефтехимической и нефтеперерабатывающей индустрии, которая применяется для производства бензина и водорода более полувека.

Важность и актуальность этого процесса возрастает с каждым годом пропорционально растущему спросу на высокооктановые компоненты моторных топлив и источников сырья для нефтехимической промышленности.

Перспективным направлением в нефтехимической переработке считается повышение эффективности основных процессов производства высокооктановых автомобильных бензинов и приведение их в соответствие с современными экологическими требованиями.

На катализаты риформинга (до 50%), которые содержат более 5% наиболее токсичного компонента - бензола, приходится значительная доля общего количества компонентов бензина.

Одним из вариантов внедрения новых технологий в переработку является создание и использование математических моделей для различных процессов. Математическое моделирование позволяет выбрать оптимальные технологические решения, которые в максимальной степени используют преимущества катализаторов.

Актуальность данной работы заключается в расчете и изучении различных факторов, которые влияют на выход целевого продукта и качество каталитического риформинга с использованием модели компьютерной системы, которая позволяет проводить вычислительный эксперимент без значительных материальных и временных затрат.

Целью работы является анализ возможных факторов, влияющих на выход целевого продукта и качество процесса, повышение эффективности

промышленной установки каталитического риформинга ЛК – 6У ТОО «ПНХЗ» г. Павлодар.

Для достижения данной цели были выполнены следующие задачи:

- изучение методики расчета работ установки риформинга с использованием математической компьютерной системы «Контроль катализатора», на основе неустойчивой кинетической модели;
- оценка степени влияния в изменениях состава исходного сырья и технологических параметров с точки зрения исключительных свойств;
- мониторинг посредством анализа сводных таблиц, построения графиков и выдачей практических рекомендаций о повышении процесса риформинга.

Метод математического моделирования, использованный в расчетах, позволяет решить выше перечисленные задачи и выбрать оптимальные условия для проведения процесса каталитического риформинга на технологической установке.

1 Литературный обзор

1.1 Теоретические сведения

Каталитический риформинг предназначен для увеличения стойкости детонации бензинов и приводит к образованию отдельных ароматических углеводородов, таких как толуол, ксилолы и бензол - нефтехимического сырья. Производство дешевого водородосодержащего газа для гидроочистки различных фракций нефти, тяжелых нефтяных фракций гидрокрекинга и других процессов гидрирования, являются одной из целью процесса риформинга.

Технология реализуется при относительно высокой температуре и среднем давлении в газовой среде с высоким содержанием водорода (70–80 об.%), что позволяет повысить температуру процесса, избегая глубокого разложения углеводородов и значительного коксообразования. В результате скорость дегидроциклизации и изомеризации парафиновых углеводородов, а так же дегидрирования нафтеновых углеводородов возрастают. В зависимости от цели процесса, способа и катализатора выход и качество полученных продуктов значительно варьируются. Однако образование ароматических углеводородов и водородосодержащего газа является общим для большинства систем каталитического риформинга.

Бензиновые фракции большинства нефтей содержат 60...70 % парафиновых, 10 % ароматических и 20...30 % пяти- и шестичленных нафтеновых углеводородов. Среди парафиновых преобладают углеводороды нормального строения и моно-метилзамещенные их изомеры. Нафтены представлены преимущественно алкилгомологами циклогексана и циклопентана, а ароматические - алкилбензолами. Такой состав обуславливает низкое октановое число прямогонного бензина, обычно не превышающего 50 пунктов (по ММ) (табл. 1) [1].

В дополнение к прямогонным бензинам используют бензины вторичных процессов - коксования и термического крекинга после их

глубокого гидрооблагораживания, а также гидрокрекинга в качестве сырья каталитического риформинга.

Производство прямогонного бензина относительно низкое (около 15-20 % от нефти). Кроме того, некоторые бензины используются для других целей (производство водорода, сырье пиролиза, получение растворителей и так далее). Поэтому общий объем сырья, перерабатываемого на установках каталитического риформинга, обычно не превышает потенциального содержания бензиновых фракций в нефтях.

Таблица 1 - Октановые числа углеводородов

| Углеводород | Октановые числа | |
|------------------------|-----------------|-------|
| | ММ | ИМ |
| <i>n</i> - Бутан | 92 | 93,6 |
| <i>n</i> - Пентан | 61,7 | 61,0 |
| <i>изо</i> - Пентан | 90,3 | 92,3 |
| <i>n</i> - Гексан | 25 | 24,8 |
| 2 - Метилпентан | 73,0 | 73,4 |
| 3 - Метилпентан | 74,3 | 74,5 |
| 2,3 - Диметилбутан | 95,0 | 101,7 |
| <i>n</i> - Гептан | 0 | 0 |
| 2 - Метилгексан | 45,0 | 42,4 |
| 3 - Метилгексан | 55 | 52 |
| 2,3 - Диметилпентан | 88,5 | 91,1 |
| 2,4 - Диметилпентан | 82,0 | 83,1 |
| <i>n</i> - Октан | 22,0 | 10 |
| 2-Метилпентан | 24,0 | 21,7 |
| 4 - Метилпентан | 39 | 26,7 |
| 2,4 - Диметилгексан | 69,9 | 65,2 |
| 2,2,4 - Триметилпентан | 100 | 100 |
| Метилциклопентан | 81 | 91,3 |
| Циклогексан | 77,2 | 83 |
| Этилциклогексан | 62,0 | 67,2 |
| Метилциклогексан | 71,1 | 74,8 |
| Этилциклогексан | 41,0 | 46,5 |

| | | |
|--------------------------|-------|-------|
| 1,2 - Диметилциклогексан | 78,6 | 80,9 |
| Бензол | 108 | 113 |
| Толуол | 102,5 | 115,7 |
| Изопропилбензол | 99,0 | 108,0 |
| <i>n</i> - Ксилол | 100,6 | 116,4 |

Основным назначением каталитического риформинга является:

- преобразование низкооктановых бензиновых фракций, полученных при переработки любой нефти, включая высокосернистые и с высоким содержанием парафина, в катализ - высокооктановые бензиновые компоненты;
- конверсия узких или широких бензиновых фракций, полученных при переработке любой нефти или газового конденсата, в катализ, из которого ароматические углеводороды - этилбензол, бензол, толуол и изомеры ксилола, так или иначе выделяются.

Многие исследователи изучили различные аспекты процесса каталитического риформинга. Эти исследования в основном были сосредоточены на трех важных вопросах:

1. Изобретать и исследовать новые катализаторы с лучшей селективностью, стабильностью и производительностью, а также более низкой дезактивацией.
2. Изучение природы реакций каталитического риформинга и выявление подходящих моделей кинетики и дезактивации.
3. Предложить конфигурацию реактора и режим работы с более высоким выходом и улучшенными эксплуатационными условиями.

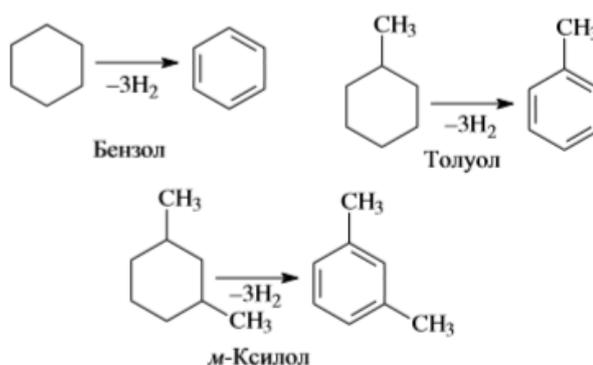
1.2 Химизм процесса

Каталитический риформинг представляет собой трудный химический процесс с различными реакциями, собственно что преобразовывают

углеводородный состав бензиновых фракций и, этим образом, значительно улучшают их антидетонационные свойства.

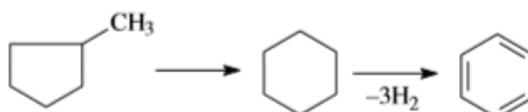
Наиболее важные реакции, приводят к образованию ароматических углеводородов и служат основой процесса:

1) дегидрирование шестичленных цикланов C_6H_{12}



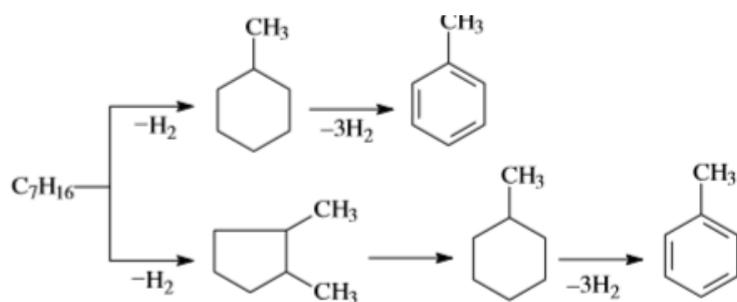
Реакция дегидрирования обратима, и при температурах ниже 300°C равновесие сдвигается влево. С повышением температуры равновесие все более сдвигается вправо. Повышение температуры способствует образованию ароматических углеводородов, повышение парциального давления водорода препятствует образованию ароматических углеводородов. Реакция сопровождается поглощением большого количества тепла, эндотермическая.

2) дегидроизомеризации циклопентанов



Скорость реакций изомеризации велика, однако роль этой реакции в повышении октановых чисел незначительна.

3) дегидроциклизации (C_5 - или C_6 -дегидроциклизации) парафиновых углеводородов



Дегидроциклизация парафинов считается практически необратимой реакцией, но проходит менее селективно и глубоко, а так же медленнее намного, чем дегидрогенизация нафтенов. Кроме того, она сопровождается гидрокрекингом (температура промышленного риформинга $> 500^\circ C$) парафинов $C_5 - C_6$. Изомеризация $C_5 - C_6$ парафиновых углеводородов происходит с образованием изомеров с высоким октановым числом.

В незначительной степени так же протекают реакции гидроалкилирования, превращения шестичленных нафтенов в парафины, гидрогенолиза и др. Реакции дегидридогенизации, дегидроциклизации, дегидроизомеризации являются эндотермичны и тепловой эффект протекает отрицательно.

Нежелательные реакции гидрокрекинга происходят одновременно с образованием как высокомолекулярных углеводородов и низкомолекулярных, так и продуктов уплотнения - кокса, который осаждаются на поверхности катализатора. Реакции гидрокрекинга протекают с выделением тепла, частично компенсируя расход тепла на основные реакции ароматизации. Общий отрицательный термический эффект каталитического риформинга составляет 250-520 кДж на 1 кг сырья. Поэтому, важно нагревать не только сырье, но и продукты его частичной конверсии.

Все эти реакции могут проходить со следующими рабочими параметрами:

- а) температура в зоне реакции, °С - 480-530;
- б) давление на выходе третьего реактора, кг/см² - 20-30;
- в) катализатор – полиметаллический - RG - 682;
- г) кратность циркуляции ВСТ, нм³/м³ - 1200 - 1500;
- д) срок службы катализатора составляет 7-10 лет.

1.3 Относительные скорости реакций каталитического риформинга и их роль в процессе

Элементарные стадии многих из вышеупомянутых реакций определяют собой катализаторы риформинга бифункциональной природой. Содержащийся один металл (платина) или же несколько металлов (к примеру, иридий и платину, или рений и платину), который катализируется реакциями дегидрирования и гидрирования. С другой стороны, носителем является промотированный галогенами оксид алюминия, который обладает кислотными свойствами и катализирует реакции, характерные для катализаторов кислотного типа. Следовательно, разные элементарные стадии реакции могут происходить на разных участках поверхности катализатора: кислотных или металлических. Изомеризации нормального парафина, является обычным примером, реакция. В начале этот углеводород на металлическом участке дегидрируется до нормального олефина, затем изомеризуется нормальный олефин в кислотном участке до изоолефина, который затем гидрируется на металлическом участке до изопарафина. Не только в этой, но и во многих других реакциях каталитического риформинга наиболее важными элементарными стадиями являются дегидрирование углеводородов и гидрирование.

Ароматические углеводороды из парафинов и нафтенов, приводящие к образованию, являются наиболее важными реакциями риформинга, которые происходят при поглощении тепла, экзотермическими являются реакции гидрокрекинга, а реакции изомеризации нафтенов и парафинов имеют тепловой эффект почти равный нулю.

Наиболее легче и быстрее в условиях каталитического риформинга протекают реакции дегидрирования гомологов циклогексана. Скорость ароматизации пятичленных нафтенов по сравнению с этой реакцией значительно ниже. Дегидроциклизация парафинов - самая медленная реакция ароматизации, скорость которой ограничена наиболее медленной стадией циклизации. реакция

Превращение из парафиновых и нафтенowych углеводородов в ароматические - реакции обратимые и проходят с поглощением тепла и возрастанием объема. Следовательно, глубина ароматизации увеличивается с уменьшением парциального давления водорода и ростом температуры, согласно правилу Ле-Шателье. Однако процессы промышленного риформинга должны проводиться либо путем непрерывной регенерации катализатора при низких давлениях, либо при повышенных давлениях, для подавления реакций коксообразования (в данном случае равновесная глубина ароматизации понижается, компенсирующиеся увеличением температуры).

1.4 Катализаторы процесса

Катализаторы риформинга, как правило, имеют две функции: дегидрирующую и кислотную. Платина на окиси алюминия используется в роли катализатора. Кислотные свойства обуславливают изомеризующую и крекирующую активность катализатора. Кислотность оказывает особо сильное воздействие при переработке сырья, содержащего большое количество парафиновых углеводородов: возникновение ароматических углеводородов происходит из-за инициирования реакций гидрокрекинга парафинов кислотными катализаторами и изомеризации пятичленных нафтенов в шестичленные с их дальнейшей дегидроциклизацией и дегидрогенизацией (как следствие дегидрирующих возможностей катализатора).

Функцией дегидрирования наделена платиновая составляющая катализатора. Это приближает наступление реакции дегидрирования и гидрирования, а значит, помогает образованию ароматических углеводородов и непрерывному гидрированию и удалению промежуточных продуктов, которые содействуют образованию кокса. Платины в составе, как правило, 0,3–0,65 по весу %; при уменьшении этого значения снижается стабильность катализатора против ядов. Однако также нежелательно избыточное содержание металла: по мере роста концентрации платины реакции деметилирования и разложения нафтеновых углеводородов усиливаются. Высокая стоимость платины также является существенным фактором, лимитирующим ее содержание в катализаторе.

Стало быть, для протекания процессов дегидрирования требуется дегидрирующая функция катализатора, а для реакций гидрокрекинга и изомеризации нужна кислотная. Качество бифункционального катализатора риформинга зависит от совмещения этих нескольких функций.

В промышленности распространено использование таких катализаторов: палладиевые (носители те же, что и для платины); сернистый вольфрамоникелевый; платиновые (носители – окись алюминия, промотированная фтором или хлором, алюмосиликат, цеолит и др.); алюмо-кобальтмолибденовый (молибдат кобальта на носителе – окиси алюминия, стабилизированной кремнеземом); окисный алюмо-молибденовый (~10% окиси молибдена на окиси алюминия); алюмо – хромовый (68% окиси алюминия и 32% окиси хрома). Чаще всего используются алюмоплатиновые. В катализаторы, содержащие платину и палладий, в последнее время стали добавлять редкоземельные элементы. Цеолитсодержащие тоже используются, но реже.

1.4.1 Биметаллические катализаторы

Сплавы рения и платины, а также платины и иридия содержат от 0,3 до 0,4 % массы платины и 0,3-0,4 % Re и Ir - их называют биметаллическими катализаторами.

Биметаллический сплав с платиной из рения и иридия применяется для предотвращения рекристаллизации (укрупнения частиц из платины при постоянном использовании).

Биметаллические кластерные катализаторы получают за счет нанесения благородных металлов, обладающих каталитической активностью, на носитель с высокоразвитой поверхностью. Данные виды катализаторов имеют повышенную термостойкость и высокую активность, связанную с распадом молекулярного водорода и перемещением атомарного водорода (переносу частиц). Так, в удаленных местах от металлических центров катализатора откладывается кокс, способствующий поддержанию активности в процессе сильного коксования (до 20 % массы твердопористого продукта на катализаторе).

Биметаллические катализаторы и катализаторы из платины и иридия имеют превосходящую активность и стабильность в реакциях дегидрирования парафинов. Повышение на 6% выход бензина с ОЧИ до 95 пунктов и снижение давление процесса переработки нефти (с 3,5 до 2-1,5 МПа) – это одни из основных причин применения биметаллических катализаторов. Биметаллические катализаторы, применяющиеся в промышленности, включают в себя также Pt, In/ γ -Al₂O₃, Pt, Ge/ γ -Al₂O₃, Pt, Sn/ γ -Al₂O₃.

1.4.2 Триметаллические катализаторы

Для улучшения работы катализаторов, к биметаллическому катализатору начали добавлять третий металл. В 1982 году первым металлом стал германий, добавленный к катализатору Pt-Re/Al₂O₃. Свойства металла и

кислотную функцию биметаллических катализаторов германий дополнительно изменил. Осаждение части германия на носитель вызвано изменением кислотности. К катализатору Pt-Ir/Al₂O₃ также добавляли германий. Осадки германия обеспечивают большую модификацию металлической функции катализаторов Pt-Ir-Ge по сравнению с Pt-Re-Ge - как показали исследования. В двух случаях, при добавлении германия, наблюдается сильное ингибирование дегидрирования. Кислотность исходных катализаторов Pt-Ir и Pt-Re, также изменяет германий. Селективность по отношению к толуолу, а также добавление олова к биметаллическому Pt-Ir, повышает стабильность катализаторов. Исследования показали, что такой же выход толуола достигается с катализаторами Pt-Ir-Sn/Al₂O₃ и Pt-Sn/Al₂O₃ после 65 часов реакции, но для триметаллического катализатора требуется более низкое содержание олова. В случае триметаллического катализатора Pt-Re-Sn добавление Sn к Pt-Re снижает активность реакции гидрирования и увеличивает как активность изомеризации, а также стабильность. Согласно результатам, лучшим катализатором является тот, что содержит олова в объеме 0,1%. Добавление цеолитов к катализатору риформинга является потенциальным способом улучшения стабильности и активности катализатора.

Было также запатентовано применение других триметаллических катализаторов, таких как Pt-Re-Ir / Al₂O₃ и Pt-Sn-In / Al₂O₃ в процессе риформинга каталитической нефти, которые можно найти в соответствующих работах.

Добавление цеолита к катализатору риформинга также является потенциальным способом улучшения активности и стабильности катализатора и улучшения характеристик риформинга.

1.4.3 Активность и селективность катализатора

Катализаторы риформинга должны быть:

- высоко активны в реакциях ароматизации;
- достаточная активность в реакциях изомеризации парафинов;
- слабая или низкая активность в реакциях гидрокрекинга;
- высокая селективность (индикатором может быть выход риформата при заданном октановом числе или заданном выходе ароматических углеводородов);
- высокая гидрирующая активность продуктов уплотнения; термоустойчивость и возможность регенерировать активность путем регенерации непосредственно в реакторах;
- стойкость к соединениям азота и серы, влаги, кислорода, солей тяжелых металлов и других примесей;
- стабильность (способность поддерживать начальную активность в течение длительного времени работы);
- бюджетные.

Селективность катализатора - способность ускорять целевые реакции, обеспечивая наибольший выход жидких продуктов и водорода, то есть реакции ароматизации должны протекать на максимальной глубине, а каталитическая активность в гидрокрекинге и гидрогенолиза должна быть минимальной.

1.5 Влияние основных параметров на процесс риформинга

Температура на входе в реактор, давление, объемная скорость подачи сырья, кратность циркуляции водородосодержащего газа и качество сырья - основные технологические параметры процесса риформинга.

В зависимости от фракционного состава сырья и заданного режима, при проектировании установки большинство параметров выбирается:

- а) Температура важный показатель процесса

Процесс каталитического риформинга, как правило, проводят при температурах 450 – 550°C. По мере отработки катализатора происходит повышение температуры.

Температура - основной регулируемый параметр процесса. Ее следует поддерживать как можно ниже, чтобы обеспечить получение катализата заданного качества (с заданным октановым числом или заданной массовой долей фракции ароматических углеводородов).

Возрастание температуры процесса приводит к возрастанию скорости всех реакций превращения углеводородов, которые происходят во время процесса.

Увеличение скорости реакций ароматизации нафтеновых и парафиновых углеводородов приводит к увеличению концентрации ароматических углеводородов в жидком продукте - катализате - и, следовательно, к увеличению октанового числа жидкого продукта.

Однако, повышение температуры приводит к ускорению побочных реакций, которые способствуют коксованию катализатора и его дезактивации. Соответственно, время регенерации катализатора сокращается.

б) Давление

Процесс каталитического риформинга обычно проводят при давлении от 1,5 до 4 МПа.

Падение давления приводит к увеличению селективности процесса риформинга и к усилению коксообразования. С уменьшением давления интенсивность реакций ароматизации увеличивается, а скорость гидрокрекинга углеводородов уменьшается. В результате выход жидкого продукта и водорода увеличивается, а выход легких углеводородов C₁-C₄ уменьшается.

По мере снижения давления подача циркуляционных компрессоров уменьшается и снижается кратность циркуляции водородосодержащего газа. Также снижение давления приводит к увеличению скорости дезактивации катализатора и сокращению периода регенерации.

Увеличение давления снижает содержание непредельных углеводородов в жидких продуктах реакции, газообразование возрастает, и, следовательно, выход катализата уменьшается.

Для управления процессом в редких случаях может использоваться изменение давления, к примеру, при переходе от переработки широкой фракции (85-180°C) к переработке с более узкими фракциями (105-140 °C).

в) Объемная скорость подачи сырья

Объемная скорость подачи сырья характеризует загрузку системы сырьем. Увеличение объемной скорости подачи сырья приводит к увеличению выхода жидкого продукта при одновременном снижении выхода ароматических углеводородов, что снижает октановое число катализата. При низких объемных скоростях можно наблюдать неравномерное распределения парогазовой смеси через слой катализатора и связанное с этим увеличение образования кокса. Поэтому не рекомендуется работать при объемной скорости подачи сырья менее $0,75 \text{ час}^{-1}$.

Объемная скорость подачи сырья в реактор каталитического риформинга в пределах от 1,0 до 3,0 ч^{-1} . В присутствии алюмоплатиновых катализаторов она обычно составляет 1,5- 1,8 ч^{-1} .

г) Кратность циркуляции водородосодержащего газа

Этот показатель практически не влияет на протекание реакций конверсии углеводородов при каталитическом риформинге.

В то же время изменение соотношения водород:сырье существенно влияет на стабильность работы катализатора риформинга. Уменьшение кратности циркуляции увеличивает скорость дезактивации катализатора из-за накопления кокса. Дальнейшее снижение этого соотношения приводит к резкому снижению активности катализатора.

В зависимости от качества исходного сырья, активности катализатора, заданной производительности и необходимой глубины превращения сырья, практическая кратность циркуляции устанавливается в пределах от 1200 до

1800 нм³ на 1 м³ сырья в час с содержанием водорода в водородсодержащем газе не менее 65% объемных.

д) Качество сырья

Фракционный состав сырья играет очень большую роль в процессе. Пределы выкипания сырья влияют как на показатель процесса (октановое число и выход риформата), так и на скорость накопления кокса на катализаторе.

Переработка фракции с температурой начала кипения ниже 85°C и фракции с температурой кипения выше 180°C нецелесообразна, поскольку в первом случае газообразование увеличивается, а во втором - приводит к коксованию катализатора. Поэтому целесообразно подвергать риформингу фракции бензина, выкипающие в пределах 85-180°C.

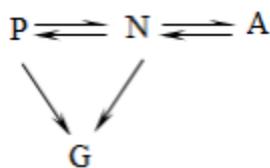
В сырье должно быть минимальное содержание серы (не более 1 ppm). Полиметаллические катализаторы чувствительны особенно к сере.

Содержание азота (до 0,5 ppm) и влаги (15-25 ppm) также ограничены.

1.6 Модели риформинга

1.6.1 Кинетические модели

Известные математические модели процесса каталитического риформинга основаны на уравнениях, описывающих кинетику химической конверсии углеводородов в реакторном блоке риформинга и основаны на математической модели Смита. В 1959 г. Смит предложил первый вариант агрегативной кинетической модели риформинга, групповую модель. Риформируемое сырье рассматривается как система из трех групп углеводородов, для которых эмпирические кинетические константы принимаются в реакциях превращения, описываемых кинетической схемой



Каждая группа рассматривается как некий квазиуглеводород, обладающий едиными свойствами. Групповые кинетические константы являются эффективными величинами, которые входят в систему дифференциальных уравнений, описывающих взаимные превращения квазиуглеводородов.

Константы модели Смита определяются чисто эмпирически. Однако из-за их небольшого количества объем экспериментальной работы для каждого катализатора относительно невелик. Если температурная зависимость констант не соответствует закону Аррениуса и решение системы уравнений выполняется только на машине, то она может быть задана в таблице как входная для компьютера.

Модель Смита использовалась для жесткого контроля и приблизительных расчетов относительно маленьких установок, которые долгое время работали на одном катализаторе, с ассортиментом продуктов и постоянным составом сырья. В результате увеличения мощности установок промышленности и общей связи с трудностями в поддержании стабильного состава сырья, с повышением требований к точности проектирования из-за резкого увеличения стоимости установок, в дальнейшем будут разработаны новые, более точные модели кинетического риформинга.

Основные химические и кинетические законы каталитического риформинга углеводородов - модель не предусматривает:

1) парафиновые углеводороды не только циклизуются, но и превращаются друг в друга путем изомеризации и деструкцией с переходом в более низкомолекулярные углеводороды;

2) скорости ароматизации, как и в других реакций, отличаются в случае углеводородов различной молекулярной массы, в частности парафинов, из

которых пятичленные не могут непосредственно ароматизироваться, а н-гексан ароматизируется с очень малыми скоростями;

3) скорость и, самое главное, состав продуктов крекинга также зависят от структуры и молекулярной массы углеводородов. Следовательно, модель Смита не является инвариантной по отношению состава сырья даже при одинаковом его групповом составе и не предоставляет информацию о составе газообразных продуктов реакции.

Во многих опубликованных кинетических моделях на основе метода слияния (модель углеводородного класса с одним соединением, который имеет средние свойства данного класса) представлен современный уровень кинетического моделирования для реализации каталитического процесса переработки нефти, в котором от свойств и подачи катализатора зависит константа скорости.

Полный спектр углеводородов, находящихся в составе лигроина (тяжелый бензин), подробный состав продуктов реакции переработки высококипящих нефтяных фракций, состав алкилциклопентанов, состав *i*-парафинов и *n*-парафинов не могут быть предсказаны некоторыми из моделей. Указанный уровень трудности может быть равен как нескольким элементам, так и полной кинетической модели.

Все сложные модели, защищенные от недостатков соединений (кинетическая модель 1-го события), которые базируются на фундаментальных подходах, должны проходить испытания в совершенно других условиях. Это позволит получить наиболее верную оценку, близкую к реальным событиям.

В состав моделей соединений входит минимальное число кинетических критериев, нуждающихся в небольшом числе информации для оценки. Одновременно с этим, сложность структуры данных моделей с широким числом параметров, обуславливает проведение дополнительных экспериментов.

Таким образом, применение кинетической модели является серьезной проблемой для выбора: сосредоточенная кинетическая модель или фундаментальный подход. Но, несмотря на это, существует перечень критериев, которые оказывают помощь для разрешения данного вопроса. В большинстве случаев следует предопределять воздействие на количество и качество продукта, контролировать изменение процессов и представлять возможную установку.

Когда модель, располагающая несколькими элементами, подобрана, то для достижения требуемой ситуации обычного прогноза будет недостаточно. Но, при выборе подробной модели, есть вероятность того, что она может стать слишком сложной для осуществления. Это связано не с видом модели, удобной для работы с современными компьютерами и алгоритмами, а со стоимостью и количеством данных, необходимых для определения критериев установки.

Таким образом, можно прийти к выводу: для правильного прогнозирования поведения системы каталитического процесса переработки нефти необходимо применять промежуточный подход. Это заключение связано с его относительной простотой и достаточной подробностью.

Промежуточным подходом называется способ, при котором количество элементов равно такому числу, что состав продукта можно предсказать с учетом всех необходимых компонентов.

Кинетические модели применяются для необходимого описания статистики и динамики реакции сложных процессов.

Довольно часто, среди процессов каталитического процесса переработки нефти применяются устройства этого вида.

Общее время простоев установок со стационарным слоем катализатора (ремонт оборудования и цикл регенерации) – 20-35 дней в году. Средний срок постоянной работы без регенерации равен - одному году и более. Во всех реакторах одновременно осуществляется окислительная регенерация катализатора.

Материал установок проходит через глубокий процесс химического превращения S, N (других соединений) под воздействием водорода. А в процессе переработки вторичных процессов бензина – этап присоединения водорода к органическому веществу непредельных углеводородов.

1.6.2 Модели деактивации катализатора

Деактивация Pt-катализаторов в течении периода межрегенерации снижает выход целевых продуктов, также требует часто или непрерывно регенерацию катализаторов и уменьшает срок его работы. Процессы деактивации С.З. Рогинский разделил на 3 группы:

- 1) поверхностное блокирование с использованием конечных продуктов реакции;
- 2) деактивация активных участков при побочных процессах;
- 3) деактивация, связанная с самопроизвольным старением вследствие рекристаллизации, уплотнения и тому подобному.

Современные технологии подготовки сырья сводят к минимуму влияние яда, а развитие технологии катализаторов и их регенерация, практически исключают отрицательное термическое воздействие на носитель. Поэтому, главной причиной деактивации в настоящее время является возникновение побочных реакций, ведущие к блокаде активных центров отложением кокса. Коксоотложение происходит как в металлических, так и в кислотных центрах.

Коксовые отложения представляют собой смеси конденсированных обедненных водородом продуктов на различных стадиях «зрелости», от смол и асфальтенов до карбоидов и, в крайних случаях, до графитоподобных отложений. Кокс, образованный механизмом карбидного цикла, более точно называется отложением углерода. Довольно однороден их состав. Разница в свойствах заключается главным образом в кристаллизации, форме и размере их агрегатов. Таким образом, кинетика деактивация и механизм

катализаторов напрямую связаны с составом сырья, а также с состоянием активных компонентов и условиями проведения процесса.

В большинстве работ полуэмпирические зависимости используются для описания промышленных данных, которые представляют их с точки зрения относительной активности [35] и выражаются как функции концентрации каталитического яда или концентрации кокса (C):

Чтобы учесть бифункциональность катализатора, предлагается описание его дезактивации, с помощью степенной зависимости, в которой значение константы дезактивации (m) различно для «металлических» и кислотных центров:

$$dA/dt = - K_0 \exp (- E/RT) A^m \quad (1)$$

Уравнения этого типа, записанные для каждого типа дезактивации (закоксовывание, старение, отравление), отличаются значениями константы дезактивации *m*. Данная модель легла в основу работ Левинтера и Рабиновича, а также Жорова и других исследователей. Работа, в которой скорости реакций представлены как функции текущей концентрации кокса: $r_j = r_j^0 \Phi(C)$, оказала большое влияние на описание процесса. В работах Иванчиной и Кравцова чаще используют экспоненциальную зависимость. К примеру, создавая формализованную схему на Pt-Sn/Al₂O₃ катализаторе конверсии углеводородов, кокс был добавлен в схему конверсии как один из компонентов. Было установлено, что активность катализатора зависит от содержания кокса и кратности циркуляции катализатора согласно уравнению:

$$a_j = A_o \cdot e^{-\alpha_j C_k}, \quad (2)$$

где A_o – линейная составляющая, определяющая число активных центров; α – коэффициент отравления.

Ученые во главе с профессором Мазиерри изучали дезактивацию осаждением кокса и спеканием и регенерацию функции металла катализаторов PtRe-Sn / Al₂O₃-Cl и Pt-Re-Ge / Al₂O₃-Cl. Они обнаружили, что катализаторы Pt-Re-Sn более стабильны, чем Pt-Re-Ge. Это было связано

с меньшим количеством кокса, осажденного на поверхности Pt-Re-Sn. Они также сравнивали дезактивацию ряда би- и мультиметаллических катализаторов риформинга, включая Pt-Re, Pt-Ir, Pt-Sn, Pt-Ge и Pt-Ir-Ge. Добавление катализаторов Ge (или Sn) к Pt, Ir или Pt-Ir разбавляет активную поверхность металла. Этот геометрический эффект улучшает селективность катализатора и повышает его устойчивость к дезактивации. Образование объемных сплавов Pt-Ge, Pt-Sn и Pt-IrGe способствует общей скорости дезактивации этих систем. Оба Pt-Ir и Pt-Re обладают высокой устойчивостью к дезактивации. Металлические Ir и Re обеспечивали места для гидрирования / гидрогенолиза фрагментов кокса и, следовательно, уменьшали скорость дезактивации этих катализаторов.

1.7 Конфигурации реактора и классификация процессов

Разнообразие химических и физических явлений, лежащих в основе разнохарактерных технологических процессов, предъявляет самые разные требования к химическим реакторам. Впрочем, все без исключения реакторы обязаны удовлетворять следующие основные требования:

- 1) обеспечивать большую производительность;
- 2) при максимальной селективности процесса давать более высокую степень превращения;
- 3) иметь малые энергетические затраты на перемешивание реагентов и транспортировку;
- 4) быть достаточно простыми в устройстве и бюджетными, следовательно, при изготовлении реакторов необходимо использовать черные металлы, недорогие изделия силикатной промышленности, недефицитные пластмассы и тому подобные;
- 5) использовать теплоту экзотермических реакций и теплоту, подводимую извне, для осуществления эндотермических процессов;

б) быть надежны в работе, по возможности обеспечивать автоматическое регулирование процесса и быть наиболее полно механизированными.

Блок риформинга является одним из основных блоков нефтепереработки, который широко используется для преобразования парафинов и нафтенов в ароматические соединения. Из-за промышленной важности этого процесса исследователи широко изучили проектный аспект, чтобы найти подходящие конфигурации, чтобы улучшить производство желаемых продуктов.

Реактор является наиболее важным устройством среди других аппаратов процесса каталитического риформинга. Экономичность процесса и качество получаемых продуктов зависят от того, насколько хорошо реактор работает.

Реакторы установок каталитического риформинга относят к аппаратам проточного типа (непрерывного действия).

Основой классификации реакторов процесса каталитического риформинга может быть проходящих через реактор термодинамические и физические характеристики потоков, направление их движения, способы регенерации катализатора и размещения, материальное исполнение корпуса и внутренних деталей и конструктивные особенности.

Реакторы разделяются на два типа: по способу распределения и направлению движения сырья - с аксиальным и радиальным движением сырья. В реакторе с радиальным вводом сырья обеспечиваются меньшие потери напора и соответственно меньшее рабочее давление в аппарате, поэтому уменьшаются затраты энергии на подачу сырья. Реакторы с радиальным движением используются в случаях, когда среда находится только либо в жидком, либо в парогазовом состоянии.

Многочисленные исследовательские усилия были направлены на повышение эффективности и условий эксплуатации этих конфигураций реактора. Эти усилия в основном включают использование мембраны для

удаления водорода из реакционной среды, что предполагает наличие реакторов с более низким перепадом давления и использование комбинированного реактора для снижения капитальных и эксплуатационных затрат.

1.7.1 Реактор с аксиальным вводом сырья

Внутренняя конструкция реакторов, которые используются сейчас, относительно простая. Строение реактора с аксиальным вводом сырья и футеровкой, которая отлично себя зарекомендовала в деле, отображено на рисунке 1.

Реактор состоит из следующих основных элементов: корпус, штуцер для ввода и вывода сырья и продуктов реакции, термопары, днище, катализатор, опорное кольцо и футеровку, опорную решетку, фарфоровые шарики.

Сырье доставляется в реактор посредством верхнего штуцера и распределителя, помогающего равномерно распределить парогазовой поток в верхнем пустотелом пространстве реактора. После этого поток преодолевает пласт фарфоровых шариков, обуславливающих равномерное распределение потока по слою катализатора. Калибр шариков бывает разный, но как правило, используются шарики диаметром от 16 до 20 мм.

Продукты, которые прошли катализатор, выходят через верхний боковой штуцер по центральной трубе.

Опорная решетка помогает удерживать фарфоровые шарики и катализатор. Чаще всего, для того чтобы более точно произошло распределения сырья и продуктов реакции, на опорной решетке располагают три пласта фарфоровых шариков калибром 20; 13 и 6 мм, затем идет слой катализатора.

Нижнее днище имеет люк на 500 мм для ремонта и два люка на 175 мм, применяемые для выгрузки катализатора. Термопара предназначена для измерения температуры, она находится в слое катализатора. Для крепления

аппарата предусмотрено опорное кольцо. Материал изготовления корпуса данного реактора – сталь марок 22К или 12ХМ, устойчивая к большим температурам.

Штуцеры выполнены из низколегированных хромомолибденовых сталей 12ХМ, 12МХ, устойчивых при высоких температурах в среде водородсодержащих газов.

Из нержавеющей стали сделаны внутренние элементы реактора.

Рисунок 1 показывает устройство реактора гидроочистки дизельного топлива с аксиальным вводом сырья с футеровкой.

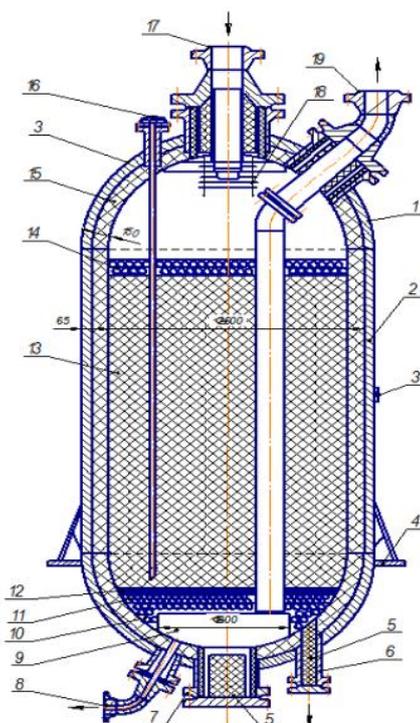


Рисунок 1 - Футерованный реактор с аксиальным вводом:

1 – днище; 2 – корпус; 3, 16 – термопары; 4 – опорное кольцо; 5 – шамотный порошок; 6 – люк для выгрузки катализатора; 7 – люк-лаз; 8 – эжекция газов, 9 – опорная решетка; 10 – 12, 14 – фарфоровые шарики; 13 – катализатор; 15 – футеровка; 17, 19 – ввод и вывод парогазовой смеси; 18 – распределитель парогазовой смеси.

Главное преимущество это простота эксплуатации. Основными недостатками аксиальных реакторов являются:

– неравномерность работы катализатора в слое;

- значительное повышение перепада давления на слое катализатора в процессе эксплуатации;
- уменьшение соотношения водород/сырье по высоте слоя катализатора;
- неравномерность температур в слое при проведении регенерации катализатора, что приводит к уменьшению срока службы катализатора.

1.7.2 Реактор с радиальным вводом сырья

Реакторы данного типа отличаются от реакторов с аксиальным вводом сырья тем, что газосырьевая смесь проходит через слой катализатора в радиальном направлении. Как было указано выше, такое конструктивное решение позволяет значительно снизить гидравлическое сопротивление, уменьшить вероятность засорения катализатора продуктами коррозии.

Реакторы с радиальным вводом сырья применяют в случаях, когда среда находится либо в жидком, либо парогазовом состоянии.

Гидравлическое сопротивление значительно ниже в отличие от аксиального ввода сырья, потому что:

- слой катализатора в реакторе с радиальным вводом меньше, чем в аксиальном вводе;
- средне интегральная площадь боковой поверхности катализатора меньше, чем площадь торцевого сечения.

Детали практически идентичны реактору с аксиальным вводом. Внутреннее устройство отличается тем, что катализатор размещается во внутреннем перфорированном стакане, а между стаканом и футеровкой образован кольцевой зазор.

Газосырьевая смесь проходит внутри кольцевого зазора и перемещается через слой катализатора и выходит через центральную перфорированную трубу.

Исполнение футеровки точно такое же, как и в аксиальном реакторе.

Реакторы такого типа обычно применяют в случае использования катализаторов, работающих сравнительно длительный отрезок времени без регенерации или вообще не подлежащих регенерации.

На рисунке 2 представлен реактор каталитического риформинга с радиальным входом сырья.

Также в промышленности применяют пустотелые цилиндрические или змеевиковые реакционные аппараты с поверхностным теплообменом. Такие аппараты характеризуются политропическими условиями ведения процесса.

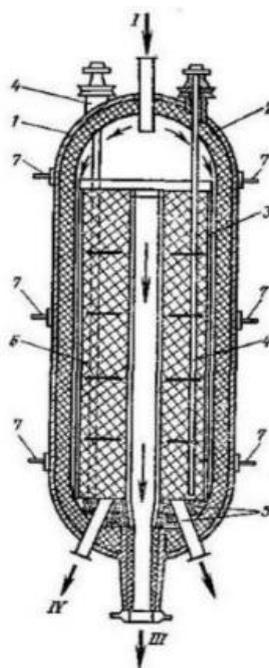


Рисунок 2 - Реактор с радиальным вводом:

1 – корпус; 2 – футеровка; 3 – кожух; 4 – многозонная термопара; 5 – фарфоровые шары; 6 – катализатор; 7 – поверхностная термопара. Линии: I –газо–сырьевая смесь; II – продукты реакции; III – выгрузка катализатора; IV – вывод продуктов при эжектировании системы во время регенерации катализатора.

Недостатком данного типа реактора является неравномерное распределение потока по высоте слоя катализатора; реакции дегидрирования нафтенов идут в области наименьших линейных скоростей потока, а реакции дегидроциклизации парафинов, определяющие селективность процесса, в области высоких скоростей.

Каталитические установки риформинга обычно классифицируются в соответствии с процедурой регенерации катализатора. Эти процедуры можно разделить на три основные группы:

1. Полурегенераторный каталитический риформинг (SRR).
2. Циклический каталитический риформинг.
3. Непрерывный риформинг с регенерацией катализатора (CCR).

Во всем мире схема полурегенерации доминирует в каталитическом риформинге примерно на 60% от общего использования, за которой следует непрерывная регенерация на 28% и циклическая на 12%.

1.7.3 Полурегенераторный каталитический риформинг (SRR)

Наиболее часто используемым типом блока каталитического риформинга является SRR. Этот процесс характеризуется непрерывной эксплуатацией в течение длительного времени, с уменьшением активности катализатора из-за осаждения кокса. Уменьшая активность катализатора, выход ароматических соединений и чистота побочного продукта водорода снижаются. Чтобы поддерживать конверсию почти постоянной, температура реактора повышается по мере снижения активности катализатора. Когда реакторы достигают уровней конца цикла, реформатор закрывается для регенерации катализатора на месте. Различные критерии используются для определения уровней конца цикла, таких как предел температуры металлургической промышленности реактора, прогнозируемое увеличение средней температуры на входе (WAIT), заданное количество снижения уровня C5+, определенное количество снижения водорода и экономика переработки и риформинга. Чтобы максимизировать длительность (цикл) между регенерациями, эти ранние установки работали при высоких давлениях, потому что высокое давление в реакторе минимизировало дезактивацию путем коксования. Выключение этого устройства происходит примерно раз в 6-24 месяца. Исследованное октановое число (RON), которое может быть достигнуто в этом процессе, обычно находится в диапазоне 85-

100, в зависимости от оптимизации между качеством сырья, качествами бензина и требуемыми количествами, а также условиями эксплуатации, необходимыми для достижения определенного запланированного цикла длина. Катализатор Pt-Re обычно используется в единицах SRR, поскольку он выдерживает высокие уровни кокса и легко регенерирует. Эти катализаторы обеспечивают более низкое давление и более высокую степень тяжести. Полурегенеративные реформаторы обычно строятся с тремя-четырьмя слоями катализатора последовательно. Четвертый реактор можно было бы добавить, чтобы увеличить либо серьезность, либо пропускную способность при сохранении одной и той же длины цикла.

Технологические параметры установок риформинга работают при полурегенеративном варианте: давление – от 1,3 до 3,0 МПа, температура – от 480 до 530 °С, октановое число колеблется от 94 до 100, выход риформата от 80 до 88 % масс. Межрегенерационный цикл работы катализатора – от 1 года до 3 лет.

1.7.4 Циклический каталитический риформинг

Второй тип технологии – циклический – применяется на заводах США и характеризуется более жесткими условиями проведения процесса: давление – от 0,9 до 2,1 МПа, температура – от 505 до 550 °С и, следовательно, небольшими межрегенеративными циклами (от 40 до 5 суток). Октановое число риформата – от 95 до 103. Катализатор до полной отработки может выдерживать до 600 регенераций. К циклическому варианту относится процесс пауэрформинг (используется для получения бензинов с октановыми числами 85 - 105, компонента авиационного бензина, бензола или других индивидуальных ароматических углеводородов) и ультраформинг (используется для получения высокооктанового компонента бензина и индивидуальных ароматических углеводородов из низкооктановых бензиновых фракций прямой перегонки нефти, коксования, каталитического и термического крекинга, гидрокрекинга).

В установке циклического каталитического риформинга существует дополнительный запасной или качающийся реактор, который, как и другие реакторы, может быть индивидуально изолирован. Таким образом, каждый реактор может подвергаться регенерации на месте, так как в это время другие реакторы работают. Таким образом, только один реактор за один раз должен быть выведен из эксплуатации для регенерации, в то время как процесс риформинга продолжается. В этом процессе можно использовать низкое рабочее давление, широкую подачу кипения и низкое отношение водорода к корму, что способствует высокой скорости дезактивации катализатора. Таким образом, катализатор в отдельных реакторах мог бы исчерпаться с временными интервалами от менее недели до месяца. Исследовательское октановое число в этом процессе находится в диапазоне 100-104. Низким рабочим давлением и меньшим изменением общей активности катализатора, конверсии и чистоты водорода во времени относительно полурегенеративного процесса являются главным преимуществом циклического процесса. Недостатком этого процесса является то, что все реакторы часто чередуются между восстановительной атмосферой во время нормальной работы и окислительной атмосферой во время регенерации. Эта политика переключения требует сложной схемы процесса с высокими мерами предосторожности и требует, чтобы все реакторы имели одинаковый максимальный размер, чтобы сделать переключатели между ними возможными. Однако блоки циклического каталитического риформинга не очень распространены и редко используются для процесса риформинга нефти.

1.7.5 Непрерывный риформинг с регенерацией катализатора (CCR)

Последний тип технологии риформинга - это процесс с непрерывной регенерацией катализатора. Такая технология является наиболее прогрессивной, так как позволяет работать в лучших термодинамических

условиях (температура – до 550,0 °С, давление – от 0,35 до 0,9 МПа) без остановки на регенерацию (межремонтный пробег достигает трех лет и более) и достигать максимального октанового числа риформата (102-104 пункта).

Самым современным типом каталитических реформаторов - это непрерывная регенерации катализатора. Этот процесс представляет собой ступенчатое 28 изменение технологии риформинга по сравнению с полурегенеративными и циклическими процессами. В этом устройстве катализатор непрерывно регенерируется в специальном регенераторе и добавляется в работающие реакторы. Преимущества этого процесса против традиционных методов:

- производство высокооктанового риформата, даже с низким качеством сырья;
- использование катализатора с меньшей стабильностью, но с более высокой селективностью и выходом;
- снижение необходимого коэффициента рециркуляции и снижение рабочего давления с высоким выходом водорода.

Этот процесс можно разработать разными способами. Реакторы могут быть отделены друг от друга или уложены друг над другом. Катализатор движется со дна одного реактора к верхней части следующего реактора. Регенерированный катализатор добавляют в первый реактор, а отработанный катализатор извлекают из последнего реактора и возвращают обратно в регенератор. Расчетное октановое число находится в диапазоне от 95 до 108. Катализатор, используемый в процессе непрерывной регенерации, в основном относится к типу оксиду алюминия - платина/олово, так как добавление олова повышает селективность ароматических веществ, стабильность, а также способность к регенерации Pt/Al₂O₃. Следует отметить, катализатор постоянно регенерируется и, поэтому селективность ароматических соединений катализатора важнее, чем его устойчивость к

дезактивации. Для этого типа процесса риформинга был предложен только трубчатый ректор с осевым и радиальным потоком.

Технологическая схема установки риформинга с непрерывной регенерацией катализатора представлена на рисунке 3.

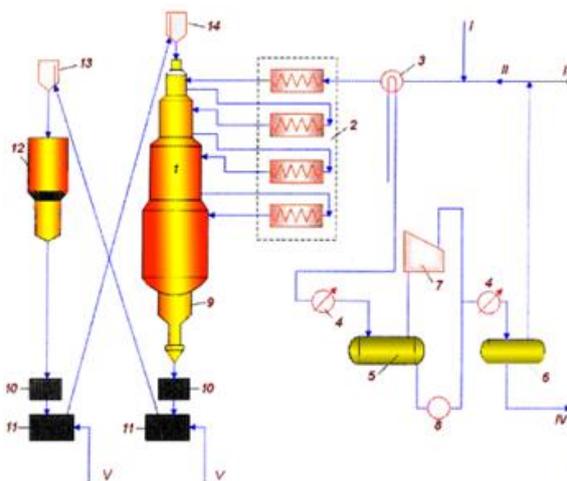


Рисунок 3 - Технологическая схема установки риформинга с непрерывной регенерацией катализатора:

1 - реакторная колонна; 2 - блок печей; 3. - т-к; 5 - сепаратор низкого давления; 6 - сепаратор высокого давления; 7 - компрессор; 8 - насос; 9 - разгрузочное устройство; 10 - затворный бункер; 11 - питатель; 12 - регенератор; 13 - бункер закоксованного катализатора; 14 - бункер отгенерированного катализатора.

I - гидрогенизат; II - циркулирующий водородсодержащий газ; III - избыточный ВСГ; IV - рифорат на стабилизацию; V - транспортный газ.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Разрабатываемый проект направлен на повышение эффективности производства на основе варьирования состава сырья, вовлекаемого на установку каталитического риформинга, с использованием метода математического моделирования.

В настоящее время перспективность научного исследования определяется коммерческой ценностью разработки, что является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Целью данного раздела в бакалаврской работе является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации. Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

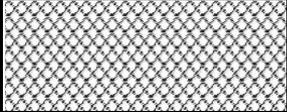
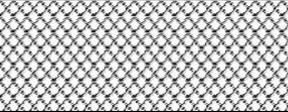
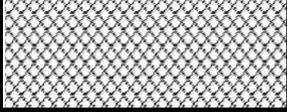
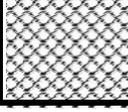
- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективностей исследования.

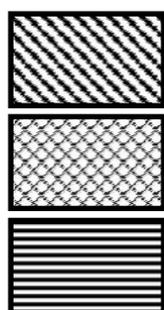
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. На таблице 4 представлена карта сегментирования рынка по виду оказываемой услуги с применением математической модели процесса отстаивания.

Таблица 4 – Карта сегментирования

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



- Нуртотех Ltd, Канада

- AspenTech, США

- ChemFort, Россия

В таблице показано, какие ниши на рынке услуг по применению математической модели не заняты конкурентами и где уровень конкуренции низок:

– для мелких НПЗ необходим доступный по цене и эффективный продукт;

– данные фирмы предлагают общее программное обеспечение для химических процессов (нет специализированной программы для каталитического риформинга);

– компании занимаются в основном только продажей своего программного продукта.

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.

В таблице 5 представлен сравнительный анализ математической модели (М), разработанной в рамках выполнения ВКР и двух конкурентных моделей Chemcad (К1) и Aspen Hysys (К2).

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | | Конкуренто-способность | | |
|--|--------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------------|-----------------|-----------------|
| | | Б _М | Б _{К1} | Б _{К2} | К _М | К _{К1} | К _{К2} |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | | | |
| Повышение производительности установки | 0,09 | 5 | 2 | 2 | 0,45 | 0,18 | 0,18 |
| Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0,07 | 5 | 3 | 3 | 0,35 | 0,21 | 0,21 |
| Энергоэкономичность | 0,1 | 5 | 4 | 3 | 0,5 | 0,4 | 0,3 |
| Надежность | 0,07 | 5 | 4 | 4 | 0,35 | 0,28 | 0,28 |
| Безопасность | 0,04 | 5 | 5 | 5 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |

| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | | | |
|---|------|----|----|----|------|------|------|
| Конкурентоспособность продукта | 0,2 | 5 | 3 | 2 | 1 | 0,6 | 0,4 |
| Уровень проникновения на рынок | 0,07 | 4 | 5 | 4 | 0,28 | 0,35 | 0,28 |
| Цена | 0,08 | 5 | 3 | 4 | 0,4 | 0,24 | 0,32 |
| Предполагаемый срок эксплуатации | 0,08 | 5 | 5 | 5 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Послепродажное обслуживание | 0,07 | 5 | 5 | 2 | 0,35 | 0,35 | 0,14 |
| Финансирование научной разработки | 0,03 | 4 | 4 | 4 | 0,12 | 0,12 | 0,12 |
| Срок выхода на рынок | 0,05 | 5 | 3 | 3 | 0,25 | 0,15 | 0,15 |
| Наличие сертификации разработки | 0,05 | 5 | 5 | 5 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| Итого | 1 | 63 | 51 | 46 | 4,9 | 3,73 | 3,23 |

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле [49]:

$$K = \sum B_i * B_i$$

где K - конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i - вес показателя (в долях единицы);

B_i - балл i -го показателя.

Разрабатываемая математическая модель является конкурентоспособной на рынке, главным преимуществом которой, является чувствительность к составу перерабатываемого сырья.

4.1.3 SWOT-анализ

Для комплексной оценки научно-исследовательского проекта применяют SWOT-анализ, результатом которого является описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для его реализации, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Итоговая матрица SWOT-анализа представлена в таблице 6.

Таблица 6 – SWOT-анализ

| | | |
|---|---|---|
| | <p>Сильные стороны проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность оптимизации важного процесса переработки нефтяного сырья – каталитического риформинга. 2. Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов. 3. Возможность проведения необходимых исследований без вмешательства в работу 4. Отсутствие аналогичных математических моделей по процессу 5. Чувствительность к изменению состава сырья. | <p>Слабые стороны проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ограниченность экспериментальных данных с промышленной установки. 2. Отсутствие учета в модели реакции коксообразования на катализаторе 3. Отсутствие экспериментальных образцов для проведения анализа. |
| <p>Угрозы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Создание подобной модели на рынке в более быстрые сроки 2. Внедрение других моделей на предприятия отечественных НПЗ 3. Отсутствие спроса не заинтересованность предприятий по внедрению инновационного проекта | <ol style="list-style-type: none"> 1. Продвижение новой технологии оптимизации процесса с применением математической модели. 2. Продвижение на рынок новых технологий 3. Введение в модель чувствительности к составу сырья | <ol style="list-style-type: none"> 1. Разработка научного исследования 2. Повышение квалификации кадров у потребителя 3. Приобретение необходимых экспериментальных данных по составу сырья и продукта с промышленной установки. |
| <p>Возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Внедрение разработанной модели на предприятия нефтепереработки для оптимизации процесса производства 2. Внедрение разработанной модели на производство для отработки действий персонала. 3. Внедрение системы в образовательную сферу в качестве компьютерного тренажера для обучения | <ol style="list-style-type: none"> 1. Разработка математической модели каталитического риформинга нефти на основании физико-химических свойствах нефти и её состава. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Ограниченность экспериментальных данных с промышленной установки. 2. Отсутствие данных о содержании кокса на катализаторе. 3. Повышение эффективности использования сырья на предприятии 4. Повышение квалификации персонала на производстве 5. Создание тренировочной версии для обучения студентов основам процесса, |

| | | |
|---|--|---|
| студентов. 4.Использование Инновационной инфраструктуры ТПУ 5. Внедрение на Российский НПЗ процесса и соответственно повышение спроса на разрабатываемую модель | | закономерностям процесса. 6.Отсутствие экспериментальных образцов для проведения анализа. |
|---|--|---|

Выявление соответствия сильных и слабых сторон научно исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды (таблица 7).

Таблица 7 – Выявление соответствия сильных и слабых сторон

| | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
|------------------------|----|----|----|----|----|----|
| Возможности проекта | B1 | + | + | + | + | + |
| | B2 | 0 | 0 | + | + | 0 |
| | B3 | + | - | - | - | - |
| | B4 | + | + | 0 | + | + |
| | B5 | + | 0 | - | + | 0 |

В данном разделе был проведен SWOT-анализ, представленный в таблице. По его результатам были выявлены сильные и слабые стороны проекта, а так же угрозы и возможности. Так же было выявлено то, как можно компенсировать слабые стороны проекта за счет его возможностей и нейтрализовать угрозы с помощью сильных сторон проекта. Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке [49]:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;

- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | № работ | Содержание работ | Должность исполнителя |
|--|---------|--|-------------------------------|
| Разработка технического задания | 1 | Составление и утверждение технического задания | Научный руководитель |
| Выбор направления исследований | 2 | Выбор направления исследований | Руководитель, студент |
| | 3 | Ознакомление с экспериментальными данными | Студент |
| | 4 | Изучение технологии процесса | Студент |
| | 5 | Обзор современной литературы по выбранному направлению | Студент |
| | 6 | Подбор и изучение материалов по теме | Студент |
| Теоретические и экспериментальные исследования | 7 | Теоретическое обоснование выбора методик расчета, создание математической модели | Научный руководитель, студент |
| | 8 | Обработка результатов | Студент |
| | 9 | Корректировка модели и ее модернизация | Научный руководитель, студент |
| | 10 | Выводы по полученным экспериментальным данным | Студент |
| Обобщение и оценка результатов | 11 | Обсуждение результатов | Научный руководитель, студент |

| | | | |
|--|----|---|-------------------------------|
| | 12 | Оценка эффективности полученных результатов | Научный руководитель |
| Оформление комплекта документации по ВКР | 13 | Оформление пояснительной записки | Научный руководитель, Студент |

4.2.1 Определение трудоемкости выполненных работ

Временные показатели проведения научного исследования представлены в таблице 7. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула [49]:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

Продолжительность каждой работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i},$$

Продолжительность каждой работы в календарных днях:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}},$$

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48;$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе необходимо округлить до целого числа. Все рассчитанные значения сведены в таблице 9.

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

| № | Наименование работ | Трудоемкость работ | | | | | | | | | Исполнители | | | | | | |
|---|--------------------|----------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|-------------|-------|-------|--|--|--|--|
| | | t_{\min} , чел-дни | | | t_{\max} , чел-дни | | | $t_{ожи}$, 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 тех. задания | 1 | 2 | 1 | 5 | 6 | 5 | 2,6 | 3,6 | 2,6 | Р | Р | Р |
| 2 | Выбор направления исследования | 2 | 3 | 2 | 6 | 6 | 6 | 3,6 | 4,2 | 3,6 | Р Б | Р Б | Р Б |
| 3 | Календарное планирование работ по теме | 2 | 2 | 2 | 6 | 7 | 6 | 3,6 | 4 | 3,6 | Р | Р | Р |
| 4 | Подбор и изучение материалов по теме | 15 | 15 | 15 | 20 | 20 | 20 | 17 | 17 | 17 | Б | Б | Б |
| 5 | Проведение теоретических расчетов | 20 10 | 20 10 | 20 10 | 30 20 | 30 20 | 30 20 | 24 14 | 24 14 | 24 14 | Б | Б | Б |
| 6 | Проведение компьютерных расчетов | 5 2 | 5 3 | 5 2 | 7 5 | 7 5 | 7 5 | 5,8 3,2 | 5,8 3,8 | 5,8 3,2 | Б | Б | Б |
| 7 | Оценка эффективности полученных результатов | 1 2 | 1 2 | 1 2 | 3 5 | 3 5 | 3 5 | 1,4 3,2 | 1,4 3,2 | 1,4 3,2 | Р Б | Р Б | Р Б |
| 8 | Подготовка к защите дипломной работы | 1 2 | 1 2 | 1 2 | 3 5 | 3 5 | 3 5 | 1,4 3,2 | 1,4 3,2 | 1,4 3,2 | Б | Б | Б |
| 9 | Защита дипломной работы | 3 3 | 3 3 | 3 3 | 7 7 | 7 7 | 7 7 | 4,6 4,6 | 4,6 4,6 | 4,6 4,6 | Б | Б | Б |

Итого длительность работ – 114 календарных дней.

На основе таблицы 9 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта, с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени написания ВКР. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Календарный план-график построенный для максимального по длительности второго варианта исполнения работ рамках научно-исследовательского проекта приведен в таблице 10.

Общее число работ составило 4. Ожидаемая трудоемкость работ для научного руководителя составила 50 чел-дней, для студента-исполнителя составила 103 чел-дней. Общая максимальная длительность выполнения работы составила 114 календарных дней.

Таблица 10– Календарный план-график проведения НИР

| № | Вид работы | Исполнители | Т _{кi} | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|-------------|-----------------|------------------------------------|---|------|---|---|------|---|---|-----|---|---|------|---|---|
| | | | | Фев. | | март | | | Апр. | | | май | | | июнь | | |
| | | | | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | Составление и утверждение тех. задания | Р | 4 | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Выбор направления исследования | Р | 5 | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Календарное планирование работ по теме | Р | 5 | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Подбор и изучение материалов по теме | Б | 2 5 | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Проведение теоретических расчетов | Б | 1 8 | | | | | | ■ | | | | | | | | |
| 6 | Проведение компьютерных расчетов | Б | 1 5 | | | | | | | | ■ | | | | | | |
| 7 | Оценка эффективности и полученных результатов | Р Б | 2 2 | | | | | | | | | | ■ | | | | |

| вание | рени я | | | | руб. | | | руб. | | |
|---|--------------|-------|-------|-------|--------------|------------|------------|--------------|-------|-------|
| | | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
| Хромато- графкрис- талл 5000 | шт. | 1 | 1 | 1 | 82530 0 | 82530 0 | 82530 0 | 825300 | | |
| Образцы топлива | литр | 2 | 4 | 6 | 37 | 37 | 37 | 74 | 148 | 222 |
| ПГС водород 40% | балон | 1 | 2 | 3 | 2430 | 2430 | 2430 | 2430 | 4860 | 7290 |
| Автомати- ческая установка ПТФ | шт | 1 | 1 | 1 | 21240 0 | 21240 0 | 21240 0 | 212400 | | |
| Итого | Исполнение 1 | | | | Исполнение 2 | | | Исполнение 3 | | |
| | 1040204 руб. | | | | 1042708 руб. | | | 1045212 руб. | | |

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Расчет затрат на приобретение программного обеспечения (ПО) в таблице 12.

Таблица 12 – расчеты затрат на приобретение ПО

| Наименование ПО | | | Стоимость ПО с НДС, руб. | | |
|---------------------|---------------------|------------------|--------------------------|-------|-------|
| Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
| Microsoft office | Microsoft office | Microsoft office | 2900 | 2900 | 2900 |
| - | Delphi | Delphi | | 43800 | 43800 |
| Gaussian | Gaussian | Gaussian | 35700 | 35700 | 35700 |
| Итого: | | | 38600 | 82400 | 82400 |

4.3.3 Расчет заработной платы

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Расчёт основной заработной платы

| № | Наименование этапов | Исполнители по категориям | Трудоемкость, чел.-дн. | Зарботная плата, на один чел.-дн., тыс.руб. | Всего зарботная плата по окладам без кр, тыс. руб. |
|--------------|---|---------------------------|------------------------|---|--|
| 1 | Разработка технического задания, выбор направления исследований, оценка результатов | Руководитель | 22 | 1,08 | 23,76 |
| 2 | Теоретические и экспериментальные исследования, расчет на разработанной модели, оформление отчетов по НИР | Бакалавр | 44 | 0,411 | 18,08 |
| Итого: 41,84 | | | | | |

$$C_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где $Z_{осн}$ - основная зарботная плата;

$Z_{доп}$ - дополнительная зарботная плата.

Основная зарботная плата ($Z_{осн}$) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле [49]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} + T_p$$

где $Z_{осн}$ - основная зарботная плата одного работника;

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

$Z_{дн}$ - среднедневная зарботная плата работника, руб.

Среднедневная зарботная плата рассчитывается по формуле [49]:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

где Z_m - месячный должностной оклад работника, руб.;

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

F_{∂} - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (табл.14).

Таблица 14 – 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 [50]:

$$Z_m = Z_{\sigma} \cdot k_p$$

где Z_{σ} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 15.

Таблица 15 – Расчёт основной заработной платы

| Исполнители | Z_{σ} , руб. | k_p | Z_m , руб. | $Z_{дн}$, руб. | Тр, раб. дн. | $Z_{осн}$,руб. |
|--------------|---------------------|-------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|
| Руководитель | 23760 | 1,3 | 30888 | 2231,9 | 155 | 345944,5 |
| Бакалавр | 18080 | 1,3 | 23504 | 1698,4 | 155 | 263252 |

4.3.4 Расчет дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 12-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы [49]:

$$Z_{доп} = kk_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где $Z_{доп}$ - дополнительная заработная плата, руб.;

$kk_{доп}$ - коэффициент дополнительной заработной платы (15% от $Z_{осн}$);

$Z_{осн}$ - основная заработная плата, руб.

Результаты расчета в таблице 15.

4.3.5 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:

$$Z_{внеб} = kk_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп})$$

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

На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 30% [50].

Результаты расчета в таблице 15.

4.3.6 Накладные расходы

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

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

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Результаты расчета в таблице 15.

4.3.7 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 [50].

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат на научно-исследовательский проект

| Наименование статьи | Сумма, руб. | | |
|---------------------------------------|-------------|---------|---------|
| | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
| Материальные затраты | 1040204 | 1042708 | 1045212 |
| Затраты на специальное оборудование | 38600 | 82400 | 82400 |
| Затраты на основной ЗП и исполнителей | 54392 | 54392 | 54392 |

| | | | |
|--|----------|-----------|-----------|
| Затраты по дополнительной ЗП исполнительской | 8158,8 | 8158,8 | 8158,8 |
| Отчисления во внебюджетные фонды | 18765 | 18765 | 18765 |
| Накладные расходы | 185619,2 | 193027,8 | 193428,4 |
| Бюджет затрат НИИ | 1345739 | 1399451,6 | 1402356,3 |

Как видно из таблицы 16 основные затраты НИИ приходятся на материальные затраты, включающие покупку дорогостоящего оборудования и приспособления для его работы.

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 по формуле [49]:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где $I_{\text{финр}}$ - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} - стоимость i -го варианта исполнения;

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

$$I_{\text{ф}}^{\text{исп}1} = 1345739/1402356,3 = 0,95$$

$$I_{\text{ф}}^{\text{исп}2} = 1399451,6/1402356,3 = 0,99$$

$$I_{\text{ф}}^{\text{исп}3} = 1402356,3/1402356,3 = 1$$

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Критерии \ Объект исследования | Весовой коэффициент параметра | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
|--|-------------------------------|-------|-------|-------|
| 1. Способствует росту производительности труда | 0,1 | 4 | 4 | 5 |
| 2. Удобство в эксплуатации | 0,15 | 2 | 4 | 5 |
| 3. Энергосбережение | 0,15 | 4 | 5 | 5 |
| 4. Надежность | 0,20 | 3 | 4 | 4 |
| 5. Воспроизводимость | 0,25 | 5 | 3 | 5 |
| 6. Материалоемкость | 0,15 | 4 | 4 | 3 |
| ИТОГО | 1 | | | |

$$I_{pr-исп1} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 2 + 0,15 \cdot 4 + 0,20 \cdot 3 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 3,8$$

$$I_{pr-исп2} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 = 3,9$$

$$I_{pr-исп3} = 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,20 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 = 4,5$$

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

$$I_{исп 1} = 3,8 / 0,95 = 4,00$$

$$I_{исп 2} = 3,9 / 0,99 = 3,94$$

$$I_{исп 3} = 4,5 / 1,00 = 4,50$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта [49]:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{исп.1}}}{t_{\text{исп.2}}}$$

Таблица 18 – Сравнительная эффективность разработки

| Показатели | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
|---|-------|-------|-------|
| Интегральный финансовый показатель разработки | 0,95 | 0,99 | 1,00 |
| Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 3,80 | 3,90 | 4,50 |
| Интегральный показатель эффективности | 4,00 | 3,94 | 4,50 |
| Сравнительная эффективность вариантов исполнения | 0,89 | 0,87 | 1 |

Из таблицы 18 можно видеть, что лучшим исполнением научно-технического исследования является исполнение 3, так как в данном исполнении лучшее обеспечение материалами и оборудованием, следовательно, достигается наибольшая эффективность проделанной работы. В результате проведенной работы была спроектирована и создана конкурентоспособная разработка, отвечающая современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

5 Социальная ответственность

Обеспечение безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности является очень важным аспектом любой деятельности. Для этого применяется комплекс мер, содержащий правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Объектом исследования данной работы является промышленная установка ЛК - 6УС ТОО «ПНХЗ», секция 200 – Каталитический риформинг.

Установка предназначена для получения высокооктанового компонента автомобильных бензинов и технического водорода. Водородсодержащий газ (технический водород) используется далее в качестве сырья установки производства водорода или в процессах гидроочистки топлив. Установка каталитического риформинга введена в эксплуатацию в 1978 году [4].

Результаты исследования, в частности оптимальные режимы работы реактора используются на ТОО «Павлодарский нефтехимический завод», г. Павлодар.

Для расчетов исследования работы, использовалась компьютерная модельная система «Контроль катализатора», созданная на кафедре химической технологии топливно-химической кибернетики Томского политехнического университета. Система основана на математической модели каталитического риформинга, которая принимает как физические, так и химические механизмы реакции конверсии углеводородной смеси, а также дезактивацию катализатора.

В разделе социальной ответственности рассмотрены вредные и опасные факторы рабочего места оператора установки риформинга. Контроль за технологическим процессом С-200 осуществляется централизованно из операторной с компьютера, на котором установлено соответствующее программное обеспечение информационной системы (ИС)

ЛК-6Ус использованием многоканальных измерительных преобразователей Ш-711.

Аппараты, такие как, реактора, колонны, теплообменники, конденсаторы-холодильники, сепараторы, емкости и фильтры находятся на открытых площадках, а также основная часть насосного и компрессорного оборудования расположены в отдельных производственных помещениях

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

На установке имеются следующие опасности и вредные производственные факторы:

- физические - повышенная загазованность рабочей зоны, движущиеся механизмы, повышенные давления, повышенная и пониженная температура поверхностей оборудования;

- химические - токсичность перерабатываемых продуктов и раздражающее воздействие на организм человека.

При работе с вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) условиями труда запрещается применение труда женщин.

Лицам, не достигших восемнадцатилетнего возраста, работа с вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) условиями труда запрещается.

При приеме на работу с вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) условиями труда проводится обязательные медицинские осмотры работников. [51]

Таким образом, при отнесении условий труда к вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) работникам, занятым на рабочем месте, которое относится к вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) должны предоставляться компенсации не ниже предусмотренных постановлением Правительства РФ от 20.11.2008 № 870 [52].

В соответствии с п. 1 данного постановления работникам, занятым на перечисленных видах работ, установлены следующие компенсации [52]:

- сокращенная продолжительность рабочего времени – не более 36 часов в неделю в соответствии со ст. 92 ТК РФ;
- ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск – не менее 7 календарных дней;
- повышение оплаты труда – не менее 4% тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.

5.2 Производственная безопасность

Таблица 19 – Опасные и вредные факторы по ГОСТ 12.0.003-2015

| Факторы | Этапы работ | | | Нормативные документы |
|--|-------------|--------------|--------------|---|
| | Разработка | Изготовление | Эксплуатация | |
| Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны | + | + | + | Параметры безопасности труда устанавливаются ГОСТ 12.4.011-89. |
| Превышение уровня шума | | + | + | ГОСТ 12.1.003–2014 Шум. Общие требования безопасности. |
| Недостаточная освещенность рабочей зоны | | + | + | СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение. |
| Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека | + | + | + | ГОСТ 12.1.019-2017 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. |
| Повышенная | | | | Инструкция по |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| температура поверхностей и оборудования | | + | + | оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве (утв. РАО "ЕЭС России" 21.06.2007). |
| Расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли(пола) | + | + | + | ПРИКАЗ №155н Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте. |
| Сосуды, работающие под давлением | + | + | + | Работа с сосудами под давлением устанавливается ПБ 03-576-03. |

Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

В соответствии с ГОСТ 31378-2009 [53] нефть и нефтепродукты представляет собой темную, горючую жидкость со специфическим запахом. Цвет и запах нефти обуславливается присутствием азотсодержащими, серосодержащими и кислородсодержащими компонентами.

Нефть и нефтепродукты содержат легкоиспаряющиеся вещества, опасные для здоровья и жизни человека.

Нефть относится, по степени воздействия на организм человека, относится к 3-му классу опасности в соответствии ГОСТ 12.1.007-76 [54].

Воздействие на организм человека:

Нефть и нефтепродукты при перекачке и отборе проб относится к 3-му классу опасности, ПДК аэрозоля нефти в воздухе рабочей зоны не более 10 мг/м³ [55].

При хранении и лабораторных испытаниях, нефть относится к 4-му классу опасности с ПДК по алифатическим предельным углеводородам C₁ – C₁₀ не более 300 мг/м³ [55].

Нефть и нефтепродукты содержат легкоиспаряющиеся вещества, опасные для здоровья и жизни человека, а также азотсодержащие, серосодержащие и кислородсодержащими компоненты.

Контакт с нефтью вызывает сухость кожи, пигментацию или стойкую эритему, приводит к образованию угрей, бородавок на открытых частях тела.

Острые отравления парами нефти вызывают повышение возбудимости центральной нервной системы, снижение кровяного давления и обоняния.

Предлагаемые средства защиты:

При работе с нефтью и нефтепродуктами применяют средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.011-89 [56], ГОСТ 12.4.103-83, ГОСТ 12.4.111-82, ГОСТ 12.4.112-82.

Для индивидуальной защиты в местах с концентрацией паров нефти, превышающей ПДК, применяют противогазы марки БКФ, шланговые противогазы марки ПШ-1 или аналогичные в соответствии с ГОСТ 12.4.034-2017.

Для защиты кожи рук применяют защитные рукавицы, мази и пасты по ГОСТ 12.4.068-79.

Для защиты глаз использовать очки типа ЭП2-80.

Для коллективной защиты от воздействия паров нефти помещения, в которых проводят работы, снабжены приточно-вытяжной вентиляцией с механическим побуждением, отвечающей требованиям ПБ 08624-03. В местах возможного выделения химических веществ в воздух рабочей зоны оборудованы местные вытяжные устройства.

Повышенный уровень шума на производстве

Основным источником шума является насосная внутренней перекачки (НВП), насосная магистральной перекачки (НМП), площадка печей трубчатых блочных (ПТБ). Нормирующими характеристиками постоянного шума на рабочих местах являются уровни звуковых давлений в октановых полосах 78 дБА со среднегеометрическими частотами 500 Гц.

А нормирующий уровень 80 дБА. Следовательно, уровень шума соответствует ГОСТ 12.1.003-2014 [56].

Основные организационные мероприятия по борьбе с шумом следующие [57]:

- размещения оборудования, являющегося источником шума, в отдельных помещениях;
- расположение цехов с повышенным уровнем шума в отделении от малошумных помещений;
- применение индивидуальных средств защиты от шума, проведение санитарно-профилактических мероприятий для рабочих, занятых на виброакустически активном оборудовании.

В качестве звукоизолирующих материалов применяют войлок, вату, асбест.

Средствами индивидуальной защиты являются ушные вкладыши, наушники.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Для нормализации визуальной обстановки в рабочих помещениях представляют собой осветительные проемы, фонари, прожекторы, защитные устройства.

Таблица 20 – Нормы освещенности рабочих мест по ГОСТ Р 55710-2013 [58]

| Наименование помещений, зрительной работы и вида деятельности | $E_{экс}$, лк | U_0 , не менее | R , не более | R_a , не менее | $K_{п}$, %, не более |
|---|----------------|------------------|----------------|------------------|-----------------------|
| Производственные процессы дистанционным управлением. | 50 | 0,4 | - | 20 | - |
| Процессы частичным применением ручного труда. | 150 | | 28 | 40 | |
| Постоянная ручная работа на производственных установках. | 300 | 0,6 | 22 | 80 | 20 |
| Лаборатории | 500 | | 16 | | 10 |

В производственных помещениях используется искусственное освещение. Для искусственного освещения используются люминесцентные лампы ЛБ – белого цвета или ЛТБ – тепло – белого цвета, мощностью 20,40,60 Вт. Согласно действующим санитарным нормам и правилам СНиП 23-05-95 [58] для искусственного освещения регламентирована наименьшая допустимая освещенность рабочих мест, а для естественного и совмещенного – коэффициент естественной освещенности (КЕО).

Рекомендуемая освещенность для работы с приборами КИПиА составляет 200 лк, а при работе с приборами КИП и А в сочетании с работой над документацией (ежечасная запись в журнале контроля параметров технологического процесса, работой с регламентом техпроцесса) – 400 лк [58].

Рекомендуемое значение яркости в поле зрения оператора должно лежать в пределах 2,5%.

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Для протекания непрерывного технологического процесса необходимо обеспечить его электробезопасным оборудованием, создать благоприятные условия труда для человека, связанного с электричеством.

При нарушении правил эксплуатации или неисправности электрооборудования возникает опасность воздействия электрического тока на человека. Электробезопасность обеспечивается в соответствии с ГОСТ 12.1.019-2017 [59] и относится к особо опасной категории.

Источниками электрической опасности являются:

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

Для защиты рабочих от токоведущих частей электроустановок предусматривается спецодежда: диэлектрические перчатки, обувь без

металлических набоек. Все ремонтные работы электрооборудования и электрических сетей проводить при отключенной электросети.

Электробезопасность работающего персонала должна обеспечиваться выполнением следующих мероприятий [59]:

- Соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей;
- Изоляция токопроводимых частей;
- Применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
- Использование предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
- Применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;
- Использование средств защиты и приспособлений.

Повышенная температура поверхностей и оборудования

Источником термической опасности в соответствии с инструкцией по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве [60] могут являться:

– соединительные магистрали передачи жидкостей, нагретых до высокой температуры; – нагретые поверхности узлов электрооборудования и гидрооборудования;

– опасность выплеска жидкости под высоким давлением. После контакта с данным видом термической опасности, вызывает у человека покраснение кожи, возникновение волдырей, повреждение слоя эпидермиса. Так же получение степени ожога (1,2,3,4). Для защиты рабочих от термической опасности изолируют трубные обвязки, установленные рядом с рабочим местом оператора.

Расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли(пола)

На основании Приказа №155н [62] работы, выполняемые на высоте более 2м, относятся к опасным производственным факторам. Аппараты, обслуживаемые на высоте, должны быть оснащены защитным ограждением.

При невозможности устройства ограждений работы должны выполняться с применением предохранительного пояса и страховочного каната.

Сосуды, работающие под давлением

В соответствии с ПБ 03-576-03 [62] к сосудам, работающим под давлением, относят герметически закрытые емкости для ведения технологических процессов, а также для хранения и перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов и жидкостей под давлением.

Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением распространяются на сосуды, работающие под давлением более $0,7 \text{ кг/см}^2$.

Сосуды, работающие под избыточным давлением, подлежат техническому освидетельствованию (наружному внутреннему осмотру каждые 2 года и гидравлическому испытанию раз в 8 лет).

На каждый сосуд, работающий под давлением, на видном месте должна быть прикреплена металлическая пластина с нанесёнными клеймами следующих паспортных данных:

– наименование или обозначение сосуда; – рабочее давление, МПа (кг/см^2); – расчётное давление, МПа (кг/см^2); – давление при гидроиспытании, МПа (кг/см^2); – допустимая максимальная и (или) минимальная рабочая температура стенки, °С.

Для управления работой и обеспечения безопасных условий эксплуатации сосуда должны быть оборудованы приборами контроля давления и температуры среды, предохранительными клапанами, запорной арматурой.

5.3 Экологическая безопасность

Нефтеперерабатывающая промышленность не является безотходным процессом. При переработке нефти так же возможны выбросы в атмосферу.

Экология переработки нефти включает в себя проблемы загрязнения атмосферы, гидросферы и литосферы.

Для промышленных объектов и производств, сооружений, являющихся источниками воздействия на среду обитания и здоровье человека устанавливаются следующие ориентировочные размеры санитарно-защитных зон:

- промышленный объект четвертого класса – 100 м.

Воздействие объекта на атмосферу

Основные источники загрязнения при переработке нефти это:

- диоксид азота;
- углерод черный (сажа);
- оксид углерода;
- метан;
- бензапирен.

Таблица 21 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест по ГН 2.1.6.1338-03 [63]

| Наименование вещества | Формула | Величина ПДК, мг/м ³ | | Класс опасности |
|-----------------------|--|---------------------------------|-----------------------|-----------------|
| | | Максимальная разовая | Средне суточная | |
| Оксид углерода | CO | 5 | 3 | 4 |
| Диоксид серы | SO ₂ | 0,5 | 0,1 | 3 |
| Диоксины | C ₁₂ H ₁₄ C ₁₄ O ₂ | - | 0,5 нг/м ³ | 1 |
| Оксид азота | NO ₂ | 0,085 | 0,04 | 2 |
| Дигидросульфид | H ₂ S | 0,008 | - | 3 |

С целью охраны воздушного бассейна, выполняются следующие технологические мероприятия, обеспечивающие минимальные выбросы в атмосферу:

- установка трубных расширителей на факельном газопроводе с целью исключения сгорания жидких фракций углеводородов на факеле;

- перед подачей газа на факела, использовать очистку газа от токсичных веществ.

Воздействие объекта на гидросферу

Загрязненные стоки на установке образуются за счет конденсации насыщенного водяного пара, используемого для пропарки оборудования, либо при отгрузке нефти.

Для предотвращения попадания вредных веществ в водоемы за пределы производственной площадки, предусмотрено [64]:

- обвалование площадок, где возможен разлив продукта; – дренажные емкости для сбора возможных разливов продукта и загрязнения при этом дождевых и талых вод и последующем отведением их в систему ППД для совместного использования в технологическом процессе.

Сточные воды канализации проходят механическую очистку и доочистку на биологических очистных сооружениях завода.

Воздействие объекта на литосферу:

На предприятии только в процессе глубокого обессоливания и обезвоживания нефти выделяется около 26-30 т. твердых солей и механических примесей, содержащих в своем составе до 35% смеси углеводородов и 35-60% воды.

Таким образом, нефтеперерабатывающее предприятие "вырабатывают" более 100т в сутки твердых, нефтесодержащих и пожароопасных отходов.

Таблица 22 – Утилизация твердых отходов [9]

| Наименование отхода | Место складирования, транспортировка | Периодичность образования | Место захоронения, утилизация |
|--------------------------------|---|---|---|
| Нефтешлам | Специально оборудованная площадка с контейнерами для сбора отходов. | Постоянно. Чистка и вывоз шлама с установки в период ремонта и чистки оборудования. | Вывоз на специально отведенное место для захоронения. |
| Люминесцентные ртутьсодержащие | В закрытой таре отдельно(гара | Периодически. | Отходы передают на пункт приема |

| | | | |
|--|---|---------------|--|
| трубки отработанные и брак | завода – изготовителя) | | ртутьсодержащих отходов на демеркуризацию (обезвреживание) |
| Прочие отходы нефтепродуктов, продуктов переработки нефти, угля, газа, горючих сланцев и торфа (Грунт, загрязненный нефтепродуктами) | Места накопления отсутствуют | Периодически. | Накопление не осуществляется. Сразу после образования вывозится для обезвреживания на шламонакопитель |
| Мусор от бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный) | В закрытой таре в смеси (контейнер V=0.7м ³ , 3 шт.) | 1 неделя | Накопление осуществляется в металлических контейнерах. По мере накопления вывозятся для захоронения на полигон ТБО |

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Нефтеперерабатывающая промышленность является объектом техногенной опасности, т.е. объектом, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют опасные химические вещества, при аварии на котором или при разрушении которого может произойти гибель или химическое заражение людей, растений, а также химическое заражение окружающей среды.

В таблице 23 приведены возможные аварийные ситуации и способы устранения [65].

Таблица 23 – Возможные виды аварийного состояния производства и способы их устранения

| | | |
|---|---|---|
| Возможные производственные аварийные ситуации | Причины возникновения производственных аварийных ситуация | Действия персонала по предупреждению и устранению |
|---|---|---|

| | | |
|---|--|---|
| | | производственных аварийных ситуаций |
| Взрывы, пожары, разгерметизация трубопровода | Несоблюдение режима ведения процесса, разгерметизация оборудования и трубопроводов, разлив взрывопожароопасных веществ | <ol style="list-style-type: none"> 1. Необходимо вызвать пожарную охрану и бригаду скорой помощи. 2. Включение звуковой аварийной сигнализации. 3. Перекрыть подачу теплоносителей. 4. Прекратить подачу сырья. 5. Сброс давления на факел. 6. Остановка остального оборудования. |
| Протечки в запорнорегулирующей арматуре или в аппаратах | Разгерметизация запорно-регулирующей арматуры или аппаратов | <ol style="list-style-type: none"> 1. Сообщить начальнику цеха или мастеру установки; 2. Ликвидация протечек с остановкой оборудования (если не возможно устранить по другому). 3. Ликвидировать протечки без остановки оборудования. |
| Сбой системы электроснабжения | Неполадки в системе электроснабжения | <ol style="list-style-type: none"> 1. Сообщить начальнику цеха или мастеру установки; 2. Перекрыть подачу топлива к горелкам печей. 3. Подать у пара на паровую завесу печей. 4. Проконтролировать отключение всего насосно-компрессорного оборудования. |
| Увеличение содержания нефтепродуктов в подтоварной воде | Низкий уровень раздела фаз | <ol style="list-style-type: none"> 1. Поднять уровень раздела фаз в соответствии с НТР. 2. Проверить работу регуляторов уровня в аппарате. |
| Унос сырья | Превышение уровня сырья аппарате | <ol style="list-style-type: none"> 1. Отрегулировать уровень сырья в аппарате в соответствии с НТР. 2. Проверить работу отсечного клапана. |
| Повышенная вибрация насоса | Неправильная центровка электродвигателя с насосом | Отцентрировать насос. |
| Давление на приеме насоса | 1. Нарушение режима | 1. Отрегулировать режим |

| | | |
|------------|--|--|
| ниже нормы | сепарации. 2. Засорен фильтр входного трубопровода. 3. Неисправность или неполное открытие задвижки. | сепарации; 2. Очистить сетку. 3. Открыть задвижку, отремонтировать задвижку. |
|------------|--|--|

Пожарная безопасность

Причины возникновения пожаро-взрывоопасной ситуации:

- Разгерметизация трубопроводов в местах соединения;
- Проведение огневых работ без первичных средств пожаротушения;
- Разгерметизация оборудования с возгоранием;
- Большое количество резервуаров, емкостей и аппаратов, в которых имеются пожароопасные продукты под высоким давлением и высокой температуре, разветвленная сеть технологических трубопроводов с многочисленной запорно-пусковой и регулирующей арматурой и контрольно-измерительными приборами;
- Высокая теплота сгорания веществ и материалов [66].

В свою очередь, пожары, взрывы и аварийная загазованность могут быть следствием возникновения следующих аварийных ситуаций:

- Использование неисправного оборудования;
- Нарушение технологического режима;
- Пуск неисправной технологической линии (аппарата) установки;
- Нарушение правил ремонтных работ.

Здания, сооружения, помещения, технологические установки должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения: огнетушителями, ящиками с песком, асбестовое полотно, грубошерстная ткань, войлок (кошма), пожарными ведрами, совковыми лопатами, штыковыми лопатами, пожарным инструментом (крюками, ломы, топорами и т.п.), которые используются для локализации и ликвидации пожаров в начальной стадии их развития.

Вывод по разделу социальная ответственность

В данной главе выпускной квалификационной работы были рассмотрены вредные и опасные производственные факторы комбинированной установки ЛК - БУС ТОО «ПНХЗ», оказывающие влияние на здоровье человека, а также нормативные документы, регулирующие их воздействие на человека.

Были описаны мероприятия по снижению уровня воздействия этих факторов, влияние технологического процесса на экологическую безопасность. Также были выявлены возможные виды аварийного состояния объекта, поэтому предусмотрены способы их устранения.

Заключение

Для исследований данной работы применялась компьютерная моделирующая программа «Контроль катализатора», которая была создана в Томского политехнического университета. Посредством этой программы выполнялись все расчеты, а также мониторинг процесса каталитического риформинга.

Объект исследования данной работы — промышленная установка каталитического риформинга.

Установка предназначена для получения высокооктанового компонента автомобильных бензинов и технического водорода. Водородсодержащий газ (технический водород) в дальнейшем применяется как сырье установки производства водорода или для гидроочистки топлив. Дата ввода установки каталитического риформинга в эксплуатацию — 1978 год [4].

Результаты исследования, в частности оптимальные режимы работы реактора, используются на ТОО «Павлодарский нефтехимический завод», г. Павлодар.

При проведении предварительного мониторинга работы установки отдельно взятого сырья и при анализе результатов было замечено, что текущая активность сырья в течение всего периода исследования отличается в среднем лишь на 20% от оптимальных показателей, а это значит, что установка функционирует в режиме, который максимально близок к оптимальному.

Чтобы оценить меру влияния изменения технологических характеристик и состава входного сырья на результаты эксплуатации установки в целом, учитывались различные параметры процесса. В результате получены данные о том, что с повышением температуры октановое число, рассчитанное по исследовательскому методу, также повышается. Так происходит из-за того, что рост температуры обуславливает образование ароматических углеводородов, а выход риформата снижается при повышении температуры. Это явление — следствие того, что влияние реакций гидрокрекинга значительно возрастает при повышении температуры.

Повышение расхода сырья негативно воздействует на выход ароматических углеводородов и октановое число катализата. Такой вывод можно сделать, изучив воздействие расхода сырья на процесс риформинга.

Математическая модель и компьютерная программа, созданная на ее принципах, чрезвычайно удобны для решения многих технологических

задач, что демонстрируют расчеты, выполненные в ходе исследования. В представленном в работе исследовании было изучено влияние различных технологических критериев на протекание каталитического риформинга.

Подбор идеальных технологических условий для функционирования катализатора, которые помогут получить наилучшие результаты от его эксплуатации, является задачей, зависящей от множества важных моментов, в первую очередь, от реакционной способности углеводородов – компонентов сырья.

Также проведена оценка конкурентоспособности процесса риформинга. Подготовлен перечень этапов работ и просчитана их трудоемкость, также сформирован календарный план-график, составленный таким образом, чтобы до защиты ВКР осталось достаточно времени для подготовки (около 2 недель). Рассчитан предварительный бюджет, необходимый для проведения научной разработки. Кроме того, осуществлена оценка результативности научного исследования с точки зрения сбережения ресурсов и сравнительная эффективность разработки. Осуществлен анализ вредных воздействий в условиях рабочего места и на производственных мощностях. С целью уменьшения количества неорганизованных выбросов предложены различные меры, направленные на охрану окружающей среды.

Список использованных источников

1. Ахметов С.А., Ишмияров М.Х., Кауфман А.А. Технология переработки нефти, газа и ТГИ. – П.: Недра, 2009. – 832 с.
2. Эрих В.Н., Расина М.Г. Химия и технология нефти и газа. Л.: Химия, 2010. – 368 с.
3. Маслянский Г.Н., Шапиро Р.Н. Каталитический риформинг бензинов. Химия и технология. Л.: Химия, 1985. — 213 с.
4. Технологический регламент ТОО «ПНХЗ» комбинированной установки ЛК - БУС ТОО «ПНХЗ». Секция 200 – Каталитический риформинг. № П1-02.02 СП-301 ТР-1-2-13.
5. Баннов П.Г. Процессы переработки нефти. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2000. – 224 с.
6. Гаранин Д.И. Каталитический риформинг бензиновых фракций. Основы теории, эксплуатация и интенсификация процесса. Краснодар:НАФТ, 1996. — 90 с.
7. Магарил Р.З. Теоретические основы химических процессов переработки нефти: Учебное пособие для вузов. – Л.:Химия, 1985, 280 с.
8. Gyngazova, M.S. Kinetic model of the catalytic reforming of gasolines in moving-bed reactors / M.S. Gyngazova, A.V. Kravtsov, E.D. Ivanchina, M.V. Korolenko, et. al. // Catalysis in industry. – 2010. – V. 2, No. 4. – P. 374–380.
9. Barbier J. Deactivation of reforming catalysts by coking – a review // Appl Catal 1986;23:225–43.
10. Mazzieri VA, Pieck CL, Vera CR, Yori JC, Grau JM. Analysis of coke deposition and study of the variables of regeneration and rejuvenation of naphtha reforming trimetallic catalysts // Catal Today 2008;133–135:870–8.
11. Zhu X, Li Q, He Y, Cong Y, Yang W. Oxygen permeation and partial oxidation of methane in dual-phase membrane reactors // Mem Sci 2010;360:454–60.

12. Pereira CSM, Silva VMTM, Pinhob SP, Rodrigues AE. Batch and continuous studies for ethyl lactate synthesis in a pervaporation membrane reactor // *Mem Sci* 2010;36:43–55.
13. Teixeira M, Madeira LM, Sousa JM, Mendes A. Modeling of a catalytic membrane reactor for CO removal from hydrogen streams – a theoretical study // *Hydrogen Energy* 2010;35:11505–13.
14. Rahimpour MR, Rahmani F, Bayat M. Contribution to emission reduction of CO₂ by a fluidized-bed membrane dual-type reactor in methanol synthesis process // *Chem Eng Process* 2010;49:589–98.
15. Rahimpour MR, Mazinani S, Vaferi B, Baktash MS. Comparison of two different flow types on CO removal along a two-stage hydrogen permselective membrane reactor for methanol synthesis // *Appl Energy* 2011;88:41–51.
16. Boyas RS, Froment GF. Fundamental kinetic modeling of catalytic reformer // *Ind Eng Chem Res* 2009;48:1107–19.
17. Chen Z, Yan Y, Elnashaie S. Catalyst deactivation and engineering control for steam reforming of higher hydrocarbons in a novel membrane reformer // *Chem Eng Sci* 2004;59:1965–78.
18. Bartholomew CH. Mechanisms of catalyst deactivation // *Appl Catal A* 2001;212:17–60.
19. Saxena AK, G Das, Goyal HB, Kapoor VK. Simulation and optimisation package for semi-regenerative catalytic reformer // *Hydrocarbon Technol* 1994:71–83 15th August..
20. Vathi GP, Chaughuri KK. Modelling and simulation of commercial catalytic naphtha reformers // *Can J Chem Eng* 1997;75:930–7.
21. Padmavathi G, Chaudhuri KK. Modeling and simulation of commercial catalytic naphtha reformers // *Can J Chem Eng* 1997;75:930.
22. Wang L, Zhang Q, Liang C. A 38-lumped kinetic model for reforming reaction and its application in continuous catalytic reforming // *CIESC J* 2012.
23. Hu S, Zhu XX. Molecular modeling and optimization for catalytic reforming // *Chem Eng Commun* 2004;191:500–12.

24. Krane H, Groh A, Schulman B, Sinfelt J. Reactions in catalytic reforming of naphthas // In: Proceedings of the fifth world petroleum congress, Section III; 1959
25. Henningsen J, Bundgaard-Nielson M. Catalytic reforming // Brit Chem Eng 1970;15:1433–6.
26. Marin GB, Froment GF, Lerou JJ, De Backer W. Simulation of a catalytic naphtha reforming unit // E.F.C.E. Publication series No. 27, VOL. II, Cl 17, Paris; 1983.
27. Smith R. Kinetic analysis of naphtha reforming with platinum catalyst // Chem Eng Prog 1959;55:76–80.
28. Jenkins JH, Stephens TW. Kinetics of cat reforming // Hydrocarbon Proc 1980;1:163.
29. Patil CS, Annaland MVS, Kuipers JAM. Design of a novel autothermal membrane-assisted fluidized-bed reactor for the production of ultra-pure hydrogen from methane // Ind Eng Chem Res 2005;44:9502–12.
30. Mee A. Coupling of steam and dry reforming of methane in catalytic fluidized bed membrane reactors // Int J Hydrogen Energy 2004;29:799–808.
31. Rahimpour MR. Enhancement of hydrogen production in a novel fluidizedbed membrane reactor for naphtha reforming // Int J Hydrogen Energy 2009;34:2235–51.
32. Iranshahi D, Pourazadi E, Bahmanpour AM, Rahimpour MR. A comparison of two different flow types on performance of a thermally coupled recuperative reactor containing naphtha reforming process and hydrogenation of nitrobenzene // Int J Hydrogen Energy 2011;36:3483–95.
33. Rahimpour MR, Iranshahi D, Pourazadi E, Paymooni K, Bahmanpour AM. The aromatic enhancement in the axial-flow spherical packed-bed membrane naphtha reformers in the presence of catalyst deactivation // AIChE 2011;57:3182–98.
34. Rahimpour MR, Iranshahi D, Pourazadi E, Paymooni K. Enhancement in research octane number and hydrogen production via dynamic optimization of a

novel spherical axial-flow membrane naphtha reformer // *Ind Eng Chem Res* 2012;51:398–409.

35. Choudhary VR, Mulla SAR, Rane VH. Coupling of exothermic and endothermic reactions in oxidative conversion of ethane to ethylene over alkaline earth promoted La_2O_3 catalysts in presence of limited O_2 // *Appl Energy* 2000;66:51–62.

36. Haensel V. US Patent 2,479,101, UOP; 1949.

37. Borgna A, Garetto TF, Apesteguia CR, Moraweck B. Formation of bimetallic alloys in naphtha reforming Pt–Ge/ Al_2O_3 catalysts: an EXAFS study // *Appl Catal A* 1999;182:189–97.

38. D’Ippolito SA, Vera CR, Epron F, Samoila P, Especel C, Mare’cot P, et al. Influence of tin addition by redox reaction in different media on the catalytic properties of Pt–Re/ Al_2O_3 naphtha reforming catalysts // *Appl Catal A* 2009;370:34–41.

39. Pieck CL, Vera CR, Parea JM, Gimenez GN, Sera LR, Carvalho LS, et al. Metal dispersion and catalytic activity of trimetallic Pt–Re–Sn/ Al_2O_3 naphtha reforming catalysts // *Catal Today* 2005;107–108:637–42.

40. Benitez VM, Vera CR, Rangel MC, Yori JC, Grau JM, Pieck CL. Modification of multimetallic naphtha-reforming catalysts by indium addition // *Ind Eng Chem Res* 2008;48:671–6.

41. Carvalho L, Pieck CL, Rangel MC, Figoli NS, Grau JM, Reyes P, et al. Trimetallic naphtha reforming catalysts. I. Properties of the metal function and influence of the order of addition of the metal precursors on Pt–Re–Sn/ γ - Al_2O_3 -Cl // *Appl Catal A* 2004;269:91–103.

42. Klusdahl HE. US Patent 3,415,737; 1968.

43. Baghalha M, Mohammadi M, Ghorbanpour A. Coke deposition mechanism on the pores of a commercial Pt–Re/c- Al_2O_3 naphtha reforming catalyst // *Fuel Proces Technol* 2010;91:714–22.

44. Raffinage CFD. French Patent 2,031,984; 1969.

45. McCallister KR, O’Neal TP. French Patent 2,078,056, UOP; 1971.

46. Sinfelt JH. US Patent 3,953,368, Exxon, 1976.
47. Antos GJ. US Patent 4,032,587; 1976.
48. Boutzeloit M, Benitez VM, Mazzieri VA, Especel C, Epron F, Vera CR, et al. Effect of the method of addition of Ge on the catalytic properties of Pt–Re/Al₂O₃ and Pt–Ir/Al₂O₃ naphtha reforming catalysts // Catal Commun 2006;7:627–32.
49. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2014. – 73 с.
50. Федеральный закон Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда».
51. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018).
52. Постановление Правительства РФ от 20.11.2008 N 870 (ред. от 28.06.2012) "Об установлении сокращенной продолжительности рабочего времени, ежегодного дополнительного оплачиваемого отпуска, повышенной оплаты труда работникам, занятым на тяжелых работах, работах с вредными и (или) опасными и иными особыми условиями труда".
53. ГОСТ 31378 – 2009. Нефть. Общие технические условия.
54. ГОСТ 12.1.007 – 76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
55. ГН 2.2.5.1313 – 03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
56. ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
57. СП 51.13330.2011. Защита от шума.
58. ГОСТ Р 55710-2013 «Естественное и искусственное освещение».
59. ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

60. В. Г. Бубнов, Н. В. Бубнова. Инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве. Утверждена ОАО РАО "ЕЭС России" 21.06.2007 г.

61. Горячев С.А., Клубань В.С. Пожарная профилактика технологических процессов производств. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1983.

62. ПБ 03-576-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением».

63. ГН 2.1.6.1338–03. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

64. ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.

65. ГОСТ Р 22.9.22. – 2014. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

66. ГОСТ 12.1.004. – 91. Пожарная безопасность. Общие требования.

Приложение А

Таблица А1 – Исследование влияния состава сырья

| | Сырье1 | Сырье2 | Сырье3 | Сырье4 | Сырье5 | Сырье6 | Сырье7 |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ОЧМ | 85,3 | 86,7 | 85,5 | 89,7 | 88,8 | 88,3 | 88,4 |
| ОЧИ | 95 | 96,1 | 95,3 | 97,1 | 95,7 | 94,9 | 95 |
| Выход риформата, % мас. | 82,4 | 82,6 | 83,7 | 81,3 | 83,5 | 85,7 | 83,3 |

Приложение Б

Таблица Б1 – Влияние температуры на ОЧИ

| Температура, °С | 480 | 485 | 490 | 495 | 500 | 505 | 510 | 515 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Сырье1 | 94,1 | 95,1 | 96,1 | 97,2 | 98,3 | 99,3 | 100,4 | 101,6 |
| Сырье2 | 94,8 | 95,6 | 96,6 | 97,5 | 98,5 | 99,5 | 100,6 | 101,6 |
| Сырье3 | 91,1 | 91,7 | 92,3 | 93 | 93,7 | 94,4 | 95,1 | 95,8 |

Таблица Б2 – Влияние температуры на выход риформата

| Температура, °С | 480 | 485 | 490 | 495 | 500 | 505 | 510 | 515 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Сырье1 | 82,97 | 82,3 | 81,64 | 80,9 | 80,18 | 79,52 | 78,96 | 78,38 |
| Сырье2 | 83,4 | 82,83 | 82,09 | 81,41 | 80,77 | 80,11 | 79,48 | 78,94 |
| Сырье3 | 89,37 | 88,78 | 88,17 | 87,56 | 86,89 | 86,24 | 85,51 | 84,81 |

Таблица Б3 – Влияние температуры на степень ароматизации

| Температура, °С | 480 | 485 | 490 | 495 | 500 | 505 | 510 | 515 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Сырье1 | 14,83 | 17,02 | 19,32 | 21,87 | 24,53 | 27,23 | 29,92 | 32,87 |
| Сырье2 | 11,93 | 13,91 | 16,28 | 18,65 | 21,07 | 23,65 | 26,36 | 29,07 |
| Сырье3 | 0,55 | 2,08 | 3,72 | 5,41 | 7,23 | 9,06 | 11,06 | 13,08 |

Таблица Б4 – Влияние температуры на степень изомеризации

| Температура, °С | 480 | 485 | 490 | 495 | 500 | 505 | 510 | 515 |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Сырье1 | 44 | 45 | 46 | 47 | 47 | 46 | 44 | 40 |
| Сырье2 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 44 | 43 | 40 |
| Сырье3 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 54 | 55 |

Приложение В

Таблица В1 – Влияние скорости подачи сырья на ОЧИ

| Скорость, м ³ /ч | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Сырье1 | 98,6 | 97,8 | 97,2 | 96,6 | 96,0 | 95,5 | 95,0 | 94,5 | 94,1 |
| Сырье2 | 97,2 | 96,5 | 96,0 | 95,5 | 95,0 | 94,6 | 94,2 | 93,8 | 93,5 |
| Сырье3 | 99,6 | 99,1 | 98,6 | 98,1 | 97,6 | 97,2 | 96,8 | 96,4 | 96,1 |

Таблица В2 – Влияние скорости подачи сырья на выход риформата

| Скорость, м ³ /ч | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Сырье1 | 77,32 | 78,36 | 79,32 | 80,19 | 81,00 | 81,72 | 82,37 | 83,03 | 83,58 |
| Сырье2 | 79,94 | 80,93 | 81,81 | 82,58 | 83,34 | 83,96 | 84,53 | 85,04 | 85,51 |
| Сырье3 | 77,73 | 78,63 | 79,53 | 80,38 | 81,17 | 81,91 | 82,6 | 83,23 | 83,81 |

Таблица В3 – Влияние скорости подачи сырья на степень ароматизации

| Скорость, м ³ /ч | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Сырье1 | 26,47 | 24,32 | 22,43 | 20,51 | 19,27 | 17,97 | 16,81 | 15,66 | 14,72 |
| Сырье2 | 18,37 | 16,57 | 15,02 | 13,66 | 12,37 | 11,30 | 10,33 | 9,45 | 8,64 |
| Сырье3 | 25,76 | 23,84 | 21,98 | 20,28 | 18,76 | 17,37 | 16,11 | 14,99 | 13,97 |

Таблица В4 – Влияние скорости подачи сырья на степень изомеризации

| Скорость, м ³ /ч | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 |
|--------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Сырье1 | 46 | 46 | 45 | 45 | 45 | 45 | 44 | 44 | 42 |
| Сырье2 | 44 | 43 | 42 | 42 | 41 | 41 | 41 | 40 | 40 |
| Сырье3 | 56 | 56 | 55 | 55 | 55 | 55 | 54 | 54 | 52 |

Приложение Г

Таблица Г1 - Анализ активности работы катализатора

| | Сырье1 | Сырье2 | Сырье3 | Сырье4 | Сырье5 | Сырье6 | Сырье7 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Текущая активность, отн.ед. | 0,96 | 0,89 | 0,61 | 0,63 | 0,63 | 0,65 | 0,52 |
| ОЧМ | 86,7 | 86,3 | 88,6 | 89,6 | 88,8 | 88,3 | 88,4 |
| ОЧИ | 96,2 | 95,7 | 95,3 | 97,1 | 95,7 | 94,9 | 95 |
| Выход риформата, % масс. | 81,57 | 82,8 | 83,65 | 81,42 | 83,54 | 84,73 | 83,3 |
| Кокс на катализаторе, % масс. | 0,14 | 1,27 | 8,30 | 6,53 | 9,17 | 10,77 | 2,34 |
| Переработанное сырье, т | 11838 | 148703 | 881495 | 530711 | 923831 | 952559 | 281231 |
| Оптимальная активность, отн.ед. | 0,9 | 0,85 | 0,59 | 0,5 | 0,59 | 0,66 | 0,52 |
| ОЧМ | 85,2 | 85,4 | 88,2 | 87,1 | 88 | 85,5 | 88,4 |
| ОЧИ | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 |
| Выход риформата, % масс. | 82,4 | 83,4 | 84,0 | 83,8 | 84,3 | 85,6 | 83,3 |
| Кокс на катализаторе, % масс. | 0,10 | 1,05 | 7,63 | 3,56 | 7,31 | 11,24 | 2,34 |