

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической
технологии, нефтехимии и биотехнологии
Отделение школы (НОЦ) Общей химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Математическое моделирование процесса дезактивации катализатора гидроочистки дизельного топлива

УДК 665.753.4:665.658.2.097.3:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Машнич Вероника Викторовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Кривцова Н.И.	К.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Рыжакина Т.Г.	К.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент отделения общетехнических дисциплин ШБИП	Немцова О.А.	Инженер		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение химической инженерии, Доцент	Юрьев Е.М.	К.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ООП 18.03.02)

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
Р1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК- 1,2,3,14,16,17,18), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
Р2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК- 4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
Р3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11 ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
Р4	Проектировать и использовать энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК- 8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22, ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
Р6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,7,10,12,13,14,17 ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
Общекультурные компетенции		
Р7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК- 1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
Р8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК- 6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
Р9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК- 11) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
Р10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК- 3,4,5,12), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

	катализатора. Заключение. Финансовый менеджмент. Социальная ответственность. Список использованных источников.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Нет
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент кафедры менеджмента, к.э.н., Рыжакина Т.Г.
Социальная ответственность	Ассистент отделения общетехнических дисциплин ШБИП, Немцова О.А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
<ul style="list-style-type: none"> - Введение - Обзор литературы - Объект и методы исследования - Результаты проведенного исследования - Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение - Социальная ответственность - Заключение - Список использованных источников 	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.01.2018 г.
---	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Кривцова Н.И.	К.т.н., доцент		15.01.18 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Машнич В.В.		15.01.18 г.

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки (специальность) 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

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

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
1.03.18	Введение	
7.03.18	Сбор информации и анализ литературы	
10.04.18	Эксперимент, обсуждение результатов	
1.05.18	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
10.05.18	Социальная ответственность	
20.05.18	Заключение	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Кривцова Н.И.	К.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение химической инженерии, Доцент	Юрьев Е.М.	К.т.н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2К4А	Машнич Веронике Викторовне

Школа	ИШПР	Отделение	Общей химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</p>	<p>1. Потенциальные потребители результатов исследования</p> <p>2. Анализ конкурентных технических решений</p> <p>3. SWOT-анализ</p>
<p>2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</p>	<p>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий</p>
<p>3. Планирование и формирование бюджета научных исследований</p>	<p>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ</p>
<p>4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</p>	<p>Проведение оценки экономической эффективности исследования моделирования процесса дезактивации катализаторов гидроочистки дизельного топлива</p>

Перечень графического материала:

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ
6. Сравнительная эффективность разработки

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**Задание выдал консультант:**

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Машнич Вероника Викторовна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2К4А	Машнич Веронике Викторовне

Школа	ИШПР	Отделение	Общей химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Энего и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – промышленная установка гидроочистки дизельного топлива ООО «КИНЕФ». Состав сырья и продуктов, технологические режимы установки.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>5.1. Производственная безопасность</p> <p>5.1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>5.1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>5.1.1. Анализ вредных факторов</p> <p>5.1.1.1. Недостаточная освещенность рабочей зоны</p> <p>5.1.1.2. Повышенный уровень шума. Повышенный уровень вибрации</p> <p>5.1.1.3. Отклонение показателей микроклимата в помещении</p> <p>5.1.1.4. Утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу</p> <p>5.1.2 Выявление опасных факторов при разработке и эксплуатации установки:</p> <p>5.1.2.1. Механические опасности (компрессоры, насосы подачи дизельной фракции, водородсодержащего газа, пневматические приводы задвижек, вспомогательная техника)</p> <p>5.1.2.2. Термические опасности (аппараты и трубопроводы с высокой температурой)</p> <p>5.1.2.3. Электробезопасность (статическое электричество);</p> <p>5.1.2.4. Пожаровзрывобезопасность (разгерметизация аппаратов и трубопроводов, пролив горючих жидких продуктов, выброс парогазовой, взрывоопасной среды).</p>
---	---

<p>5.2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>5.2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду. Основными загрязнителями атмосферы на производстве являются:</p> <ul style="list-style-type: none"> – углеводородные газы, – пары дизельного топлива, – пары бензина, – пары моноэтаноламина, – сероводород, – сернистый ангидрид – окислы азота <p>5.2.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Полностью исключён сброс сточных вод в водоем. – Влияние на литосферу (отходы): не подлежащий регенерации катализатор. – Разработаны решения по обеспечению экологической безопасности.
<p>5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>5.3.1. Перечень возможных ЧС:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. прекращение подачи сырья на установку; 2. прекращение подачи свежего ВСГ; 3. остановка циркуляционного компрессора; 4. прекращение подачи электроэнергии; 5. разгерметизация аппаратов и трубопроводов, работающих под давлением; 6. нарушение в системах канализации.
<p>5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>К нормативным актам, регулирующим вопросы охраны труда, в первую очередь относится Трудовой кодекс Российской Федерации. Для обеспечения безопасности на рабочем месте нужно руководствоваться санитарными нормами и правилами, где описываются требования к микроклимату, освещению, уровням шума и вибрации. А также ГОСТами, в которых изложена система стандартов безопасности труда.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент отделения общетехнических дисциплин ШБИП	Немцова Ольга Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Машнич Вероника Викторовна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 124 с., 20 рисунков, 28 таблиц, 45 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: дизельное топливо, гидроочистка, серосодержащие соединения, катализатор, активность, дезактивация.

Объектами исследования являются дизельное топливо с промышленной установки гидроочистки Л-24-10/2000, катализаторы HR 945 и HR 538 1.6.

Цель работы – исследование дезактивации катализаторов гидроочистки дизельного топлива по данным с промышленной установки.

В процессе исследования были рассчитаны активность и дезактивация катализаторов и изучено влияние температуры на данные параметры для выявления возможностей катализаторов при дальнейшей эксплуатации.

В результате исследования определены оптимальные условия эксплуатации установки, при которых активность катализатора будет наивысшей.

Область применения: нефтеперерабатывающие предприятия, на которых реализован процесс гидроочистки дизельного топлива.

Экономическая эффективность работы основана на повышении эксплуатационных свойств катализатора гидроочистки и гидроочищенного дизельного топлива, а также его экологической чистоты.

В будущем планируется написание математической модели гидроочистки и компьютерной моделирующей системы с целью повышения точности рассчитываемых параметров, а также внедрение данного программного обеспечения в сфере улучшения технологии гидроочистки дизельного топлива.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	15
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	17
1.1 Химизм процесса гидроочистки	17
1.2 Реакции гидроочистки	19
1.3 Параметры процесса	25
1.4 Катализаторы	30
1.4.1 Активация катализатора	32
1.4.2 Стабильная активность катализатора	34
1.4.3 Дезактивация катализаторов гидроочистки дизельных топлив	35
1.4.4 Регенерация катализаторов гидроочистки	37
1.4.5 Активность контактных масс	38
2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	41
2.1 Характеристика объекта исследования	41
2.2 Катализаторы процесса	42
2.3 Описание технологической схемы каталитической установки гидроочистки дизельного топлива	45
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	48
3.1 Оценка стабильности и расчет скорости дезактивации	48
3.2 Обсуждение результатов исследования	50
3.3 Прогноз активности катализатора	61
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	62
4.1 Предпроектный анализ	62
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	63
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	64
4.1.2.1 Анализ компаний, производителей реагентов	64
4.1.2.2 Анализ конкурентных технических решений	66
4.1.3 SWOT-анализ	69
4.2 Структура работ в рамках научного исследования	74

4.2.1 Оценка готовности проекта к коммерциализации	75
4.2.2 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	77
4.3 Инициация проекта	78
4.3.1 Организационная структура проекта	78
4.4. Планирование научно-исследовательских работ	79
4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования	79
4.4.2. План проекта	81
4.3 Расчет материальных затрат НТИ	83
4.3.1 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	83
4.4 Накладные расходы	87
4.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ..	87
4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	88
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	93
Введение	93
5. 1 Производственная безопасность	94
5.1.1 Анализ вредных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования	94
5.1.1.1 Недостаточная освещенность рабочей зоны	96
5.1.1.2 Повышенный уровень шума	97
5.1.1.3 Повышенный уровень вибрации	98
5.1.1.4 Отклонение показателей микроклимата в помещении.....	99
5.1.1.5 Утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу.....	100
5.1.2 Анализ опасных факторов производственной среды	101
5.1.2.1 Механические опасности	101
5.1.2.2 Термические опасности.....	102
5.1.2.3 Электрический ток.....	102
5.1.2.4 Пожаровзрывобезопасность.....	103
5.3 Экологическая безопасность	105

5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду ...	105
5.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	106
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	108
5.4.1. Анализ вероятных ЧС. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	108
5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	111
Заключение	113
Список литературы	115
Приложение А	119
Приложение Б	120
Приложение Б	124

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции в нефтедобыче и на рынке топливных продуктов ставят перед отраслью грандиозные задачи. Чтобы решить их нефтеперерабатывающие предприятия должны строить свою деятельность с учётом следующих главных аспектов [1]:

1. увеличение производительности для удовлетворения растущего спроса на топливные продукты;
2. повышение требований к качеству конечных продуктов
3. значительное ухудшение качества сырья

Все эти обстоятельства вынуждают предварительно облагораживать нефти, чтобы иметь возможность перерабатывать их в больших объемах. Гидропереработка отлично помогает решить эту сложную задачу.

Одним из важнейших процессов в нефтеперерабатывающей промышленности, не только улучшающий качество нефти и тяжелых сортов, но и дающий топливные продукты с низким содержанием примесей, а также сырье для других процессов переработки является каталитическая гидроочистка.

По ряду технических причин сырые продукты нельзя сразу же использовать в качестве моторных топлив: во – первых, они содержат слишком много примесей, а также ароматических соединений, во – вторых, бензиновая и дизельная фракции имеют слишком низкие соответственно октановые и цетановые числа. Сырые продукты превращают в товарные посредством различных процессов облагораживания. В этом контексте гидроочистка играет главную роль, причём на нескольких этапах нефтепереработки.

Благодаря росту спроса на моторное топливо и ужесточение законов об охране природы процесс гидроочистки приобретает все большее значение.

Целью дипломной работы является исследование активности и дезактивации катализатора гидроочистки дизельного топлива при влиянии температуры процесса.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Анализ данных с промышленной установки гидроочистки дизельного топлива ООО «КИНЕФ».

2. Расчет активности и дезактивации катализаторов, исследование влияния температуры процесса. Прогнозирование дальнейшей работы катализатора, возможные способы регенерации.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Гидроочистка - это процесс каталитической стабилизации нефтепродуктов, предусматривающий превращение олефинов в парафины или удаление нежелательных компонентов из сырья или продуктов путем их реакции с водородом. Стабилизация обычно подразумевает превращение в парафины таких ненасыщенных углеводородов, как олефины и смолообразующие нестабильные диолефины [1]. К нежелательным компонентам, удаляемым гидроочисткой, относится сера, азот, кислород, галоиды и следовые металлы.

Гидроочистку применяют к сырью широкой номенклатуры: от бензиновых фракций до остатков. Если процесс используется специально для удаления серы, его называют гидрообессериванием. Для соответствия экологическим нормам может потребоваться также гидрирование ароматических колец в целях снижения содержания ароматических углеводородов путем превращения их в парафины.

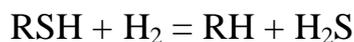
1.1 Химизм процесса гидроочистки

Гидрирование олефинов и гидросульфирование сернистых соединений, гидродеазотирование и гидродеоксидирование, гидродеметаллирование и деструкцию молекул углеводородов (гидрогенолиз) – протекание данных реакций должно отражаться в функциях катализаторов гидроочистки [2].

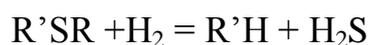
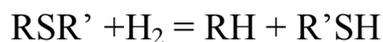
В процессе гидроочистки протекают реакции конденсации ароматических и непредельных молекул углеводородов, образуя кокс, который снижает активность катализатора, отлагаясь на его поверхности. Основные химические реакции, протекающие в присутствии катализаторов гидроочистки нефтяных фракций представлены ниже.

Серусодержащие соединения, имеющиеся в нефтепродукте, подвергаются в процессе гидроочистки следующим реакциям [2]:

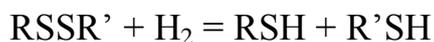
1. Меркаптаны гидрируются до сероводорода и соответствующего углеводорода



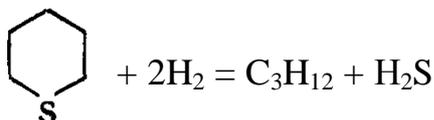
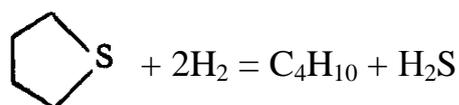
2. Сульфиды гидрируются через стадию образования меркаптанов



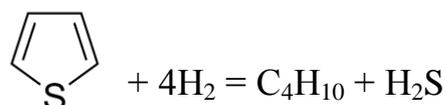
3. Дисульфиды гидрируются до сероводорода и соответствующих углеводородов также через стадию образования меркаптанов



4. Тетрагидротиофены гидрируются с образованием соответствующих алифатических углеводородов



5. Тиофены дают такие же продукты, как и тетрагидротиофены



6. Бензо- и дебензотиофены гидрируются по схеме (рис.1.1):

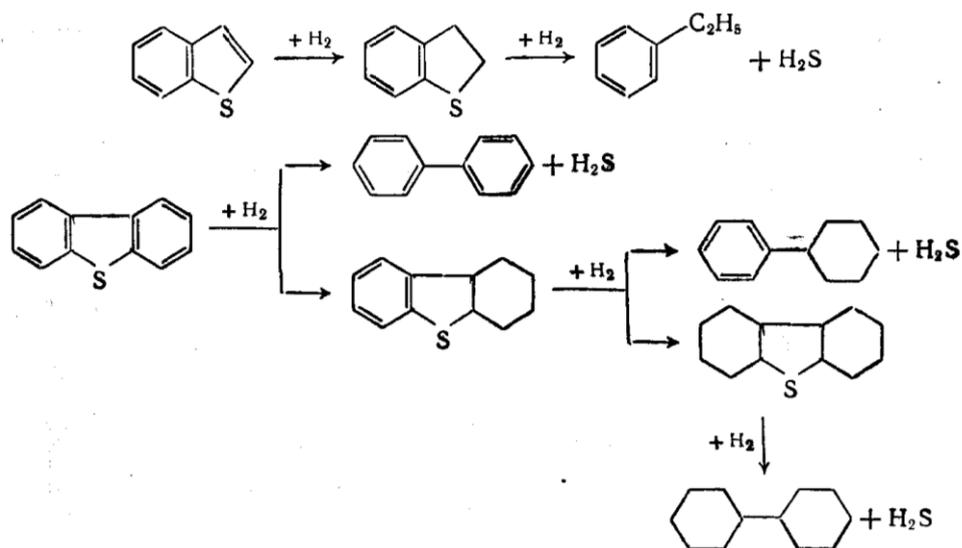


Рисунок 1.1

Кинетика гидрирования сераорганических соединений сильно зависит от их строения. Скорость гидрирования в общем возрастает в ряду: тиофены < тетрагидротиофены ~сульфиды < дисульфиды < меркаптаны [2].

Относительно гидрирования при одинаковом строении устойчивость возрастает в ряду: сераорганические соединения < кислородорганические соединения < азоторганические соединения [2].

При гидроочистке азот удаляется с большим трудом в связи с высокой устойчивостью азоторганических соединений нефти. Реакции гидрирования азоторганических соединений аналогичны реакциям гидрирования серусодержащих соединений.

1.2 Реакции гидроочистки

Преобразования, которым подвергаются углеводороды в условиях процесса, невозможно понять без знания химии реакции гидроочистки. Упрощенно процесс гидропереработки можно представить как перенос водорода: последний проводится из внешнего источника и замещает гетероатомы, уменьшая молярную массу углеводородов в исходной смеси

посредством различных механизмов гидрирования и гидрогенолиза. Но на деле явления, происходящие на молекулярном уровне, значительно сложнее.

Детально описать реакции гидроочистки крайне трудно из-за сложности состава промышленного сырья. Нефтяные фракции, в зависимости от интервала их кипения, могут содержать от нескольких сотен до нескольких тысяч различных соединений. Это подразумевает огромное множество последовательно и параллельно протекающих реакций. Ввиду высокой степени полидисперсности углеводородных смесей химическая активность реагентов, участвующих в таких реакциях, меняется в широких пределах [1].

Проблематичен и сбор данных о процессе на молекулярном уровне; аналитические возможности определения детального состава нефтяных фракций сильно ограничены. Реакции гидроочистки классифицируют по удаляемым примесям (сера, азот, кислород, металлы и асфальтены). В случае реакции гидроочистки, ГДА, ГДОк и ГДМ некоторые различия в преимущественной активности по отношению к определенным реакциям можно объяснить исходя из энергий связи атомов углерода с гетероатомами. Но такой подход не учитывает ни различных конфигурационных эффектов, возникающих в типичных для нефти сложных трехмерных структурах, ни взаимодействий, которые возможны между реагентами и продуктами в этой сложнейшей реакционной схеме. Отсюда представляется целесообразным описать химию реакцией гидропереработки через модельные соединения и простые смеси [3].

Природа химических превращений, происходящих при гидроочистке, во многом определяется целями проведения процесса. С утяжелением сырья сложность процесса возрастает, так как соединения становятся более сложными по структуре и менее активными.

Гидрообессеривание

В результате гидрообессеривания из углеводородов извлекается сера, которая выделяется в виде H_2S . Активность компонентов, содержащих серу, может сильно зависеть от структуры молекулы. В целом углеводородные типы по активности в реакциях ГДО располагаются в следующем порядке: парафины > нафтены > ароматические структуры [3]. Наиболее активны меркаптаны и сульфиды, за которыми идут нафтены и шестичленные ароматические структуры. Более стойки такие пятичленные ароматические соединения, как тиофены; химически наименее активны бензотиофены, дибензотиофены и алкилзамещенные дибензотиофены.

Удаление серы происходит непосредственно по механизму гидрогенолиза или косвенно через предварительное гидрирование. В прямом маршруте атом серы отщепляется и заменяется атомом водорода. Другой механизм требует насыщения одного из ароматических колец перед удалением серы [3]. Очищенный от серы продукт может подвергаться дальнейшему гидрированию до полного насыщения молекул.

Ясно, что предпочтительным был бы прямой маршрут, так как в нём эффективнее расходуется водород, но такой маршрут сильно зависит от структуры молекулы. Конденсация ароматических колец или замещение алкильной группы вблизи атома серы стерически затрудняют молекулу и делают ее менее активной.

На косвенный маршрут структурные эффекты влияют меньше. Гидрирование ароматического кольца уменьшает энергию связей атомов серы и углерода, что упрощает их разрыв. Предполагают, что насыщение структуры облегчает доступ атома серы к активным центрам катализатора. Но этот маршрут термодинамически менее благоприятен, так как при низких давлениях и высоких температурах реакция гидрирования ограничена равновесием [3].

Еще один аспект, влияющий на ГДО, - сильное ингибирование адсорбируемыми продуктами реакции, в том числе H_2S , NH_3 и органическими соединениями азота. Поэтому преобладание того или иного механизма реакции будет зависеть от свойств сырья и условий процесса [4].

Гидродеазотирование

Азот в нефти содержится обычно в ароматических кольцах. Азотсодержащие вещества подразделяются на основные (например, хинолин и пиридин) и неосновные соединения (индол, карбазол и пиррол). Для промышленности наибольший интерес представляют азотсодержащие основания, так как неосновные соединения быстро гидрируются до основных.

Общепризнано, что извлечение азота путем гидрогенолиза требует полного предварительного гидрирования ароматических колец для ослабления сильной ароматической связи C-N. В целом реакции гидродеазотирования остатков протекает значительно труднее, чем ГДО, и уж в любом случае труднее, чем ГДА и ГДАс, поэтому требует более жестких условий. Предпочтительный маршрут реакции лежит через насыщение обоих колец перед разрывом связи C-N. Другой маршрут короче и расходует меньше водорода, но реакцией по нему можно пренебречь, так как она протекает очень медленно. Конечными продуктами в этом случае являются насыщенный углеводород и NH_3 [3,4].

Кроме термодинамических ограничений реакции ГДА, на активность азотсодержащих соединений сильно влияет их молекулярная структура, мешающие абсорбции атома азота активным центром. Азотсодержащие основания являются также сильнейшими ингибиторами центров гидрирования, а следовательно и всех реакций, которые могут протекать по этому маршруту. Поэтому для глубокого обессеривания дизельной фракции важно удалить азотсодержащие ингибиторы.

Гидродеоксигенация

Реакции гидрооксигенации уделяется значительно меньше внимания, чем реакциям ГДО и ГДА, так как органические соединения кислорода содержатся в нефти в низких концентрациях. Реакция ГДОк состоит в удалении кислорода из углеводородов и превращении его в воду. Соединения кислорода присутствуют в виде органических фенолов, нафтола, фурана и их производных. Как и в случае реакций ГДО и ГДА, активность кислородсодержащих соединений уменьшается с молярной массой. Сообщалось, что реакция ГДОк протекает преимущественно через частичное насыщение ароматических колец, а не через прямой гидрогенолиз [3].

Гидродеметаллизация

Никель и ванадий обычно содержатся в нефти в виде металлопарафинов. Эти вещества концентрируются в наиболее тяжелых фракциях, особенно в асфальтеновой. При реакции ГДМ никель и ванадий переходят в соответствующие сульфиды и отлагаются на поверхности катализатора, вызывая необратимую потерю активности [5].

Экспериментальные данные показывают, что ванадий удалить обычно легче, чем никель. Это различие в активности было объяснено тем фактом, что ванадиевые порфирины стремятся сконцентрироваться на периферии молекулы асфальтена, в то время как никелевые в некоторой степени скрыты внутри ядра и поэтому требуют предварительного расщепления молекулы. Кроме того, выдвинуто предположение, что атом кислорода, образующий перпендикулярную связь со структурой ванадиевых порфиринов, улучшает адсорбцию каталитической поверхностью [5].

Реакции гидрирования

Реакции гидрирования можно разделить на две категории: насыщение олефинов и гидродеароматизация. Олефины гидрируются до их насыщенных

гомологов практически необратимо. Реакция насыщения ароматических соединений до нафтенов в промышленных рабочих условиях является обратимой [4].

Ароматические соединения присутствуют в нефти в моно-, ди-, три- и полициклических формах. Из-за нестабильности бензольной молекулы и ее гомологов наиболее трудно происходит насыщение моноароматических соединений. Полиароматические соединения гидрируются последовательно кольцо за кольцом, причём равновесие благоприятствует насыщению первого кольца. Гидрирование играет также определяющую роль в реакциях ГДО и ГДА [3,4].

Гидрокрекинг

Цель реакций гидрокрекинга заключается в разрыве связи С-С с тем, чтобы уменьшить молярную массу сырья. Химия реакций напоминает химию каталитического крекинга, но с одновременным гидрированием продуктов. В катализаторах функцию крекинга осуществляют кислотные центры, а функцию гидрирования и дегидрирования металлические [5].

Одним из важных аспектов гидрокрекинга является то, что концентрация азота и полициклических ароматических соединений в сырье должны быть низкими, чтобы избежать отравление катализатора и коксообразования. Известно, что органические азотсодержащие основания сильно ингибируют функцию крекинга катализатора. Кроме того, для ограничения коксообразования необходимо поддерживать парциальное давление водорода на достаточно высоком уровне, чтобы стабилизировать олефиновые продукты [5].

1.3 Параметры процесса

К основным рабочим параметрам относятся: температура, парциальное давление водорода, удельная скорость подачи сырья. Увеличение температуры и парциального давления водорода влечет за собой повышение глубины удаления серы и азота и расхода водорода. Увеличение давления также повышает насыщение водородом и уменьшает коксообразование. При росте удельной скорости подачи сырья снижаются глубина превращения и расход водорода и уменьшается коксообразование. Хотя повышение температуры улучшает удаление серы и азота, ввиду повышенного коксообразования следует избегать чрезмерных температур.

Температура реакций

Температура реакций - безусловно, важнейший параметр процесса. К ней очень чувствительны глубина и избирательность реакций гидроочистки и гидрокрекинга, так как с увеличением температуры константы их скоростей возрастают экспоненциально. Поэтому для достижения требуемой избирательности температуру подбирают в соответствии с химией процесса.

Гидропереработку легких дистиллятов проводят в интервале температур достаточно высоких для почти полного завершения реакций ГДО и ГДА (320-340° С) [1]. При более высоких температурах возможно расщепление легких углеводородов вследствие термического крекинга и, в случае гидроочистки, неблагоприятного смещения равновесия реакции гидрирования ароматических соединений [6]. Остатки и вакуумный газойль более стойкие по своей природе, поэтому их гидропереработка требует более высоких температур. В этом случае для увеличения равновесных концентраций насыщенных колец важно проводить процесс при повышенных парциальных давлениях водорода. При наилучших

температурах проводят процесс гидрокрекинга, так как для разрыва связей C – C требуется больше энергии, чем для реакции гидроочистки [6].

Повышение температуры дают несколько побочных эффектов, которые нуждаются в тщательной оценке. Даже небольшое превышение температуры выше приемлемых значений ведет к потере избирательности и чрезмерной активации катализатора. Поэтому для каждого отдельного случая существует определенная предельно допустимая температура. Увеличение температуры реакции неизбежно ускоряет коксообразование вследствие роста скорости конденсации нестабильных продуктов крекинга. Высокие температуры при переработке остатков увеличивают глубину ГДМ, но в тоже время ускоряет необратимую потерю активности из-за осаждения металлов. Температуры выше 410 °С способствуют термическому крекингу ценных углеводородных компонентов с образованием значительных количеств низкомолекулярных жидкостей и газов [6]. Кроме того, крекинг остатков в жестких условиях может вызвать образование осадков, склонных загрязнять оборудование всех видов.

В промышленных реакторах с неподвижным слоем температура по мере продвижения вниз по слою возрастает. По этой причине основную проблему в операциях гидропереработки составляет контроль температуры. Обычно для ограничения тепловыделения меньшими и безопасными порциями общий объем катализатора распределяют по нескольким слоям с промежуточным охлаждением между ними [7]. Для гидроочистки бензиновой фракции и керосина обычно достаточно одного слоя, так как тепловыделение сравнительно невелико, но в случае более тяжелого сырья однослойный реактор может оказаться нецелесообразным ввиду чрезмерного роста температуры. В подобных случаях каталитические слои располагают так, чтобы добиться более благоприятного распределения температур.

На распределение температур в реакторе влияет также потеря активности катализатора. В течение цикла её компенсирует периодическим увеличением температуры, вследствие чего амплитуда профиля температур

постепенно смещается вверх. Когда верхняя граница температуры достигает предельно допустимой для материала конструкции реактора, цикл прекращают [7]. Если температура по оси реактора распределена неправильно, возможна преждевременная вынужденная остановка - особенно при быстрой потере активности, как при гидрообработке остатков. В таких случаях желательно выбрать минимально возможную величину прироста температуры в слое, чтобы задержать момент достижения предельно допустимой температуры. Это означает увеличение числа слоев и соответственно габаритов реактора, что необходимо для размещения дополнительного оборудования промежуточного охлаждения.

Парциальное давление водорода

Установки гидрооблагораживания обычно работают в интервале давлений от одного 1 до 30 Мпа [8]. Высокие давления подавляют образование кокса на частицах катализатора, увеличивают количество водорода, доступного для жидкой фазы, повышают степень превращения, улучшают теплоперенос и позволяют увеличить объемную скорость циркуляции газа [7].

Парциальное давление водорода равно произведению общего давления на степень чистоты циркулирующего газа [1]. Как и в случае температуры, необходимое парциальное давление водорода возрастает с увеличением плотности и вязкости сырья, а также требуемой степени превращения. В связи с этим процесса гидрокрекинга проводят при наивысших парциальных давлениях водорода, что позволяет добиться максимальной степени превращения [1,8].

На практике основная функция водорода состоит в том, чтобы способствовать протеканию реакции гидрирования. В углеводородах растворяется и становится доступной для реакции лишь небольшая часть газообразного водорода, поэтому столь важно увеличить общее давление. В

целом высокое парциальное давление водорода способствует благоприятному равновесию реакций гидрирования, что в свою очередь повышает степень насыщения ароматических углеводородов и существенно улучшает ГДО и ГДА стойких соединений, протекающие по маршруту предварительного гидрирования [8].

Хотя повышение парциального давления водорода играет положительную роль, для него есть определенные практические ограничения. Допустимое давление ограничено техническими характеристиками оборудования. Поэтому, чтобы максимально приблизить парциальное давление водорода к проектному, важно поддерживать чистоту циркулирующего водорода на максимально высоком уровне. Другой фактор, ограничивающий давление, - сильное удорожание реактора: чтобы выдерживать высокие давления, он должен иметь толстую стенку [1,8].

Скорость подачи сырья

Скорость подачи сырья - это отношение скорости подачи сырья к количеству катализатора, загруженного в реактор. Она показывает число объемов реактора (имеется в виду лишь объем, занимаемый катализатором), которые могут быть переработаны за единицу времени. Скорость подачи может выражаться на объемной или массовой основе [1]:

$$LHSV = \frac{\text{Суммарная объемная скорость подачи сырья в реактор, м}^3/\text{ч}}{\text{Суммарный объем заряда катализатора, м}^3} [\text{ч}^{-1}]$$

$$WHSV = \frac{\text{Суммарная массовая скорость подачи сырья в реактор, кг/ч}}{\text{Суммарная масса заряда катализатора, кг}} [\text{ч}^{-1}]$$

Жесткость процесса находится в обратной зависимости от объемной скорости подачи сырья. Низкая величина объемной скорости подачи сырья означает, что за единицу времени перерабатывается меньше сырья (то есть сырье дольше контактирует с катализатором). Гидроочистку дистиллятов обычно проводят при большей величине объемной скорости подачи сырья

(>1), чем гидроочистку и гидрокрекинг остатков (<1). Объемная скорость подачи сырья выбирается при проектировании реактора. Она определяет необходимый заряд катализатора, а следовательно, и емкость реактора, необходимую для обеспечения заданной производительности установки [9].

Кратность водорода к сырью и скорость циркуляции

Кратность водорода к сырью - это стандартная мера объемной скорости циркуляции водорода в реакционной системе относительно объемной скорости подачи сырья, выражаемая следующей формулой [1]:

$$H_2/\text{сырье} = \frac{\text{Суммарный объем } H_2, \text{ подаваемого в реактор, н. м}^3/\text{ч}}{\text{Суммарный объем сырья, подаваемого в реактор, м}^3/\text{ч}} [\text{н. м}^3/\text{м}^3]$$

Чтобы создать в реакторе среду, достаточно обогащенную водородом, необходима циркуляция газа. Она обеспечивает поддержание парциального давления водорода на нужном уровне и увеличивает количество водорода, контактирующего с катализатором и молекулами углеводородов. Скорость циркуляции выбирается исходя из целей процесса и экономических соображений. Если ее величина ниже расчетной, усиливается коксообразование и уменьшается степень превращения [9]. Скорость циркуляции особенно важна для продления цикла службы катализатора, который по этой причине обычно проводят при очень высоких значениях кратности водорода к сырью (1000-2000 н. м³/м³) [8]. Вместе тем поддержание высокой скорости циркуляции требует увеличения расхода теплоносителей и более мощного компрессора.

Циркуляция газа влияет на равновесие жидкой и газовой фаз в реакторе. Большинство установок гидропереработки работает с частично испаренным углеводородным сырьем. Это обстоятельство влияет на состав газа и скорости реакций. Повышением кратности водорода к сырью можно добиться концентрирования наиболее тяжелых и стойких соединений в жидкой фазе и увеличения времени их контакта с катализатором. Но к

увеличению скорости циркуляции газа следует подходить осторожно, иначе может оказаться так, что некоторые вещества в испаренной фракции не будут иметь доступа к активным центрам частиц катализатора [9].

При прохождении каждого слоя в реакторе кратность водорода к сырью снижается из-за его химического расхода. Промежуточное охлаждение играет роль источника пополнения водородом на входе в следующий слой. Распределение кратности водорода к сырью вдоль оси реактора обратно пропорционально распределению температуры.

1.4 Катализаторы

Типичные промышленные катализаторы гидроочистки состоят из активных металлов и оксидов (например, молибдена и вольфрама) с такими промоторами, как кобальт и никель, на подложке из гамма – оксида алюминия. Оксид алюминия предпочтителен как материал носителей благодаря гибким структурным свойствам, возможности высокодисперсного распределения активных металлов, высокой механической прочности низкой стоимости. Уровень кислотности гамма – оксида алюминия сравнительно невысок, что снижает глубину реакции крекинга и коксообразования [10]. Активная фаза образуются распределением активных металлов в порах носителя путем пропитывания. Активная фаза обычно состоит из молибденового прекурсора и, в зависимости от назначения катализатора, никелевого или кобальтового промотора. Основная функция промотора заключается в существенном улучшении активности и избирательности активного металла.

Наиболее экономичные катализаторы удаления серы состоят из оксидов кобальта и молибдена на алюмооксидном носителе. Если нужно удалять ещё и значительные количества азота, более эффективны никель – кобальт – молибденовые или никель – молибденовые соединения на алюмооксидном носителе. Азот из углеводородного сырья удалять труднее,

чем серу, поэтому снижению концентрации азота до приемлемого уровня обычно сопутствует эффективное снижение содержания серы. Как правило, никельсодержащие катализаторы перед подогревом до температуры реакции сульфидируют обработкой дисульфидом, меркаптаном или диметилсульфидом. Иногда кобальт – молибденовые катализаторы сульфидируют добавлением нужного химреактива в первую порцию сырья при пуске установки. Реакция сульфидирования выделяет значительное количество теплоты, поэтому необходимо принять меры для предотвращения необратимой потери активности вследствие перегрева или сульфидирования [1,10].

Кобальт – молибденовые катализаторы избирательны к сере, а никель – молибденовые – к азоту, хотя оба они катализируют удаление, как серы, так и азота. Никель – молибденовые катализаторы обладают большей активностью гидрирования, чем кобальт молибденовые, благодаря чему насыщение ароматических колец в одних и тех же рабочих условиях происходит в большей степени. Проще говоря, если главная цель – удаление серы, то кобальт – молибденовый катализатор способен удалять такое же количество серы при менее жестких рабочих условиях, чем никель – молибденовый [11]. Если желательно удаление азота или насыщение ароматических колец, то лучше использовать никель – молибденовый катализатор. На самом деле эффективнее всего удаляет азот и насыщает ароматические кольца никель – вольфрамовый катализатор, но он стоит гораздо дороже никель – молибденового и поэтому на топливных НПЗ применяется редко [10,11].

Для повышения эффективности гидроочистки, как в начале, так и в течение всего цикла работы катализатора крайне важно создать поры определённого размера. Преодолеть диффузионные ограничения при реакциях гидроочистки газойлей при температурах от 400 до 1050 °С можно, как правило, с помощью сравнительно небольшого размера пор [12].

Увеличение размера пор сверх необходимого мало сказывается на улучшении диффузионных характеристик, между тем как площадь поверхности уменьшается. С уменьшением площади поверхности пор снижается активность катализатора, а поры наименьшего диаметра занимают малую часть активного порового объема. Активность является наивысшей в том случае, когда поровый объем распределён в очень узком интервале поровых диаметров [12].

1.4.1 Активация катализатора

Промышленные катализаторы гидропереработки производят в виде металлической фазы, состоящей из соответствующих оксидов. Для перевода металлической фазы в активное состояние оксиды необходимо превратить и сульфиды. Активация, которую называют также сульфидированием, осуществляется воздействием сульфидирующего агента. В современной практике применяют три способа сульфидирования [12]:

1. Углеводородным сырьем, содержащим серу
2. В газовой фазе смесью H_2/H_2S
3. Сульфидированным сырьем

Процесс сульфидирования обычно проводят на месте (то есть когда металлическая фаза уже диспергированна на носителе). Однако, предварительное сульфидирование более перспективно с точки зрения улучшения активности катализатора. Суть процесса состоит в пропускании сульфидирующего потока через каталитические слои в обогащенной атмосфере с тем, чтобы оксиды металлов могли превратиться в сульфиды [1]. Общеизвестно, что сульфидирование в жидкой фазе эффективнее происходит быстрее, чем в газовой фазе. Это обусловлено тем, что поток углеводородов способствует орошению слоя и более однородному распределению сульфидов. Жидкость также поглощает тепло, выделяемое в

реакциях сульфидирования. Если выбран способ активации сульфидированным сырьем, в него добавляют такие сульфидирующие агенты, как сероуглерод, диметилсульфид, диметилдисульфид и этилмеркаптан. Наиболее эффективным для лабораторного и промышленного сульфидирования является диметилсульфид [13].

Процедуру проводят при температуре разложения сульфидирующего агента. Для активации сульфидирующими агентами требуется, как правило, значительно более низкие (от 160 до 260° С) температуры, чем в случае с нессульфидированным сырьем (300 - 350° С) [13]. Для контроля тепловыделения важна концентрация серы в сырье. Рекомендуемое содержание серы в нессульфидированном сырье составляет 0,5-2,0 % масс; в сульфидированном - ниже 1 % масс [13].

На рисунке 1.2 показан порядок сульфидирования никель – молибденового катализатора гидрообессеривания.

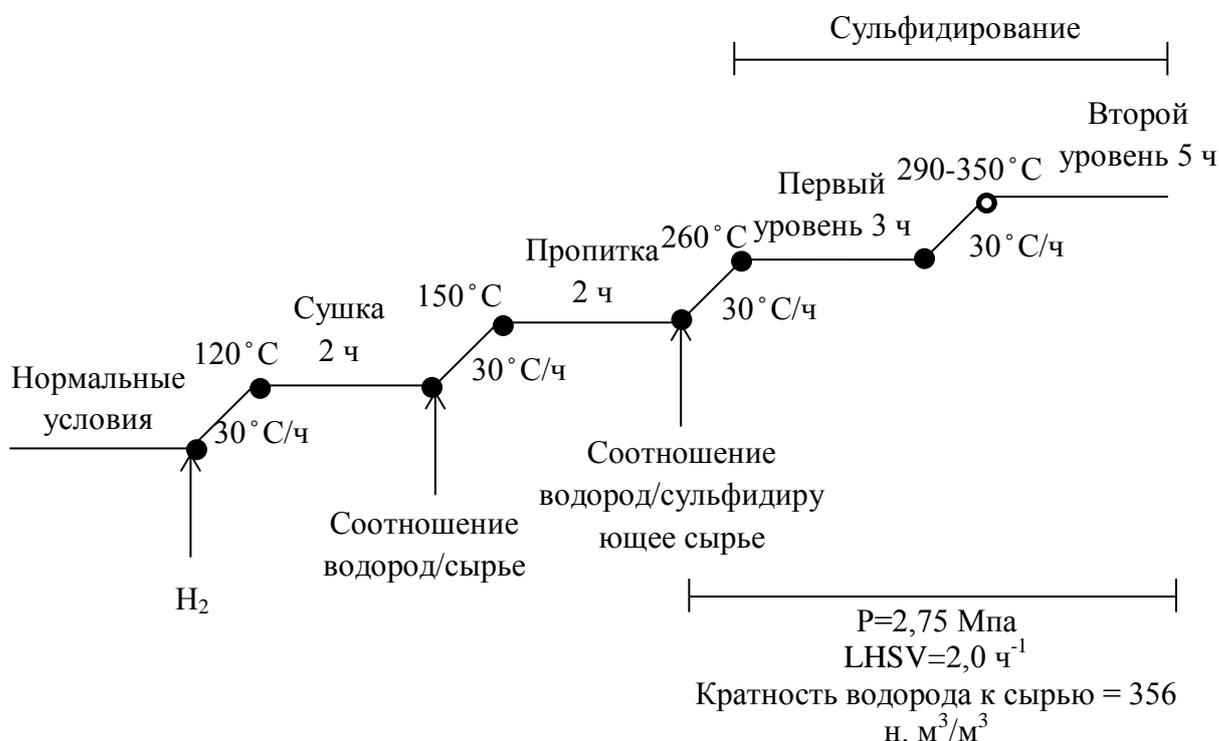


Рисунок 1.2 – Условия сульфидирования катализатора ГДО [1]

Перед сульфидированием катализатор сушат в потоке водорода при низкой температуре, чтобы удалить остатки воды, представляющие опасность для катализатора при высоких температурах. Затем слой катализатора полностью пропитывают сырьем, чтобы в нём не осталось сухих зон. Когда катализатор готов к сульфидированию, через него пропускают сульфидирующее сырье и повышают температуру до 260° С. На данном этапе, температура должна быть достаточно высокой для разложения сульфидирующего агента, но не превышает 260 - 315° С, чтобы исключить закоксовывание и восстановление оксида металла до того, как сульфидирование будет завершено. Это первый этап, называемый иницированием. По его завершении температуру повышают до следующего уровня 290 – 350° С [1].

Эксперименты показывают, что оптимальная активность катализатора достигается при температурах, близких к предельно допустимым. Это заключительный этап, обеспечивающий максимальное поглощение серы металлической фазой. Следует заметить, что в реакциях сульфидирования выделяется сероводород, что служит индикатором состояния процесса активации. Появления значительных количеств сероводорода на выходе газа говорит о том, что процесс близок к завершению и металлическая фаза катализатора насыщена серой [1].

1.4.2 Стабильная активность катализатора

Твердые катализаторы могут иметь аморфную и кристаллическую решетку. Промышленные катализаторы не должны быстро менять начальную величину активности под воздействием умеренных внешних и внутренних параметров – температура, давление, состав реакционной смеси, изменение структуры решетки и т.д. Практические катализаторы в период их промышленной эксплуатации снижают начальную активность до уровня, когда их нужно регенерировать или заменять новой порцией катализатора.

Можно выделить следующие причины понижения активности и изменения селективности твердых катализаторов [14]:

- при переработке органического сырья на катализаторе откладывается кокс, который непрерывно снижает активность катализатора
- в среде могут находиться металлоорганические соединения, которые откладываются на внешней поверхности и внутри катализатора, а при окислительной регенерации катализатора от кокса из металлоорганических соединений образуются оксиды металлов, которые откладываются на катализаторе и снижают его активность или селективность
- из катализатора могут удаляться активирующие вещества
- при длительном воздействии нагрева и реакционной смеси в катализаторе могут происходить изменение структуры решетки
- при наличии металлической фазы на носителе может происходить ее перекристаллизацией или укрупнение дендритов на поверхности за счет миграции атомов от мелких друз к крупным
- в сырье могут содержаться следы ядовитых соединений, которые извлекаются из него, накапливаются на катализаторе и снижают его активность и изменяют селективность

При промышленной эксплуатации твердых катализаторов необходимо проводить анализы на определение их состава, структуры, содержание примесей на катализаторе и отрабатывать методы восстановления его активности, которую не всегда можно установить на 100% [14].

1.4.3 Дезактивация катализаторов гидроочистки дизельных топлив

Дезактивация катализатора приводит к снижению активности катализатора, а именно к уменьшению степени превращения сырьевой фракции ДТ в готовое товарное ДТ. С целью уменьшения воздействия дезактивации катализатора повышают расход свежего ВСГ или

давление ПЖС на входе в реактор, или увеличивают парциальное давление водорода в ПЖС. С дезактивацией борются также путем плавного повышения температуры на вход в реактор в процессе гидроочистки ДТ, а также регенерацией катализатора. Дезактивация катализатора ведет к увеличению выхода побочных продуктов газа и бензина, и поэтому снижает эффективность работы установки гидроочистки ДТ [4].

Выделяют три основные причины дезактивации катализатора: спекание или термическая дезактивация, отравление и блокировка активных центров коксом.

К уменьшению поверхности носителя, а также к "коалесценции" или потере дисперсности кристаллитов металла приводит спекание катализатора. Потеря дисперсности приводит к резкому снижению активности. Отравление примесями протекает под воздействием адсорбции на активных центрах малых количеств вещества, называемого ядом и специфического для данного катализатора [7].

Обратимая дезактивация

Практически все катализаторы дезактивируются в процессе долгого использования. Некоторые типы дезактивации являются лишь временными в том смысле, что катализаторы можно регенерировать с полным или частичным восстановлением потерянной активности [4].

Наиболее часто обратимая дезактивация вызывается образованием углеродных отложений на катализаторах в результате побочных реакций. Эти отложения снижают активность путем блокирования пор в матрице или связующем, а также вследствие блокирования активных центров. Кислотные катализаторы могут дезактивироваться в результате хемосорбции основных соединений, содержащих азот, а также кислород- или серосодержащих соединений. В некоторых случаях прогревание катализатора в инертной атмосфере для десорбции этих ядов приводит к восстановлению активности,

а в других требуется регенерация в кислородсодержащем газе при повышенных температурах [12].

1.4.4 Регенерация катализаторов гидроочистки

Коксообразование – наиболее распространенная причина дезактивации катализатора гидроочистки. Для поддержания необходимой степени превращения после отложения кокса приходится повышать рабочую температуру процесса, которая имеет свои технологические ограничения.

Скорость коксообразования возрастает с ростом температуры, уменьшением парциального давления водорода, повышением конверсии сырья, увеличением температуры кипения сырья и содержания крекированных продуктов в сырье. Механизм коксообразования сложен и во многом неясен.

Срок службы промышленных катализаторов зависит от многих факторов: от свойств катализатора, от условий проведения процесса и качества перерабатываемого сырья, и составляет 12 – 15 месяцев. Катализаторы гидроочистки периодически подвергают регенерации путем окислительного выжига кокса в реакторе при температуре 450 – 550 °С [11].

Проводят обработку катализатора инертным газом или водяным паром непосредственно перед началом выжига при температуре 370-420 °С.

В процессе регенерации катализатора происходит окисление сульфидов гидрирующих металлов наряду с выжигом кокса. Этот процесс особенно важен для АКМ– и АНМ – катализаторов, которые перед использованием подвергаются сульфидированию. Практически полное окисление сульфидов кобальта и молибдена на предварительном неосерненном катализаторе происходит при 400–420 °С [10,11].

Алюмокобальт – и алюмоникельмолибденовые катализаторы обладают высокой устойчивостью к термической и термопаровой обработке. При температуре выше 550 °С образуются каталитические неактивные

компоненты - никелевые и кобальтовые шпинели и наблюдается значительное спекание, приводящие к уменьшению удельной поверхности и объема микропор [13].

Для перевода регенерированного катализатора в рабочий режим прекращают подачу воздуха, систему продувают водяным паром для удаления кислорода и одновременно понижают температуру до 250-300° С. Затем систему продувают инертным газом и снижают температуру до 200° С [11].

Наряду с регенерацией катализатора непосредственно в реакторе в промышленности проводит регенерацию катализаторов гидроочистки вне реактора.

Катализаторы гидрообессеривания остатков кроме коксовых отложений накапливают значительное количество металлов, поэтому регенерация таких катализаторов и регенерация катализаторов гидроочистки вакуумных газойлей и дистиллятного сырья существенно различаются [13].

1.4.5 Активность контактных масс

В качестве меры активности катализатора применяют различные показатели каталитического процесса.

1. Активность катализатора характеризует энергия активации каталитической реакции, но неудобна для применения вследствие ее размерности, экспоненциальной и обратной зависимости от температуры [15].

2. Предложено применять разность скоростей химических реакций в присутствии катализатора и без него, учитывая доли объема реакционного пространства, занимаемого катализатором и недоступного для реагирующих веществ [15]:

$$A = u_{\text{кат}} - u(1 - \varphi_{\text{кат}})$$

Такое выражение активности можно применять при постоянной движущей силы процесса.

3. Наиболее удобно характеризовать целесообразность применения катализатора для ускорения некаталитической реакции отношением констант скоростей каталитической и гомогенной некаталитической реакций [15]:

$$\frac{k_{\text{кат}} k_{0\text{кат}} \exp[E_{\text{кат}}/(RT)]}{k k_0 \exp[-E/(RT)]} = \frac{k_{0\text{кат}}}{k_0} \exp[\Delta E/(RT)]$$

Для каталитических реакций, в которых предэкспоненциальный множитель остается таким же, как в некаталитических реакциях ($k_{0\text{кат}} = k_0$):

$$\frac{k_{\text{кат}}}{k} \exp[\Delta E/(RT)]$$

Эти уравнения можно применять для сравнения скоростей каталитического процесса с некаталитическим при постоянстве движущей силы реакции или для сравнения различных катализаторов.

Снижение энергии активации каталитической реакции по сравнению с некаталитической равно [15]:

$$\Delta E = E - E_{\text{кат}}$$

4. Для сравнения активности катализатора в какой-либо реакции при различных условиях используют в качестве меры активности интенсивность процесса на данном катализаторе, выражаемую количеством продукта получаемого за 1 час единицы объёма катализатора.

5. При избранных стандартных условиях средние активности различных катализаторов часто проводят по степени превращения основного исходного вещества. При любом ее выражении каталитическая активность определяется свойствами всей взаимодействующей системы, включающей катализатор и реакционную смесь [15].

Активность катализатора для процессов, протекающих в кинетической области, определяется специфичностью катализатора и природой реагирующих веществ, то есть активность катализатора в процессе соответствует его активности в химической реакции. Однако, активность

катализатора по отношению к процессу уже не совпадает с активностью его в химической реакции, не осложненной диффузией, в тех случаях, когда скорости химических и диффузионных стадий каталитического процесса сопоставимы. Для такого процесса константа скорости зависит от коэффициентов диффузии из ядра потока к поверхности зерна и внутри пор зерна [15].

2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Характеристика объекта исследования

Объектом исследования является промышленная установка гидроочистки дизельного топлива ООО «КИНЕФ» Л-24-10/2000. Состав сырья и продуктов, технологические режимы установки.

Ввод в строй установки Л-24-10/2000, предназначенной для переработки смеси атмосферного газойля с прямогонной дизельной фракцией и бензина висбрекинга, поступающего с производства глубокой переработки нефти, обеспечил значительное улучшение качества выпускаемых дизельных топлив. Благодаря использованию современных катализаторов гидроочистки и гидродепарафинизации, установка способна производить дизельное топливо зимних сортов с ультранизким содержанием серы, пользующееся повышенным спросом в российских климатических условиях. Перерабатывая в качестве сырья атмосферный газойль, применявшийся ранее в приготовлении мазутов, предприятие дополнительно получает более 800 тысяч тонн топлива с ультранизким содержанием серы в год.

Продуктами установки гидроочистки являются дизельные фракции 180-240°C, 240- 340°C, остаток > 340°C, стабильный бензин, фракция н.к.-90°C (легкий бензин), газ углеводородный очищенный [16]:

- В качестве компонентов при приготовлении летнего и зимнего дизельного топлива используются дизельные фракции 180-240°C и 240-340°C, в качестве компонента при приготовлении котельного топлива используется остаток > 340°C.
- Стабильный бензин используется в качестве компонента сырья на установках риформинга.
- В качестве компонента сырья на установках первичной переработки нефти используется фракция н.к. -90°C.

- Очищенный углеводородный газ используется как топливо для печей установки.

2.2 Катализаторы процесса

Система катализаторов HR-538/HR-945 наряду с сверхглубоким гидрообессериванием обеспечивает деароматизацию смесового дизельного топлива с большим содержанием вторичных дистиллятов при среднем и высоком парциальном давлении водорода, является идеальным решением для улучшения показателей цетанового числа, плотности и снижения полициклических ароматических углеводородов при переработке утяжеленных фракций дизельного топлива с высоким содержанием трудноудаляемых серосодержащих соединений.

В 2015 году во время ремонта на установке была произведена частичная замена верхнего слоя катализатора в реакторах P-1 и P-2. Регенерацию катализаторов не производили, выгружали катализатор в токе азота.

Катализаторы гидроочистки HR-945 и HR-538 1,6, загруженные в реактора P-1 и P-2, эксплуатируются с ноября 2011 года.

Было проведено определение удельной поверхности, массовой доли металлов, потерь при прокаливании при 550, содержания углерода, серы и железа. Результаты анализов представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты анализа не регенерированных катализаторов, выгруженных из P-1 и P-2

Точка отбора	Марка катализатора	Характеристики катализаторов							
		ППП ₅₅₀ °C % масс	Удельная поверхность (фр. 0,63-1,0	MoO ₃ , % масс	NiO, % масс	CoO, % масс	Fe ²⁺³⁺ , % масс	Углерод, % масс	Сера, % масс

			мм), м ² /г						
Верх реакто ра P-1	HR-945	14,0	108	7,3	11,2	Отс.	2,3	8,1	5,6
Верх реакто ра P-2	HR-538 1,6	25,7	136	16,3	3,0	Отс.	5,6	17,0	5,7

Из полученных данных видно, что по содержанию оксидов активных металлов проанализированные катализаторы соответствуют катализатором марки HR-945 и HR-538 1,6.

Также видно, что в процессе работы произошло снижение удельной поверхности катализаторов HR-945 и HR-538 1,6 и появились отложения кокса в количестве 8,1 и 17,0 % масс. соответственно.

Эксплуатация катализаторов при повышенных температурах вызывает снижение удельной поверхности и пористости и, как следствие, снижение каталитической активности.

Чем выше пористость катализатора и чем меньше диаметр пор, тем больше внутренняя поверхность. Промышленные катализаторы всегда имеют развитую внутреннюю поверхность. Оптимальный радиус пор обеспечивает наивысшую скорость реакции [17].

Смещение в сторону меньших размеров пор приводит к увеличению их числа и поверхности, но одновременно повышается возможность перехода во внутридиффузионную область, где резко уменьшается степень использования поверхности и, соответственно, падает скорость реакции. Смещение в сторону больших размеров пор увеличивает степень использования поверхности, но активность снижается из-за уменьшения удельной поверхности [13].

В таблице 2.2 представлена характеристика используемых катализаторов [18].

Таблица 2.2 – Характеристика катализаторов [18]

Наименование катализаторов	Номер государственного или отраслевого стандарта, технических условий, стандарта предприятия	Показатели качества, подлежащие проверке	Норма по нормативному документу	Область применения готовой продукции
Катализатор HR 945	Импорт, фирма Axens	1. Внешний вид: - форма - диаметр, мм 2. Физические свойства: - потери при прокаливании при 550 °С, вес. %, не более - насыпная плотность после усадки, кг/л - удельная поверхность, м ² /г - общий объем пор, см ³ /г - устойчивость к истиранию, вес. %, не менее - объемная прочность на раздавливание, МПа, не менее 3. Химический состав: - никель (NiO), вес. %, не менее - молибден (MoO ₃), вес. %, не менее	шары серо-зеленого цвета 2-4 2,5 0,80-0,92 120-160 0,36-0,50 94 1,55 11,0 7,5	Используется для гидроочистки углеводородного сырья
Катализатор HR 538 1.6	Импорт, фирма Axens	1. Внешний вид: - форма - внешний диаметр, мм 2. Физические свойства: - потери при прокаливании при 550 °С, вес. %, не более - насыпная плотность после усадки, кг/л - удельная поверхность, м ² /г, не менее - общий объем пор, см ³ /г, не менее - прочность гранулы на	трилистник и светло-зеленого цвета 2,4-2,6 (1,5-1,7) 2 0,69-0,79 165 0,45	Используется для гидроочистки углеводородного сырья

	раздавливание, дека Н/мм, не менее	1,0	
	- объемная прочность на раздавливание, МПа, не менее	1,0	
	3. Химический состав:		
	- никель (NiO), вес. %, не менее	2,5	
	- молибден (MoO ₃), вес. %, не менее	16	

2.3 Описание технологической схемы каталитической установки гидроочистки дизельного топлива

Технологическая схема установки Л-24-10/2000 представлена в приложении А [18].

Сырье поступает в реакторный блок, где смешивается с циркуляционным ВСГ. Газосырьевая смесь после смешения нагревается в теплообменнике, затем в печи, после чего поступает в реакторы гидроочистки Р-1 и Р-2. После реактора Р-2 газопродуктовая смесь поступает в печь и далее в реактор депарафинизации Р-3. Реактора Р-1, Р-2, Р-3 работают последовательно. В реакторах Р-1 и Р-2 происходит гидрирование соединений, содержащих серу, азот и кислород с образованием сероводорода, аммиака и воды. Общее адиабатическое увеличение температуры при гидроочистке может составлять свыше 25°С, поэтому между реакторами Р-1 и Р-2 подается квенч водородсодержащего газа. Для регулирования температуры на входе в реактор Р-3 предусмотрено либо охлаждение смеси подачей квенча между реакторами Р-2 и Р-3, при температуре входа в Р-3 выше необходимой, либо нагрев в печи, при температуре на входе в Р-3 ниже необходимой для процесса гидродепарафинизации.

Газопродуктовая смесь из реактора Р-3 поступает в сепаратор С-1, где смесь разделяется на парогазовую смесь и нестабильный гидрогенизат. Парогазовая смесь из сепаратора С-1 поступает в теплообменник, где отдает

тепло на нагрев нестабильного гидрогенизата из сепаратора С-2, затем охлаждается в воздушном холодильнике и поступает в С-2, где происходит разделение на циркуляционный газ и нестабильный гидрогенизат. На выходе из сепаратора С-2 в поток нестабильного гидрогенизата подается бензин отгон гидроочисток. Нестабильный гидрогенизат из сепаратора С-2 проходит межтрубное пространство теплообменника, где нагревается теплом парогазовой смеси из С-1, и после смешения с нестабильным гидрогенизатом сепаратора С-1, направляется на стабилизацию в колонну К-1. Для поддержания необходимой концентрации водорода в циркуляционном газе часть газа отдувается с установки, а взамен в поток циркуляционного газа подается свежий водородсодержащий газ.

В блоке стабилизации смесь нестабильного гидрогенизата из сепараторов С-1 и С-2 с отгоном с установок гидроочистки нагревается в теплообменнике и поступает в колонну стабилизации К-1, где из нее выделяются растворенные легкие углеводороды, сероводород и вода. В колонне стабилизации К-1 содержится 20 клапанных тарелок. Нестабильный гидрогенизат поступает на 12 тарелку. Часть стабильного гидрогенизата из куба колонны К-1 возвращается в колонну через печь в качестве «горячей струи». Для более эффективного удаления сероводорода из нестабильного гидрогенизата предусмотрена линия подачи стабильного бензина (верх К-2) в печь перед колонной К-1. Легкие продукты из верхней части колонны К-1 конденсируются и охлаждаются в воздушном и водяном конденсаторах-холодильниках и поступают в сепаратор С-4, где происходит их разделение на углеводородный газ и легкий бензин и отстаивание легкого бензина от воды.

Для снижения степени коррозии оборудования и трубопроводов перед воздушным конденсатором-холодильником в поток подается ингибитор коррозии. Легкий бензин из сепаратора С-4 подается на 20 тарелку колонны К-1 в качестве орошения, а балансовое количество выводится на установки первичной переработки нефти.

После блока стабилизации стабильный гидрогенизат из нижней части колонны К-1 поступает в блок ректификации через печь в колонну К-2 на 4-ю тарелку. В колонне ректификации К-2 с двумя стриппингами К-3/1 и К-3/2 происходит разделение гидрогенизата на следующие фракции: стабильный бензин (верх К-2), 180-240°C, 240-340°C и остаток – фракцию > 340°C. Пары стабильного бензина из верхней части колонны К-2 после конденсации и охлаждения в воздушном конденсаторе-холодильнике поступают в рефлюксную емкость Е-5, откуда часть бензина возвращается в колонну К-2 на 4 тарелку в качестве орошения, а балансовое количество после охлаждения в воздушном и водяном холодильниках выводится с установки.

Фракция 180-240°C с 24-й тарелки колонны К-2 выводится на верхнюю 8 тарелку колонны стриппинга К-3/1, где из нее выделяются более легкие фракции. Выделенная легкая часть фракции 180-240°C возвращается в колонну К-2 под 27-ю тарелку, а стабильная фракция 180-240°C из кубовой части колонны К-3/1 и после охлаждения в воздушном и водяном холодильниках выводится с установки.

Фракция 240-340°C с 16-й тарелки колонны К-2 выводится на верхнюю 8 тарелку в К-3/2, где из нее выделяются более легкие фракции. Выделенная легкая часть фракции 240-340°C возвращается в колонну К-2 под 19-ю тарелку, а стабильная фракция 240-340°C из нижней части колонны К-3/2 отдает свое тепло в ребойлере на поддержание температурного режима в колонне К-3/1 и в трубном пространстве теплообменника на нагрев сырья, охлаждается в воздушном холодильнике и выводится с установки.

Фракция >340°C из кубовой части колонны К-2 частично возвращается в колонну через печь в качестве «горячей струи», а балансовое количество отдает тепло в ребойлере на поддержание температурного режима колонны К-3/2 и в теплообменнике на нагрев сырья колонны К-1, после чего охлаждается в воздушном холодильнике и выводится с установки в качестве компонента приготовления котельного топлива [18].

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Оценка стабильности и расчет скорости дезактивации

Изменение температуры во времени является наиболее распространенным критерием оценки стабильности. Этот критерий позволяет лишь приближенно оценить скорость дезактивации (град/т).

Широко используемый на практике критерий "стационарной активности" ($a_{\text{стац}}$) наиболее пригоден для Pt-катализаторов, где дезактивация сопровождается саморегенерацией. Численное значение $a_{\text{стац}}$ соответствует условию равновесия реакции коксообразования - гидрирование промежуточных продуктов уплотнения. Однако стационарная активность является постоянной величиной только при неизменном технологическом режиме. В реальной заводской практике стационарная активность зависит и от состава перерабатываемого сырья [16,17,19,20].

Одним из критериев оценки активности катализаторов является изменение температуры $T(t)$, обеспечивающей компенсацию его дезактивации. Так, для определения активности рассматриваемых катализаторов на степень обессеривания сырья были проанализированы данные с 02.01.13 по 13.10.17, поступившие с ООО «КИНЕФ». Анализ изменения оптимальной активности катализаторов проводили по уравнению [16,17,19,20]:

$$Akt = \frac{\Delta - \Delta T}{\Delta},$$

где Δ - максимально возможный температурный интервал работы катализатора, рассчитанный как разница между максимальной и минимальной температурами работы катализатора; ΔT – изменение температуры работы по сравнению с первоначальной для каждой даты; Akt – активность катализатора.

Оптимальная активность соответствует температуре процесса, которая обеспечивает равновесие реакции образования аморфного кокса и его гидрирования водородом. Однако даже столь небольшое отклонение от оптимального режима сказывается на таких показателях работы катализатора, как скорость коксонакопления и выход целевого продукта.

Образование кокса может быть связано с нарушением правил эксплуатации катализатора:

1. нарушение технологии загрузки в реакторы
2. неправильный запуск установки
3. неравномерная загрузка по сырью, приводящая к байпасу сырья и локальным перегревам.
4. нарушение режимов регенерации катализатора после остановки реакторов.

Максимальный межрегенерационный период катализатора обеспечивает работа при оптимальной активности. Из этого следует, что протекание реакций коксообразования приводит к снижению концентрации водорода в водородсодержащем газе и росту образования коксогенных структур при увеличении текущей активности катализатора и нарушении условий равновесия реакции коксообразование ↔ гидрирование [6].

Процесс может протекать при мягких или более жестких условиях, исходя из свойств применяемого катализатора, селективность катализатора, также может быть неодинаковой — все это отражается на расходе водорода на реакцию. В случае значительной дезактивации катализатора приходится повышать температуру гидроочистки до уровня, при котором увеличивается доля реакции гидрокрекинга, и расход водорода соответственно возрастает [6].

Скорость дезактивации рассчитывается по формуле [16]:

$$V_d = \frac{\Delta T}{G}, \text{ град/т}$$

3.2 Обсуждение результатов исследования

Проанализировав данные, рассчитали активность и скорость дезактивации катализатора за каждый год работы установки в период с 2013 по 2017 год для первого реактора и с 2013 по 2015 года для второго реактора. Результаты расчетов представлены в таблице 3.1, 3.2. В качестве примера анализируемых данных в приложении Б указан период с конца 2014 по начало 2015 года, где можно наблюдать значительное снижение активности и увеличение ее после замены слоя катализатора. Построили зависимости изменения активности и дезактивации с течением времени.

Таблица 3.1- Реактор 1

	2013	2014	2015	2016	2017
мин T	142,8	309,0	251,3	321,2	292,722
макс T	348,0	364,0	366,3	365,8	361,527
min a	0,145676	0,3300290	0,8000000	0,3112249	0,4619940
max a	1	0,9998275	0,9997262	0,9992494	0,9996003

Таблица 3.2 – Реактор 2

	2013	2014	2015	2016
мин T	151,8	311,8	259,8	351,2
макс T	358,9	368,5	371,7	359,5
min a	0,14196	0,184461	0,0935861	0,0478794
max a	1	0,999991	0,9998169	0,8006128

Реактор 1

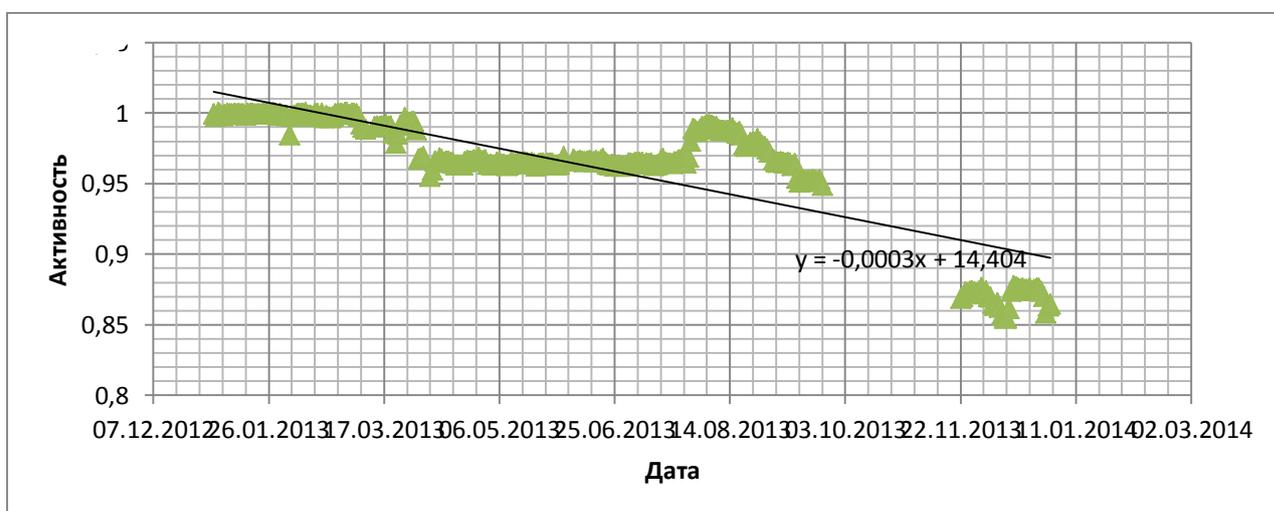


Рисунок 3.1 – Изменение активности катализатора в течение 2013 года

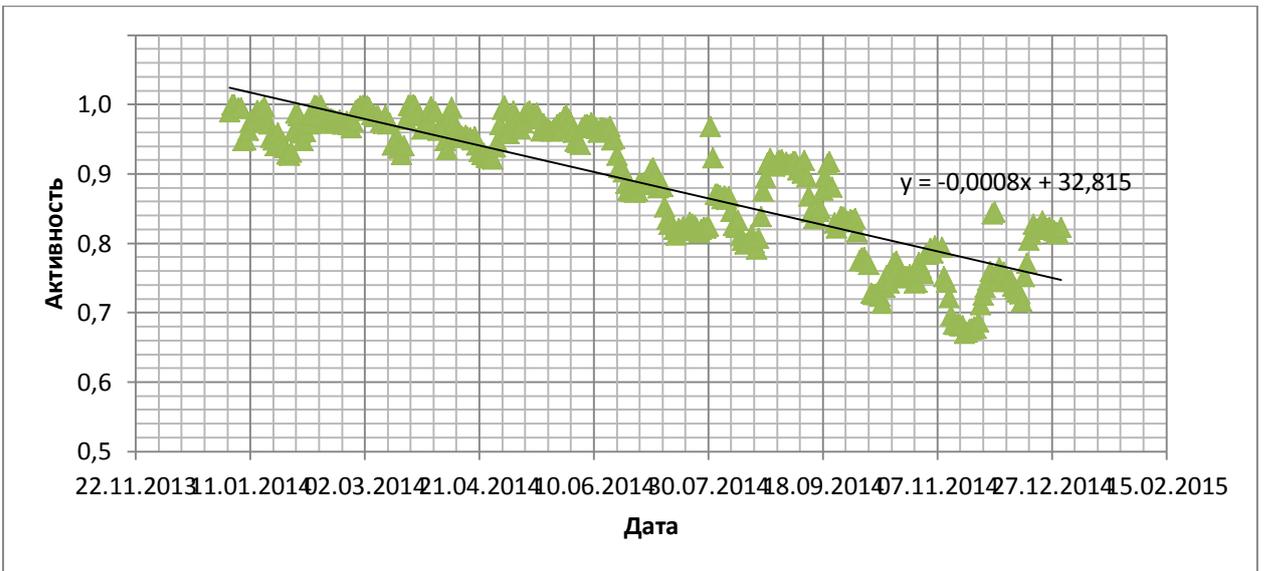


Рисунок 3.2 – Изменение активности катализатора в течение 2014 года

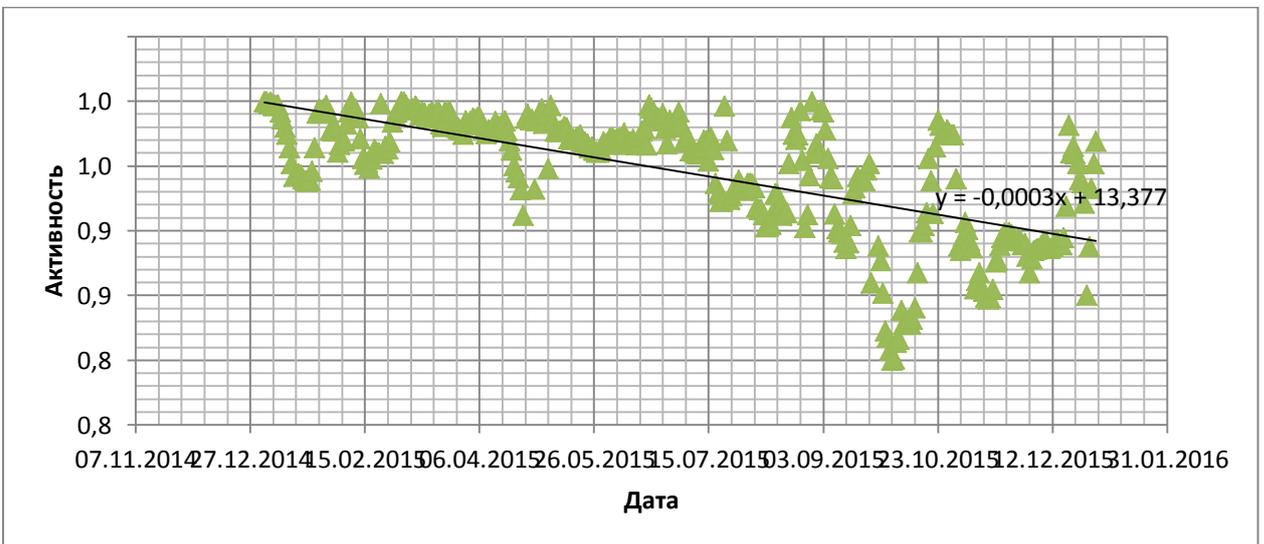


Рисунок 3.3 – Изменение активности катализатора в течение 2015 года

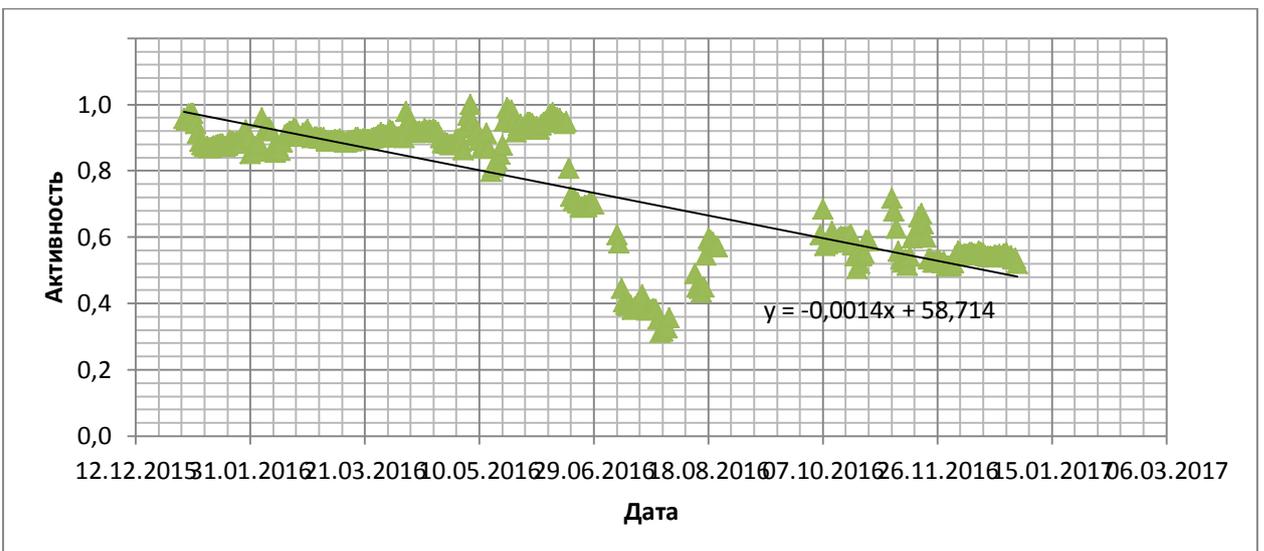


Рисунок 3.4 – Изменение активности катализатора в течение 2016 года

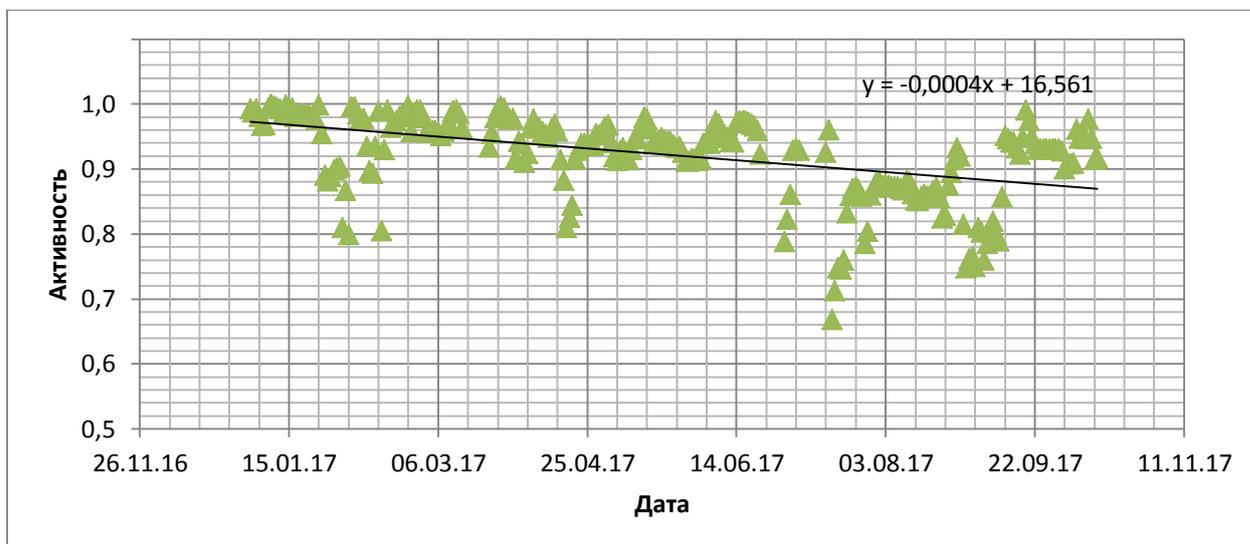


Рисунок 3.5 – Изменение активности катализатора в течение 2017 года

За 2013 год в период эксплуатации установки активность катализатора снизилась с 1 до 0,865 (рис.3.1). По мере протекания процесса температура постепенно возрастала с 318° С до 328° С за период с января по октябрь. За последние два месяца температура резко повысилась до 346° С, и произошло заметное снижение активности катализатора с 0,948 до 0,868.

К концу 2014 года, по сравнению с первоначальным максимальным значением в данный период, активность катализатора снизилась до 0,823 (рис.3.2). Температура монотонно возрастала, без каких-либо резких изменений (346-355,6° С).

Активность катализатора в 2015 году была довольно высокой и стабильной на протяжении всего периода работы установки (рис.3.3). Такая активность обусловлена частичной заменой верхнего слоя катализатора в реакторах во время ремонта на установке. Среднее значение температуры в этот период составляло 350° С.

Значительный упадок активности произошел в 2016 году с 0,985 до 0,520 (рис.3.4). Падение активности происходит вследствие дезактивации катализатора, которая может быть обусловлена явлениями старения, утомления, зауглероживания, синтеринга, отравления контактными ядами. Для поддержания активности регулируют температуру в зависимости от

нагрузки по сырью, т. к. именно температура является основным технологическим параметром процесса, с помощью которого, регулируют конечное содержание серы в гидрогенизате. В период с января по июль температура процесса постепенно увеличилась с 350 до 360 ° С, а затем снизилась до 330 ° С. Несмотря на значительное снижение активности катализаторов, повышение температуры процесса позволяет поддерживать степень удаления серы на высоком уровне.

К концу 2017 года активность катализатора составляет 0,918, что является достаточно высоким результатом (рис.3.5). Катализатор может быть активным в определенном температурном интервале, для никелевого катализатора оптимальная активность достигается при 320 ° С. На данной стадии процесса начальная температура составляет 329 ° С, в конце происходит увеличение до 335 ° С.

На рисунке 3.6 представлена зависимость изменения активности катализатора за весь период работы установки.

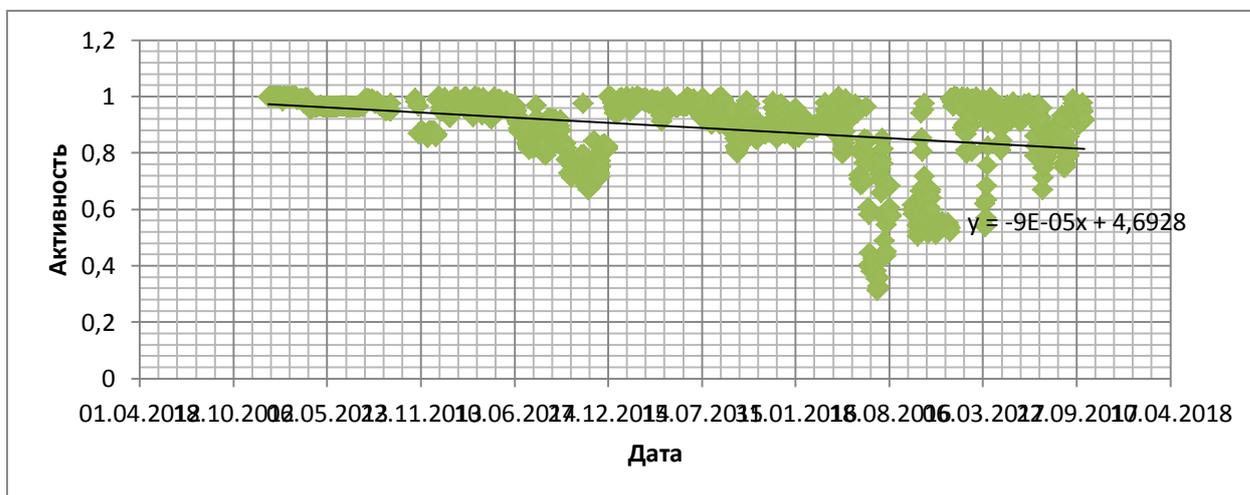


Рисунок 3.6 – Изменение активности с течением времени

В начале работы активность катализатора составляет 1, в конце – 0,91. Средняя температура процесса 340 ° С. Такая высокая активность в конце работы обусловлена заменой катализатора в 2015 году. Регенерацию не

производили, выгружали катализатор в токе азота. В процессе работы произошло снижение удельной поверхности катализаторов и появились отложения кокса в количестве 8,1 и 17,0 % масс. соответственно. Снижение удельной поверхности отработанных катализаторов гидроочистки, возможно связано с забивкой пор катализатора коксом и соединениями железа, а также с его разрушением.

Реактор 2

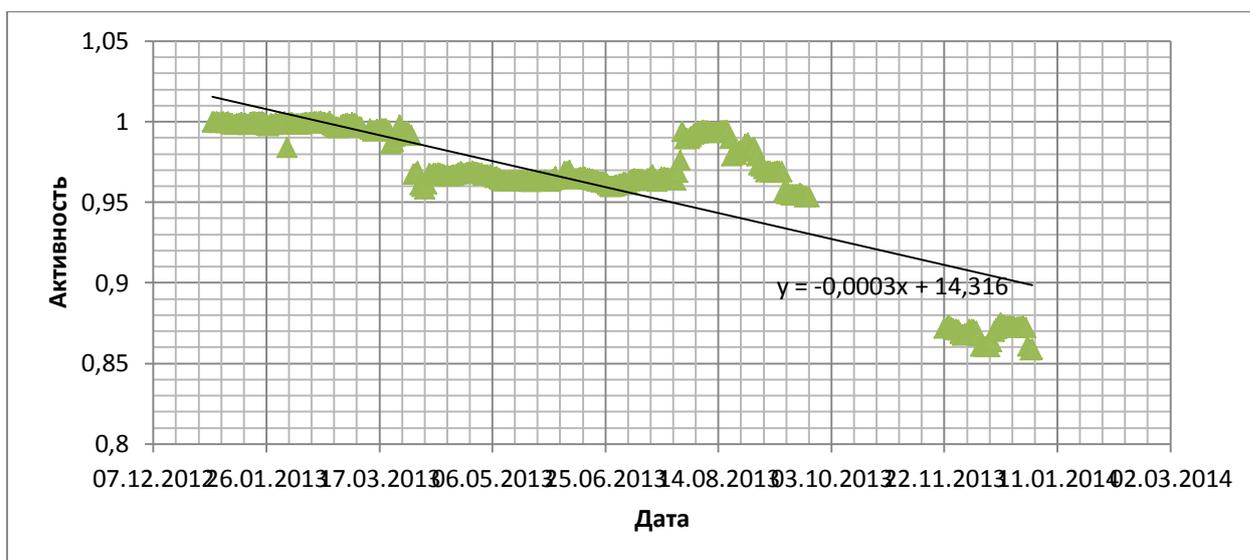


Рисунок 3.7 – Изменение активности катализатора в течение 2013 года

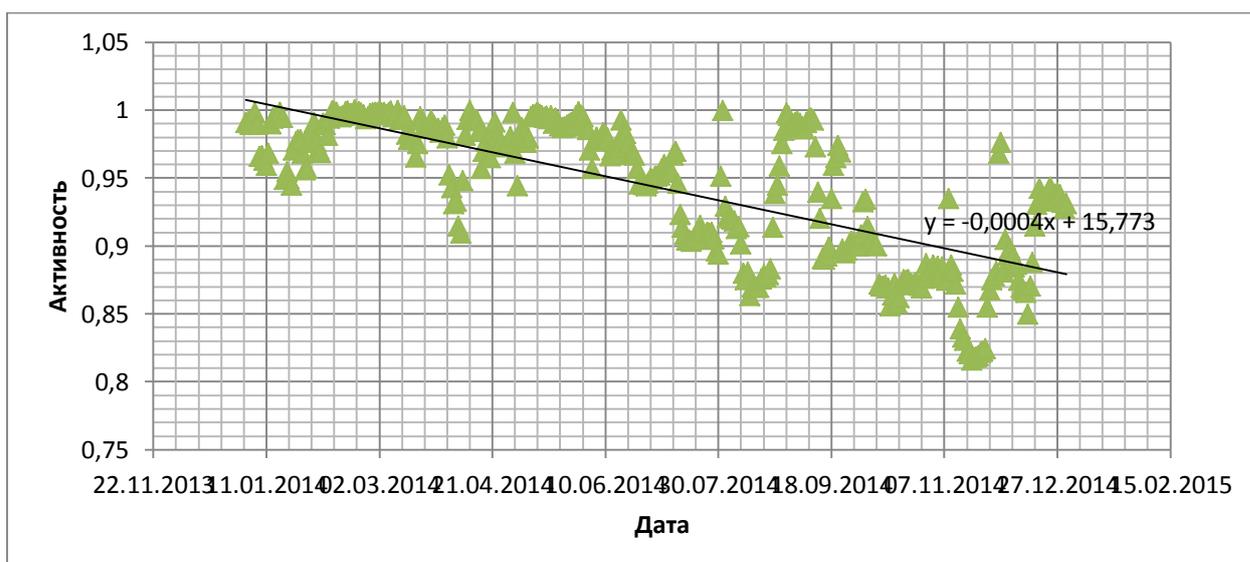


Рисунок 3.8 – Изменение активности катализатора в течение 2014 года

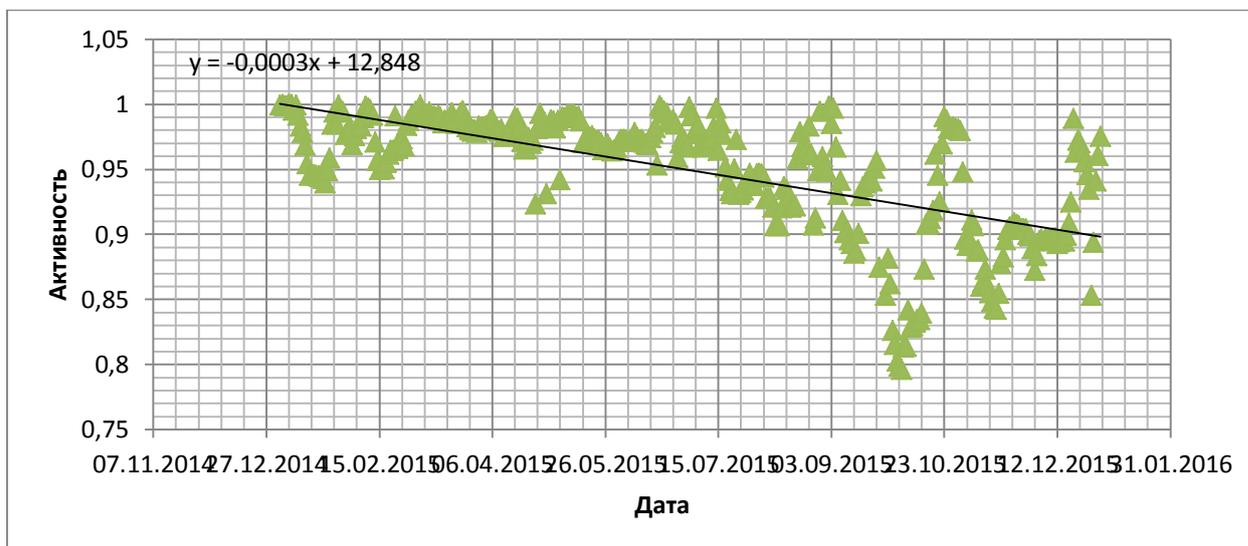


Рисунок 3.9 – Изменение активности катализатора в течение 2015 года

Сравнивая изменение активности катализатора со временем в 2013 году в первом и втором реакторах, выявляется аналогичная зависимость. Температура в реакторе 2 выше, чем в реакторе 1. Температурный интервал составляет $329,5 - 359^{\circ}\text{C}$, активность катализатора снизилась с 1 до 0,858 (рис. 3.7).

Высокая активность катализатора сохранялась в 2014 году на протяжении всей работы установки (рис. 3.8). Среднее значение активности составляет 0,942. Такой результат работы катализатора осуществляется за счет поддержания температуры на требуемом уровне ($T_{\text{ср}}=360^{\circ}\text{C}$).

Благодаря замене слоя катализатора в 2015 году, значения активности были стабильны и высоки, а температура процесса не претерпевала значительных изменений и составляла в среднем 358°C (рис. 3.9).

Исходя из анализа результатов, можно сделать вывод, что изменение активности в первом и втором реакторах подобны и не имеют каких – либо видимых различий. Наиболее высокая температура в реакторе 2 обеспечивает компенсацию дезактивации катализатора. Также, увеличение температуры приводит к более полному удалению сернистых соединений из топлива.

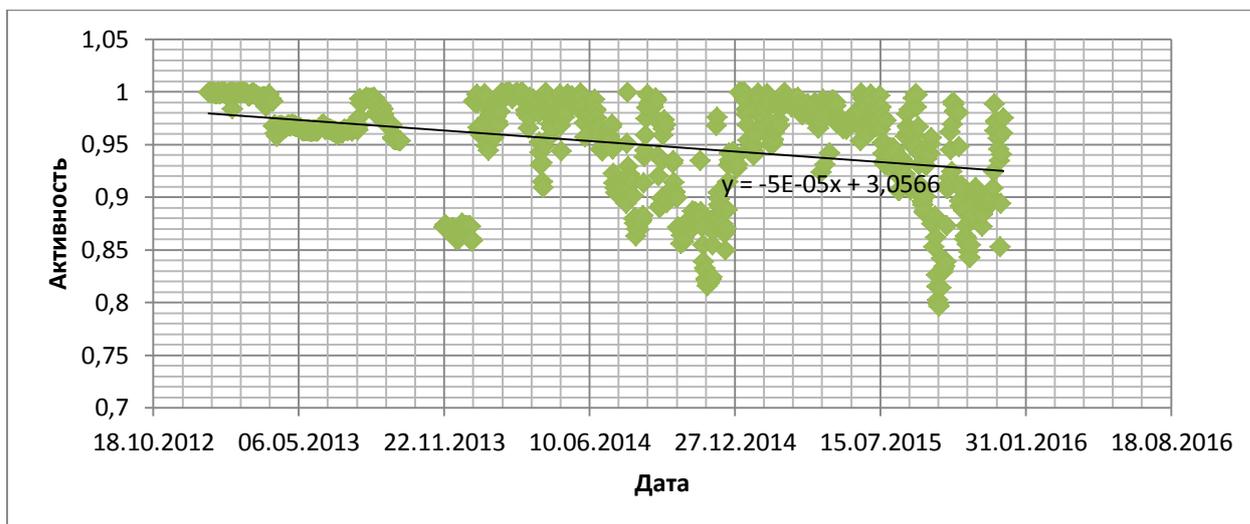


Рисунок 3.10 – Изменение активности с течением времени

На рисунке 3.10 представлено изменение активности катализатора за весь период работы установки. В начале цикла активность составляла 1, в конце – 0,913. Средняя температура процесса 351 °С.

Активность катализатора на установке Л-24-10/2000 ООО «КИНЕФ» может быть представлена уравнением $y = -9E-05x + 4,6928$ для первого реактора и уравнением $y = -5E-05x + 3,0566$ для второго. Видно, что коэффициенты А и Б в уравнениях линейной зависимости для первого и второго реактора близки по значениям. Из этого следует, что функцию активности для обоих реакторов можно описать средним уравнением, либо исходя из уравнения одного реактора, можно предположить как будет вести себя второй.

Анализ скорости дезактивации катализаторов с течением времени

Дезактивация катализатора гидроочистки приводит к необходимости повышать температуру процесса по мере уменьшения величины активности катализатора, к уменьшению выхода целевой дизельной фракции, к увеличению выхода тяжелой и газовой фракций, а также к увеличению гидравлического сопротивления слоя катализатора. Очевидно, все это приводит к перерасходу энергии, снижению мощности установки.

Потеря активности происходит вследствие частичного или полного выключения активной поверхности катализатора. На поверхности катализатора накапливается кокс, который покрывает активную поверхность катализатора, прекращая доступ к ней молекул сырья.

Под температурным воздействием происходит рекристаллизация металлов, приводящая к уменьшению удельной поверхности катализатора или числа активных центров на единице его поверхности. Механические и термические воздействия на катализатор приводят к постепенному разрушению его частиц [2].

На графиках 3.11 – 3.15 представлена зависимость изменения скорости дезактивации катализатора первого ректора с течением времени.

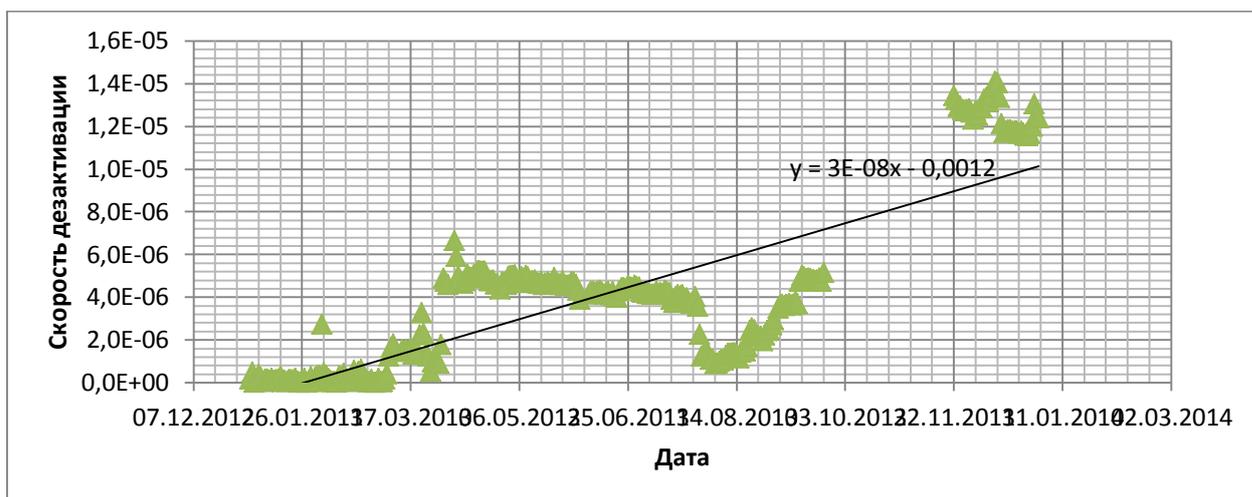


Рисунок 3.11 – Изменение скорости дезактивации катализатора в 2013 году

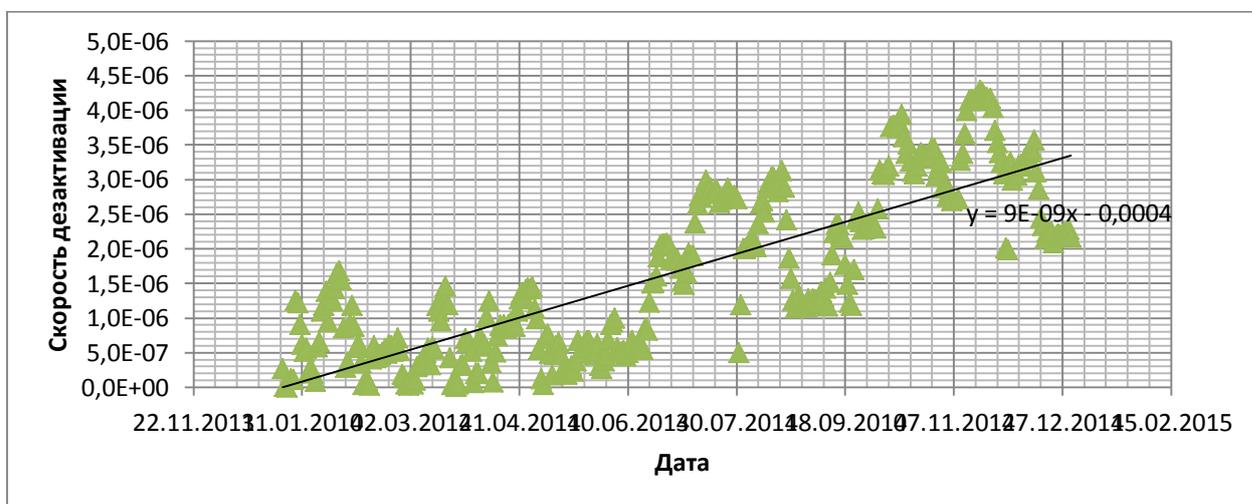


Рисунок 3.12 – Изменение скорости дезактивации катализатора в 2014 году

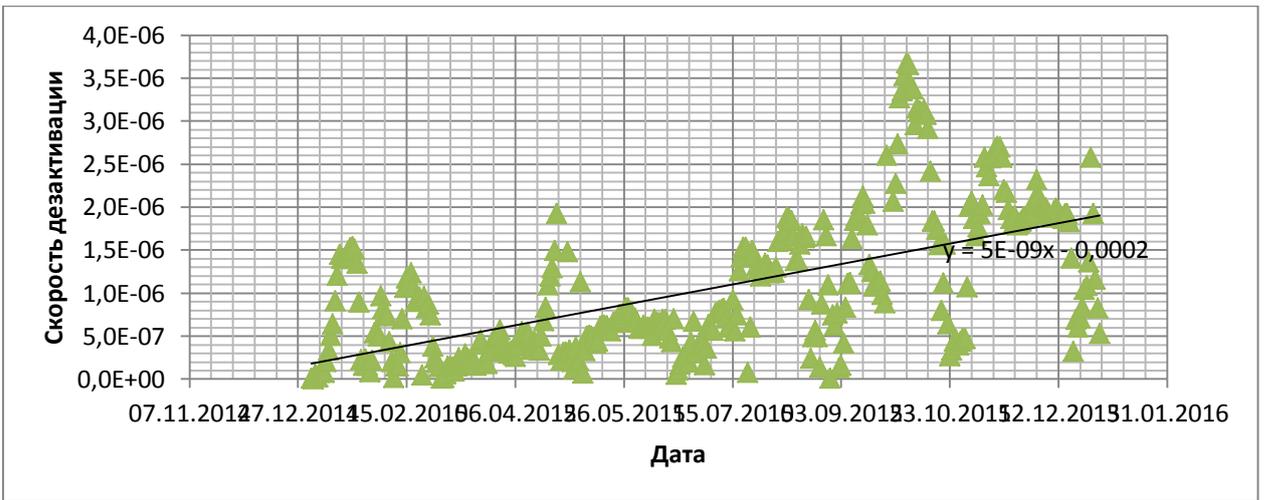


Рисунок 3.13 – Изменение скорости дезактивации катализатора в 2015 году

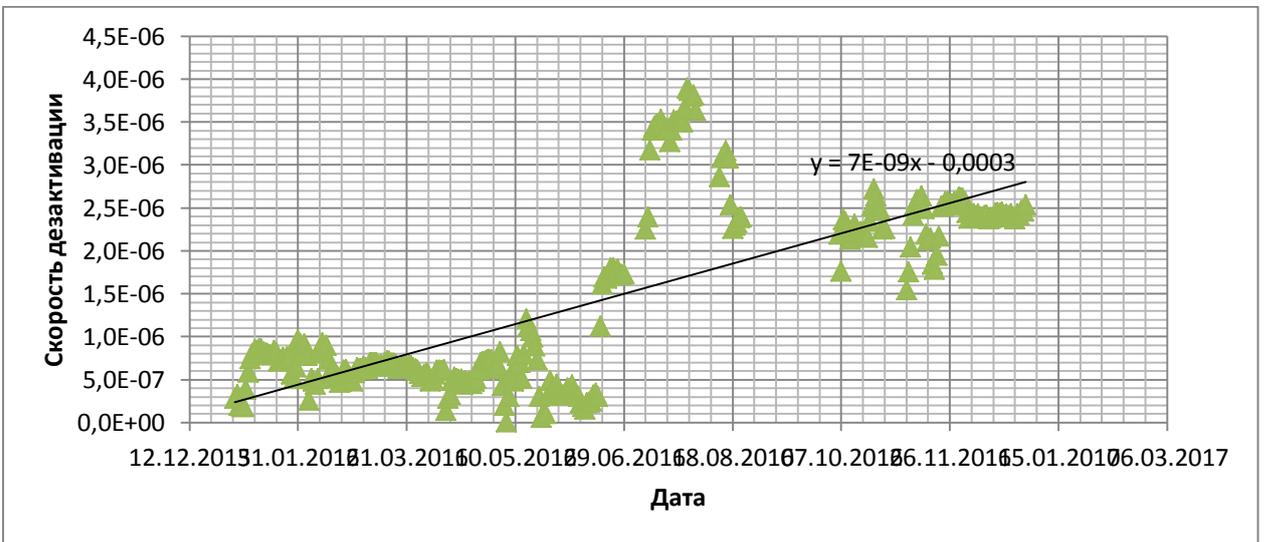


Рисунок 3.14 – Изменение скорости дезактивации катализатора в 2016 году

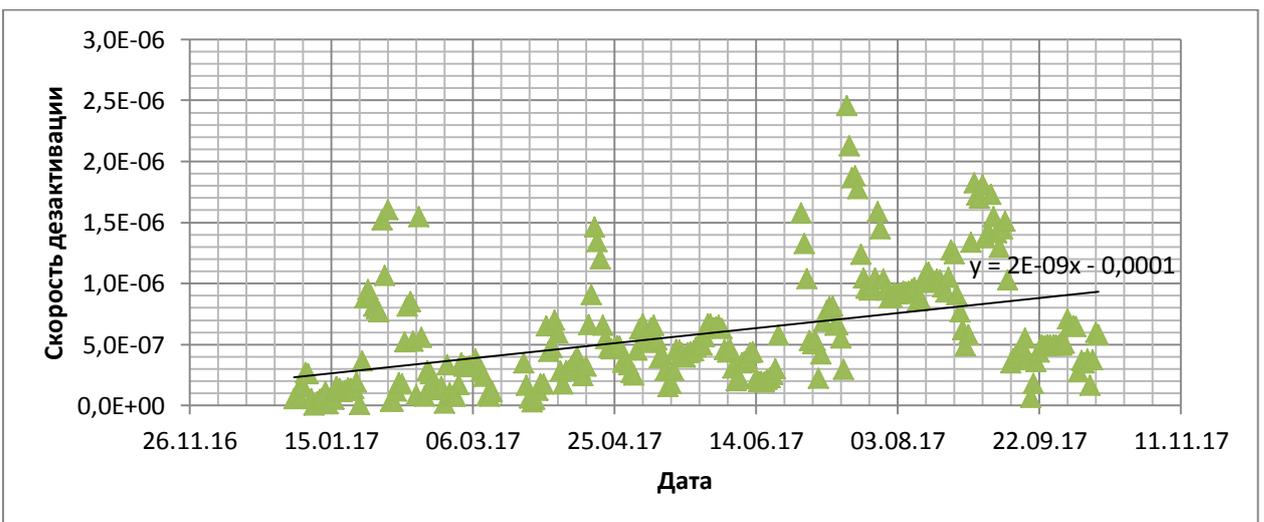


Рисунок 3.15 – Изменение скорости дезактивации катализатора в 2017 году

На графиках 3.11 – 3.15 наблюдается обратная зависимость изменению активности катализатора со временем. К концу каждого года работы установки скорость дезактивации катализатора монотонно возрастает по мере увеличения температуры процесса.

Дезактивация катализаторов связана с забивкой пор коксом и отложениями металла, что приводит к изменению во времени концентрации и температуры в каждой пространственной точке реактора.

В 2013 году произошла быстрая дезактивация в конце цикла работы, что может быть объяснено закупоркой пор в какой – то момент времени.

Благодаря замене катализатора в 2015 году дезактивация в период 2015-2017 года была не так высока, так как наблюдалась большая активность катализатора, не меняющаяся в широких пределах.

Реактор 2

Проанализируем, как изменяется скорость дезактивации катализатора во втором реакторе (рис. 3.16-3.18).

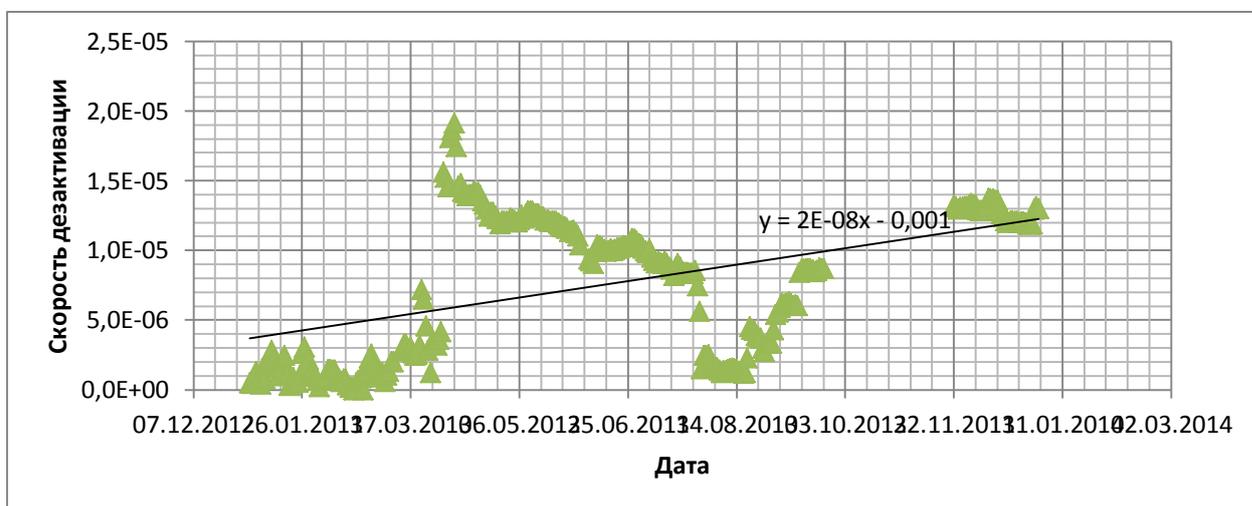


Рисунок 3.16 – Изменение скорости дезактивации катализатора в 2013 году

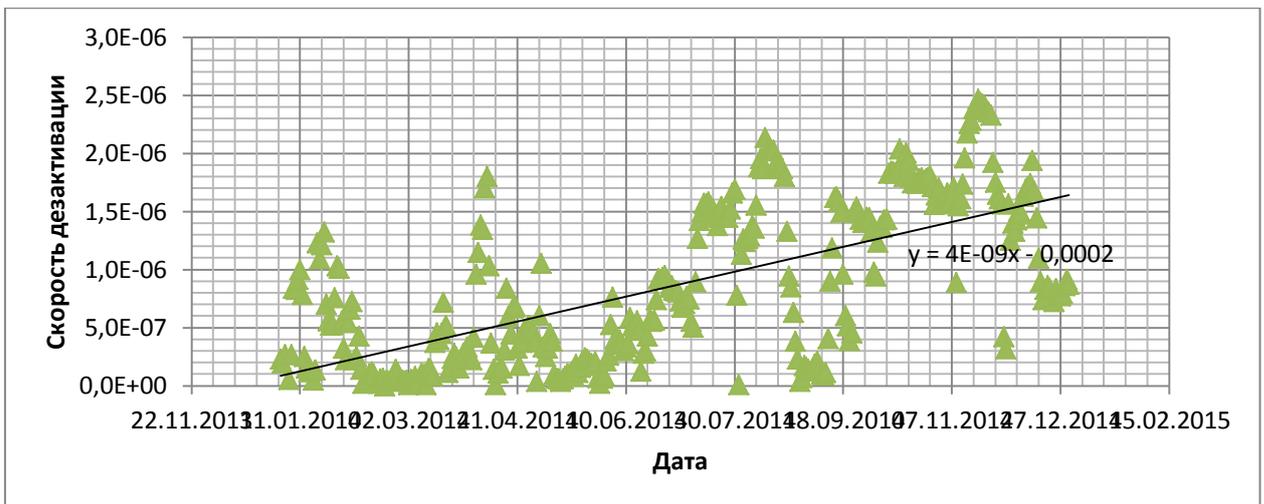


Рисунок 3.17 – Изменение скорости дезактивации катализатора в 2014 году

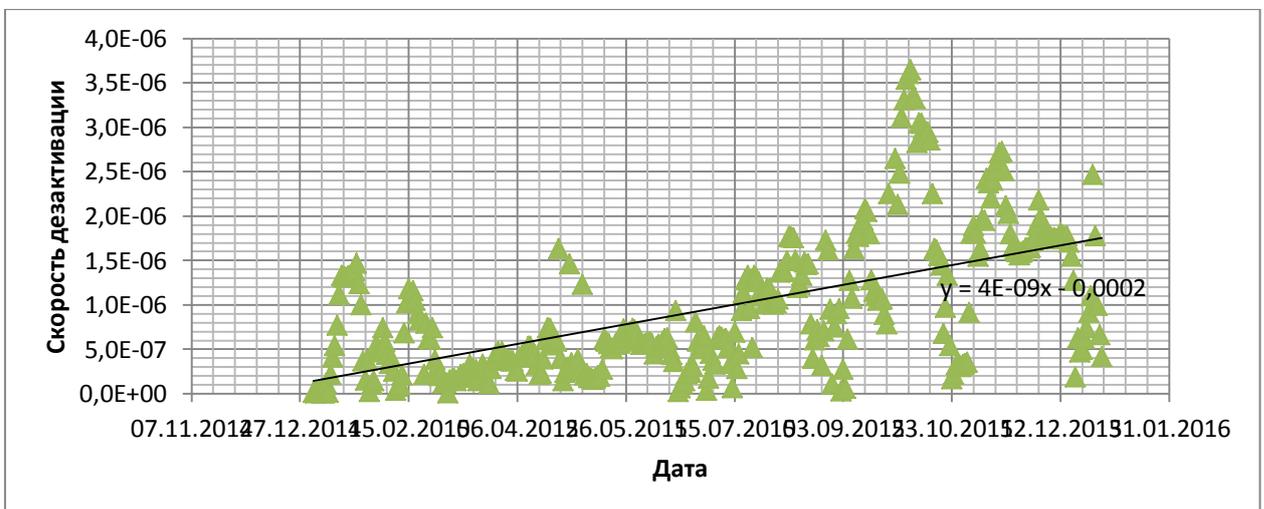


Рисунок 3.18– Изменение скорости дезактивации катализатора в 2015 году

Из графиков 3.16 – 3.18 мы можем выявить аналогичную зависимость дезактивации катализатора со временем, что и в первом реакторе. Исключение составляет 2013 год, в котором не происходит резкого повышения дезактивации, что связано с большей температурой проведения процесса и меньшей загрузкой сырья.

Из графиков общей дезактивации катализатора за весь период работы установки в первом и втором реакторах, представленных в приложениях В, получаем уравнения, описывающие скорость дезактивации катализатора, $y = -1E-09x + 6E-05$ – для первого, $y = -7E-09x + 0,0003$ – для второго. У коэффициентов А одинаковый порядок и близкие значения, коэффициенты Б

отличаются по степени, что можно объяснить различием в температуре и загрузке сырья реакторов.

3.3 Прогноз активности катализатора

Составим прогноз активности катализатора, исходя из анализа данных во втором реакторе, учитывая последовательное соединение реакторов. В период с 2013 по 2015 год температура процесса повысилась на 29° С. Примем максимальную температуру гидроочистки дизельного топлива, равной 400° С. Такая температура в реакторе будет достигнута приблизительно через 4 года. Достигнув максимальной температуры, произойдет полная дезактивация катализатора, ухудшение качества получаемой продукции, снижение интенсивности реакций гидрообессеривания и увеличение отложения кокса на катализаторе.

В среднем за год активность катализатора падала на 0,1. Из этого следует, что за 4 года работы установки активность снизится до 0,6, если не производить замену катализатора на новый, либо регенерацию.

Рассмотрим вариант повторной замены верхнего слоя катализатора. После замены в 2015 году температура процесса понизилась с 371 до ≈ 350 °С. За анализируемый период работы установки, отложения кокса составляют 17%. Из этого следует, что для достижения максимальной температуры в реакторе необходимо 7 лет. Это означает, что замена слоя катализатора значительно продлевает срок его службы, но такая длительная работа отрицательно отразится на активности катализатора и приведет к увеличению коксообразования. Следовательно, повторная замена катализатора является неэффективным решением проведения процесса.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1 Предпроектный анализ

Гидроочистка – один из наиболее распространённых процессов нефтепереработки и применяется практически на любом нефтеперерабатывающем заводе. В результате гидроочистки повышается термическая стабильность, уменьшается коррозионная агрессивность топлив, повышается теплота сгорания и цетановое число дизельного топлива.

Данная работа нацелена на исследование дезактивации катализаторов, что способствует увеличению сроку службы, подбору оптимальных условий проведения каталитической гидроочистки дизельного топлива и поддержания уровня активности катализатора при длительной работе установки. В связи с эти данная работа является энергоэффективной и экономически выгодной.

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.

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

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

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения [21].

Продукт: катализаторы гидроочистки дизельного топлива.

Целевой рынок: промышленные предприятия нефтеперерабатывающей отрасли.

		Катализаторы			
		ГО-70	HR-538 1.6	HR-945	ГП-497С
Компания	ООО «Кинеф»				
	ЗАО «Нижегородские Сорбенты»				
	АО «Рязанская нефтеперерабатывающая компания»				

Рисунок 4.1 – Сегментирование рынка по потреблению катализаторов гидроочистки дизельного топлива

На рисунке 4.1 мы можем наблюдать, какие катализаторы применяются в каждом из предложенных предприятий в процессе

гидроочистки дизельного топлива. Анализ рынка показал, что результаты исследования будут интересны и актуальны для компании ООО «Кинеф», так как катализаторы HR-538 1.6, HR-945 наряду с сверхглубоким гидрообессериванием обеспечивают деароматизацию смесового дизельного топлива с большим содержанием вторичных дистиллятов при среднем и высоком парциальном давлении водорода, являются идеальным решением для улучшения показателей цетанового числа, плотности и снижения полициклических ароматических углеводородов при переработке утяжеленных фракций дизельного топлива с высоким содержанием трудноудаляемых серосодержащих соединений.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

4.1.2.1 Анализ компаний, производителей реагентов

Для анализа конкурентных технических решений в экономическом исследовании, были заявлены катализаторы трех фирм производителей:

1. Катализаторы HR-945 и HR-538 фирмы AXENS.

Axens – подразделение Французского института нефти (IFP), полностью принадлежащее компании IFP Energiesnouvelles. Компания Axens была создана в 2001 г. при слиянии компании Прокатализ (ProcatalyseCatalystsandAdsorbents) с промышленным подразделением IFP, которое специализировалось на лицензировании технологий и предоставлении технической поддержки. Растущий спрос на снижение капитальных затрат, экономию эксплуатационных расходов, снижение выбросов, повышение выходов, облегчение эксплуатации и сокращение времени простоев требует применения многочисленных усовершенствований. Научно-исследовательские и программы Axens направлены на разработку новых процессов и продуктов, а также на усовершенствование существующих, с целью наилучшего удовлетворения потребностей заказчиков.

Это лучший выбор на рынке производства высококачественного ультранизкосернистого дизельного топлива (УНДТ). Специальная конструкция этих катализаторов ограничивает полимеризацию олефинов и диолефинов и, следовательно, образование кокса даже при низком парциальном давлении водорода. В результате получается более продолжительный цикл работы. Их можно использовать в сочетании с любыми катализаторами серии HR.

2. Катализатор ГО-70 Рязанского нефтеперерабатывающего завода.

Закрытое акционерное общество “Промышленные катализаторы” (ЗАО “Промкатализ”) было создано в 1999 г. на базе катализаторной фабрики Рязанского нефтеперерабатывающего завода. Работа в условиях жёсткой конкуренции значительно отразилась как на системе управления предприятием, так и на ассортименте продукции. За последние годы в номенклатуре предприятия появились новые катализаторы серий ТНК, ПР, RU, СИ, новые типы адсорбентов (АХВ, ССВ и др.).

Преимуществом катализаторов ГО-70 является повышенная механическая прочность, каталитическая активность в процессах удаления серосодержащих и ароматических соединений в сочетании с длительным сроком службы. При стабильной работе обеспечивает качество дизельного топлива, соответствующего стандартам ЕВРО-3, ЕВРО-4

3. Катализатор ГП-497С предприятия Нижегородские сорбенты.

Предприятие находится в центральной полосе России в городе Нижний Новгород. Основано на базе Опытного завода Всесоюзного научно-исследовательского института по переработке нефти и газа, созданного в 1957 году. ЗАО "Нижегородские Сорбенты" сочетает большой научный потенциал, накопленный за годы совместной работы с ведущими институтами (ВНИИ НП, ВНИИ Нефтехим, институт катализа РАН, ВНИИ ОС, САПР-Нефтехим, ВНИПИ газпереработка) и заводами отрасли, с производственной базой по выпуску катализаторов и разнообразных цеолитов.

Катализаторы ЗАО "Нижегородские Сорбенты"-это:

- высокая механическая прочность;
- минимальное образование пыли при загрузке в реактор;
- минимальный перепад давления в реакторах;
- высокая каталитическая активность и стабильность работы в жестких режимах эксплуатации;
- хорошая регенерируемость;
- совместимость с другими катализаторами.

4.1.2.2 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 [21]. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

В таблице 4.1 представлен сравнительный анализ катализаторов, используемых в рамках выполнения ВКР и двух конкурентных моделей, где к1 – промышленные катализаторы HR-945 и HR-538, к2 – промышленный катализатор ГО-70, к3 - промышленный катализатор ГП-497С.

Таблица 4.1 –Оценочная карта для сравнения конкурентных промышленных катализаторов

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б1	Б _{к1}	Б _{к2}	К _{к1}	К _{к2}	К _{к3}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	3	0,5	0,45	0,3

2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,08	4	3	3	0,32	0,24	0,24
3. Надежность	0,05	4	5	3	0,4	0,45	0,3
4. Простота эксплуатации	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
5. Межрегенерационный пробег	0,09	4	3	4	0,36	0,27	0,36
6. Степень обессеривания	0,09	5	4	4	0,4	0,36	0,36
7. Регенерируемость	0,9	4	4	5	0,36	0,36	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,08	5	5	4	0,4	0,4	0,32
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
3. Цена	0,07	5	3	4	0,35	0,21	0,28
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,09	5	4	3	0,4	0,36	0,27
5. Послепродажное обслуживание	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
6. Финансирование научной разработки	0,05	5	3	5	0,25	0,15	0,25
8. Наличие сертификации разработки	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
Итого	1	65	56	56	4,94	4,3	4,44

Производительность труда – это показатель эффективности затрат живого труда. Она определяется затратами рабочего времени на единицу продукции или количеством продукции, выработанной в единицу рабочего времени. В рамках данной темы ВКР этот критерий будет оцениваться объемом производства гидроочищенного дизельного топлива.

Удобство в эксплуатации. Катализаторы должны иметь высокую активность, большую площадь геометрической поверхности, низкое

газодинамическое сопротивление, высокую механическую прочность и термостойкость, быстро нагреваться до рабочей температуры.

Надежность работы катализатора заключается в его влиянии на работу реактора. Катализатор должен обеспечивать максимально низкий перепад давлений, тем самым поддерживая температуру на минимально допустимом уровне и исключая перегрев стенок реакционных труб.

Простота эксплуатации заключается в способе загрузки катализатора, а также регулировке условий проведения процесса с помощью ввода параметров системы.

Межрегенерационный пробег – это время службы катализатора между периодами его восстановления.

Степень обессеривания – главный показатель качества получаемого продукта.

Регенерируемость катализатора определяется легкостью удаления углистых отложений с его поверхности при минимальной потере активности, в значительной мере зависит от размера пор.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле [21]:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Исходя из данных таблицы $K1$ наиболее выгоден. К конкурентным преимуществам производимого продукта, можно отнести: простоту эксплуатации, конкурентоспособность, а также предполагаемый срок эксплуатации, что немало важно для катализатора. Эти качества помогут завоевать доверие покупателей путем предложения товара высокого качества со стандартным набором определяющих его параметров.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT- анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [22].

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде [22].

Таблица 4.2 – Матрица SWOT.

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Потенциальная экономичность и энергоэффективность</p> <p>С2. Потенциал для повышения экологичности производства</p> <p>С3. Возможность ускорить разработку новых катализаторов</p> <p>С4. Потенциальное улучшение качества дизельного топлива</p> <p>С5. Возможность проведения необходимых исследований без участия промышленной установки</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Недостаточная точность проведения испытания</p> <p>Сл2. Неподтвержденность некоторых теоретических обоснований;</p> <p>Сл3. Приобретение необходимых экспериментальных данных по составу сырья и продукта с промышленной установки.</p> <p>Сл4. Отсутствие образцов катализатора для проведения реального эксперимента</p> <p>Сл5. Стандартные методы продвижения на рынке</p>
Возможности:	1. Разработка	1. Ограниченность

<p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Использование полученных данных предприятия нефтепереработки для оптимизации процесса производства дизельного топлива</p> <p>В4. Уменьшение значимости или достоинства конкурентных разработок</p>	<p>математической модели процесса гидроочистки дизельного топлива с целью перехода к более совершенным технологиям, конструкциям оборудования и новым катализаторам</p> <p>2. Анализ производительности различных катализаторов, используемых в этом процессе.</p>	<p>экспериментальных данных с промышленной установки.</p> <p>2. Моделирование всей технологической схемы процесса, с целью прогнозирования промышленных данных</p> <p>3. Разработка научного исследования</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Развитая конкуренция</p> <p>У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p>	<p>1. Продвижение катализаторов с целью создания спроса</p> <p>2. Развитие конкурентной среды</p> <p>3. Введение в модель чувствительности к составу сырья и создание базы катализаторов</p>	<p>1. Необходима дальнейшая разработка модели и её уточнение</p> <p>2. Продвижение проекта с целью создания спроса</p> <p>3. Заключение договорённостей о поставках катализатора для анализа</p> <p>4. Дальнейший поиск теоретических законов и зависимостей, позволяющих повысить обоснованность модели</p> <p>5. Приобретение необходимого оборудования для</p>

		проведения испытаний опытного образца
--	--	--

После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации второго этапа, который состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта (табл. 4.3). Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» – сильное соответствие сильных сторон возможностям, либо знаком «-» – слабое соответствие; «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-» [22].

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	-	-	+	+
	B2	+	+	+	+	0
	B3	+	-	-	+	+
	B4	+	+	0	+	+
Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	-	0
	У2	+	+	+	+	+
	У3	-	+	-	+	-
Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	-	+	0
	B2	-	-	0	-	+
	B3	-	-	+	0	-

		B4	+	+	+	-	-
Слабые стороны проекта							
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5	
	У1	+	+	-	+	0	
	У2	+	+	+	+	0	
	У3	-	-	+	-	-	

В том случае, если две возможности сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, можно говорить об их единой природе.

Далее должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в табл. 4.4.

Таблица 4.4 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно - исследовательского проекта:</p> <p>С1. Возможность проведения необходимых исследований без участия промышленной установки</p> <p>С2. Экономичность и энергоэффективность технологии</p> <p>С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.</p> <p>С4. Актуальность промышленной технологии</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2. Отсутствие экспериментальных образцов для проведения анализа.</p> <p>Сл3. Ограниченность экспериментальных данных с промышленной установки.</p> <p>Сл.4 Отсутствие бюджетного финансирования.</p>
--	--	---

<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на продукт</p> <p>В3. Уменьшение значимости или достоинства конкурентных разработок</p>	<p>Данные исследования используются для выбора наиболее оптимальных катализаторов гидроочистки (В2С2С3С4). Простота применения, адекватность разработки, использование более свежей информации в проекте увеличит спрос и конкурентоспособность (В1В2В3С1С3).</p> <p>Невысокая затратность исследования может привлечь больше исполнителей (В1С2).</p>	<p>Помощь специалистов и оборудования ТПУ в совершенствовании продукта (В1С1С2С3).</p> <p>Необходимо снизить конкурентоспособность подобных разработок и расширить использование данного проекта во многих компаниях (В3В4Сл1Сл2).</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии</p> <p>У2. Развитая конкуренция</p> <p>У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p>	<p>Использование более новой информации, простота и адекватность математической модели позволяют повысить спрос и конкуренцию разработки, что уменьшает влияние финансирования (У1У2С2С3С4).</p> <p>Продвижение новой технологии с целью появления спроса на усовершенствованную модель (У2С1)</p>	<p>Отсутствие прототипа, сертификации научной разработки, приведет к отсутствию спроса и отсутствию конкуренции проекта (У1У2Сл1Сл2Сл3), а отсутствие финансирования приведет к невозможности получения сертификации (У3Сл4).</p>

4.2 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке [23]:

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

В таблице 4.5 составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ.

Таблица 4.5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, бакалавр,
	4	Патентный обзор литературы	Бакалавр
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов	Бакалавр
Проведение ВКР			
Разработка технической документации и	7	Оценка эффективности производства и применения разработки	Бакалавр, консультант по экономической

проектирование			части
	8	Разработка социальной ответственности по теме	Бакалавр, консультант социальной ответственности
Оформление комплекта документации по ВКР	9	Разработка необходимых чертежей	Бакалавр
		Составление пояснительной записки	Бакалавр

4.2.1 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Наиболее сложным этапом в создании инновации является введение результатов научно-технических разработок на рынок, или так называемая коммерциализация. Чтобы понять, насколько исследуемый проект готов к коммерциализации, необходимо оценить степень проработанности проекта. Для этого необходимо заполнить форму в табл.4.6, приведенную ниже.

Таблица 4.6– Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	5

	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	4
	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	5
	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	4
	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	4
	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	3
	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	2
	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
	Проработан механизм реализации научного проекта	2	3
	ИТОГО	45	51

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле [23]:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (4.2)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению; B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{сум}}$ получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Значение степени проработанности научного проекта $B_{\text{сум}}=45$ и уровня имеющихся знаний у разработчика $B_{\text{сум}}=51$ позволяет говорить о перспективности выше среднего готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации.

4.2.2 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

В качестве метода коммерциализации выбран проектный инжиниринг. Анализ рынка, проведенный ранее, показал, что для данного проекта целевым потребителем (Заказчиками) выступает российская компания ООО «КИНЕФ». Выбор инжиниринга в качестве метода коммерциализации позволит проецировать результаты исследования на аналогичные процессы, а также позволит использовать работу в качестве шаблона, последовательности определенных операций для выполнения исследований других процессов [23].

4.3 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта [23]. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

В табл. 4.7 представлены цели проекта и ожидаемые результаты.

Таблица 4.7 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Изучение дезактивации катализатора с целью разработка адекватной математической модели для анализа технологии установки гидроочистки дизельного топлива для получения продукта с конкурентными преимуществами, с оптимальной себестоимостью, высоким качеством и инжиниринговой услугой
Ожидаемые результаты проекта:	Нахождение активности и дезактивации катализаторов. Прогнозирование параметров процесса с целью выявления длительности работы катализаторов
Критерии приемки результата проекта:	Расчет активности и дезактивации катализатора, применимость прогнозов по работе катализатора, адекватность результатов

4.3.1 Организационная структура проекта

В табл. 4.8 представлены участники данного проекта и функции, которые они выполняют.

Таблица 4.8 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Кривцова Надежда Игоревна, НИ ТПУ, кафедра ХТТ и ХК, к. т. н.	Руководитель проекта	Координация деятельности проекта	100
2	Машнич Вероника Викторовна, НИ ТПУ, кафедра ХТТ и ХК, бакалавр	Исполнитель по проекту	Выполнение ВКР	400
ИТОГО:				500

4.4 Планирование научно-исследовательских работ

4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе составлен перечень этапов проведения работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждения технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Выбор направления исследования	Руководитель

	3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	Бакалавр
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Бакалавр
Теоретическое обоснование и проведение экспериментальных исследований	5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	Руководитель, Бакалавр
	6	Построение моделей и проведение экспериментов	Бакалавр
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Бакалавр
Обобщение полученных результатов, выводы по проделанной работе	8	Оценка эффективности проведенных исследований	Руководитель
	9	Определение целесообразности проведения ВКР	Бакалавр
Проведение ВКР			Бакалавр
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка принципиальной схемы	Бакалавр
	11	Оценка эффективности производства	Бакалавр
	12	Сбор информации по охране труда	Бакалавр
	13	Оформление результатов по охране труда	Бакалавр

	14	Подбор данных для выполнения экономической части работы	Бакалавр
	15	Оформление экономической части работы	Бакалавр
Оформление отчета по ВКР	16	Составление пояснительной записки	Руководитель, Бакалавр
	17	Сдача работы на рецензию	Бакалавр
	18	Предзащита	Бакалавр, Руководитель,
	19	Подготовка к защите дипломной работы	Бакалавр
	20	Защита дипломной работы	Бакалавр, Руководитель

4.4.2 План проекта

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей. В таблице 4.10 представлен календарный план проекта.

Таблица 4.10 – Календарный план проекта

Название	Время, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Изучение литературы, составление литературного обзора	50	15.01	5.03	Машнич Вероника Викторовна, Кривцова Надежда Игоревна

Расчет по полученным экспериментальным данным с НПЗ	15	13.03	28.03	Машнич Вероника Викторовна, Кривцова Надежда Игоревна
Обсуждение полученных результатов	10	30.03	08.04	Машнич Вероника Викторовна, Кривцова Надежда Игоревна
Оформление выводов	15	9.04	24.04	Машнич Вероника Викторовна, Кривцова Надежда Игоревна
Оформление пояснительной записки	35	25.04	30.05	Машнич Вероника Викторовна, Кривцова Надежда Игоревна
И т о г о:	125	15.01	30.05	

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм(гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [24].

На основе табл. 4.10 построен календарный план-график (табл.4.11) по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам за период времени дипломирования.

Таблица 4.11 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Вид работ	Исполнители	Т _{к, кал,} дн	Продолжительность выполнения работ														
			январь			февраль			март			апрель			май		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Составление литературного обзора	Бакалавр, руководитель		[Грayscale shading]									[White]					
			[Grid shading]									[White]					
Расчет по полученным экспериментальным данным с НПЗ	Бакалавр, руководитель		[White]									[Grayscale shading]					
			[White]									[Grid shading]					

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 4.12 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Дизельное топливо	л	1,5	1,3	1,7	32	40	30	48	52	51
Этанол	л	0,9	0,8	1,2	200	180	210	180	144	252
Гексан	л	1,2	0,9	1,5	280	280	280	336	252	420
Бензол	л	0,8	0,7	1,0	410	400	450	328	280	450
Оксид алюминия	кг	1	1	1	420	440	410	420	440	410
Итого								1312	1168	1173

Расчет затрат на специальное оборудование для научных(экспериментальных) работ

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблице 4.13.

Таблица 4.13 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, руб.			Общая стоимость оборудования, руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	СпектросканS	1	1	1	5500 00	1500 000	7500 00	5500 00	1500 000	7500 00
2.	Бюксы	3	3	4	120	100	125	360	300	500
3.	Пленка	1	1	1	2450	1500	2150	2450	1500	2150
4.	Мерный цилиндр	2	3	2	90	105	80	180	315	160
5.	Кипелки	1	1	1	1400	1200	1450	1400	1200	1450
6.	Аналитические весы	1	1	1	1500 0	2100 0	1700 0	1500 0	2100 0	1700 0
7	Компьютер	1	1	1	1500 0	1500 0	1500 0	1500 0	1500 0	1500 0
Итого								5843 90	1520 415	7862 60

Расчет заработной платы исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии и доплаты) и дополнительную заработную плату. Также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада [24]:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.4)$$

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле [24]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (4.5)$$

Дополнительная заработная плата рассчитывается формуле [24]:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (4.6)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,07%)

В таблице 4.14 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 4.14–Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	41	75
Количество нерабочих дней выходные дни:	17	17
праздничные дни:	2	2
Потери рабочего времени отпуск:	0	0
невыходы по болезни:	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	22	56

Расчет основной заработной платы сводится в табл. 4.15.

Таблица 4.15 -Расчет основной заработной платы

Исполнители	Основная заработная плата			Дополнительная заработная плата, руб.
	Трудоемкость , чел.-дн. Тр	Заработная плата приходящаяся на один чел.-дн. Руб/дн	Месячная зарплата, руб./мес.	
Руководитель	21	1500	31500	2200
Бакалавр	80		2400	
Итого		33900		2200
Расходы по заработной плате исполнителей темы				36100

Отчисления на социальные нужды – это такая статья, которая включает в себя отчисления во внебюджетные фонды [24].

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

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

Таблица 4.16 – Отчисления на социальные нужды

Исполнитель	Зарботная плата исполнителей темы	Социальные отчисления			
		ПФР (22%)	ФСС (2,9%)	ФОМС (5,1%)	Страхование по классу опасности (0,5%)
Руководитель проекта	31500	6930	913,5	1606,5	157,5
Итого		9607,5			

4.4 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 [24]:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.7)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

4.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который

при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 4.16.

Таблица 4.16 -Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исполнитель 1	Исполнитель 2	Исполнитель 3
1. Материальные затраты НИИ (Сырье)	1312	1168	1173
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	584390	1520415	786260
3. Затраты на электроэнергию	4600	8400	5000
4. Затраты по заработной плате исполнителей темы	36100	34300	41560
5. Социальные отчисления	9607,5	10461,5	12675,8
6. Накладные расходы	101760	251960	135467
7. Бюджет затрат НИИ	737769	1826703	982137

4.6 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 [25].

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более)

вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 22). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как [25]:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.8)$$

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

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

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом [25]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.9)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 4.17).

Таблица 4.17 - 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	5	4	3
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	3	3
3. Энергосбережение	0,15	5	4	3
4. Надежность	0,20	4	5	3
5. Помехоустойчивость	0,25	5	4	5
6. Материалоемкость	0,15	3	2	3
ИТОГО	1	31	22	20

$$I_m^p = 4,35$$

$$I_1^A = 3,75$$

$$I_2^A = 3,50$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле [25]:

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

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (4.10)$$

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} = \frac{4,35}{0,40} = 10,88$$

$$I_{финр}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_\phi^{a1}} = \frac{3,75}{0,54} = 6,94$$

$$I_{финр}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_\phi^{a2}} = \frac{3,50}{1} = 3,50$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^{a1}} = \frac{10,88}{10,88} = 1$$

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^{a2}} = \frac{6,94}{10,88} = 0,64$$

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^{a2}} = \frac{3,50}{10,88} = 0,32$$

где \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта; $I_{мэп}$ – интегральный показатель разработки; $I_{мэа}$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 4.18 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,40	0,54	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,35	3,75	3,50

3	Интегральный показатель эффективности	10,88	6,94	3,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,64	0,32

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило определить, что существующий вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является наиболее приемлемым.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Увеличение объема производства нефтепродуктов, расширение их ассортимента и улучшение качества – основные задачи, поставленные перед нефтеперерабатывающей промышленностью в настоящее время. Современный мировой рынок предъявляет жесткие требования к качеству нефтепродуктов, в том числе и дизельных топлив.

Фракции, получаемые при первичной переработке сернистых нефтей, не могут быть использованы, как готовые нефтепродукты из-за присутствия в них сернистых, азотистых, кислородсодержащих и других соединений, которые снижают мощности двигателей и наносят огромный вред окружающей воздушной среде выделениями диоксидов серы, азота и других вредных веществ. Наилучшим способом очистки топлива от указанных соединений является процесс гидроочистки.

Гидроочистка - это эффективный и рентабельный процесс для повышения качества нефтяных топлив путем удаления сернистых, смолистых, непредельных соединений и других примесей, ухудшающих эксплуатационную характеристику топлив. В результате гидроочистки повышается термическая стабильность, уменьшается коррозионная агрессивность топлив, повышается теплота сгорания и цетановое число дизельного топлива.

5. 1 Производственная безопасность

5.1.1 Анализ вредных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования

Объектом исследования является промышленная установка гидроочистки дизельного топлива Л-24/6 ООО «КИНЕФ».

Установка гидроочистки дизельного топлива относится к взрывопожароопасным производствам. К вредным и опасным производственным факторам, присущим данной установке, относятся физические, химические и психофизиологические факторы. Биологические факторы при эксплуатации установки отсутствуют [2,3].

К числу физических факторов относятся:

1) наличие приводных механизмов и вращающихся частей оборудования (движущиеся и вращающиеся части насосов, компрессоров, вентиляторов и вентиляционных установок), что в случае неисправности ограждающих устройств или неосторожности при работе создает опасность получения механических травм;

2) использование в качестве теплоносителя водяного пара высокого давления, ведение технологического процесса при повышенных температурах (до 130 °С), что при нарушении теплоизоляции трубопроводов, аппаратов создает опасность термических ожогов;

3) наличие большого количества силового оборудования (электродвигатели, пусковые кнопки), что при эксплуатации и ремонте создает опасность поражения электрическим током;

4) возможность образования зарядов статического электричества при перемещении по трубопроводам диэлектрических жидкостей, что создает опасность образования искры;

5) повышенный уровень рабочей зоны на высоте создаёт опасность получения механических травм;

б) повышенный уровень шума и вибрации, повышенная температура поверхностей оборудования.

7) опасности, вызванные нарушениями правил безопасности, работающими при эксплуатации опасных производственных объектов (оборудования, трубопроводов, механизмов и агрегатов) создаёт опасность получения термических ожогов, отравлений, механических травм и поражения электрическим током;

8) работа на высоте может привести к травмам в случае нарушения ограждений.

К химическим факторам относятся опасные и вредные производственные факторы, которые подразделяются по характеру воздействия на организм человека на общетоксические (бензин, углеводородный газ, МДЭА, дизельное топливо) и раздражающие (дизельное топливо, сероводород, катализатор гидроочистки, МДЭА) и проникают в организм человека через органы дыхания, кожные покровы и слизистые оболочки.

К психофизиологическим факторам относят опасные и вредные производственные факторы, которые по характеру действия подразделяются на следующие:

а) физические перегрузки;

б) нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Физические перегрузки подразделяются на:

а) статические;

б) динамические (динамические физические перегрузки обслуживающего и ремонтного персонала создаёт опасность получения механических травм).

Для безопасной работы весь обслуживающий персонал установки необходимо обеспечить следующими средствами защиты [13]:

- специальной одеждой - хлопчатобумажные костюмы, рукавицы комбинированные, защитные очки, ботинки кожаные, диэлектрические калоши и перчатки для машинистов;

- резиновый фартук, резиновые перчатки для работы с раствором МЭА; - средствами для защиты органов дыхания от кислых и органических паров и газов фильтрующими противогазами марки «БКФ»;

- во время проведения работ при содержании газа в воздухе более 0,5% об. и концентрации кислорода менее 18% об., а также при работе внутри емкостей, колонн, колодцев и при ямках необходимо предусмотреть шланговые противогазы ПШ-1,2;

- медицинской аптечкой с необходимым набором медикаментов для оказания пострадавшему первой медицинской помощи.

5.1.1.1 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Рациональное освещение помещений и рабочих мест один из важнейших элементов благоприятных условий труда. При правильном освещении повышается производительность труда, улучшаются условия безопасности, снижается утомляемость.

В производственных помещениях могут быть предусмотрены следующие виды освещения: естественное, искусственное, совмещенное.

Согласно СНиП 23-05-95 производственное освещение подразделяют на естественное и искусственное [4]. Помещения с постоянным пребыванием людей имеют, как правило, естественное освещение.

Искусственное освещение предусмотрено в помещениях, в которых не хватает естественного света. Искусственное освещение может быть рабочее, аварийное – освещение безопасности и эвакуационное, охранное и дежурное. В операторной используется искусственное освещение.

Нормированная освещенность для рабочих составляет [4]:

1. Порядок рабочего освещения нормируется от разряда и подразряда зрительных работ. Разряд и подразряд зрительных работ насосной – VIII в. Нормированная минимальная освещенность рабочего освещения $E_n = 300$ лк.

2. При аварийном освещении не менее 2 лк;

3. Освещенность на путях эвакуации людей из помещений при аварийном освещении не менее 0,5 лк.

4. Освещение безопасности должно создавать на рабочих поверхностях наименьшую освещенность в размере 5% от рабочего, но не менее 2 лк внутри помещения и 1 лк на территории установки.

Источником освещения для помещения операторной являются лампы накаливания, разрядные лампы, галогенные лампы и лампы дуговые, люминесцентные высокого давления.

Для освещения производственного помещения используется тип светильника ЛД [5]. Расчет искусственного освещения и подбор ламп, необходимых для обеспечения нормируемой освещенности в помещении операторной [6-8].

5.1.1.2 Повышенный уровень шума

Источниками шума и вибрации на установке гидроочистки дизельного топлива являются насосы, компрессора, вентиляторы. В помещении операторной источниками шума являются вентиляторы системы ориентир. Уровень звукового давления в помещении операторной согласно СанПиН 2.2.4.3359-16 эквивалентный уровню звука – 80 дБА [9].

Для борьбы с шумом должны проводиться следующие мероприятия:

– размещение оборудования, являющегося источником шума в отдельных помещениях;

– использование СИЗ от шума;

– применение звукопоглощающих и звукоизолирующих материалов, конструкций;

– использование специальных кожухов на приводах шумных машин и механизмов.

Допустимые уровни шума на рабочих местах, общие требования к шумовым характеристикам машин, механизмов и другого оборудования установить в соответствии СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территориях жилой застройки».

5.1.1.3 Повышенный уровень вибрации

Вибрации оборудования на рабочих местах не превышают допустимых величин, однако нахождение в непосредственной близости с высокопроизводительными компрессорами в течение длительного времени может пагубно сказаться на здоровье работника. Предельно допустимый уровень вибрации на рабочем месте согласно СН 2.2.4/2.1.8.566-96 не должен превышать 87 Гц [10].

Высокий уровень вибрации приводит к различным физиологическим отклонениям: нарушению функции сердечно-сосудистой системы, пагубно влияет на опорно-двигательный аппарат, на нервную систему; происходит уменьшение иммунитета и опущение органов брюшной полости и малого таза, что является причиной возникновения дисфункции ЖКТ. Для снижения уровня шума и вибраций оборудования и приборов на фундаменты устанавливаются амортизирующие прокладки, описанные в нормативных документах. Уровень шума уменьшен с использованием звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63-8000 Гц для отделки помещений (разрешенных органами и учреждениями Госсанэпиднадзора), подтвержденных специальными акустическими расчетами [10].

5.1.1.4 Отклонение показателей микроклимата в помещении

На работоспособность и здоровье человека оказывают влияние параметры микроклимата на рабочем месте (температура, влажность, скорость движения воздуха, температура рабочих поверхностей, тепловое излучение), которые определяют теплообмен организма человека.

Так как установка расположена на улице, то существуют помещения для отдыха рабочих, помещения, где расположены панели управления и др.

Категория работ на установке относится к средней тяжести Па – работы с интенсивностью энергозатрат 151 - 200 ккал/ч (175 - 232 Вт), в связи с тем, что операторы основное время находятся в операторной, где снимают показания с КИП (это связано с работой стоя или сидя), а также каждые двадцать минут они выходят на территорию установки для визуального контроля работы оборудования (связана с ходьбой и перемещением тяжести до 1 кг – противогазы).

В холодный период времени года параметры микроклимата (температура, относительная влажность и скорость движения воздуха) в рабочей зоне производственного помещения представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Оптимальные параметры микроклимата

Период времени года	Температура воздуха, С°	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19-21	40-60	0,2-0,3
Тёплый	20-22	40-60	0,2-0,3

Параметры микроклимата соответствует допустимым нормам [11].

В помещении операторной применена приточно-вытяжная общеобменная механическая вентиляция. На территории установки один раз в смену производится отбор пробы воздуха и выполняется ее анализ. Отбор

пробы выполняется в различных точках установки с целью предупреждения утечки газов и образования газового облака [12].

5.1.1.5 Утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу

Перечень вредных химических веществ, выделяющихся в воздух рабочей зоны, их ПДК и класс опасности приведены в Таблице 5.2 [13].

Таблица 5.2 - Перечень вредных веществ, выделяемых в воздух рабочей зоны

Наименование сырья, материалов, реагентов изготавливаемой продукции	Наименование вредных веществ	ПДКр.з., мг/м³	Класс опасности
Дизельное топливо	Углеводороды	300	4
Сероводород	Сероводород	10	2
Газ углеводородный	Углеводороды	300	4
Катализатор	Пыль катализатора	1	2

В таблице 5.3 приведено токсикологическое действие вредных веществ, приведенных в таблице 5.2.

Таблица 5.3 - Токсикологическое воздействие химических веществ [13]

Вещество	Токсикологическое воздействие
Дизельное топливо	Раздражение слизистой оболочки и кожи человека.

Сероводород	При вдыхании, небольшая концентрация может быть причиной головокружения, тошноты, головной боли. При более высокой концентрации – комы, судорог, отека легких, летального исхода. При однократном вдыхании высокой концентрации наступает мгновенная смерть.
Газ углеводородный	Малотоксичен. Пропан и этан обладают слабым наркотическим эффектом. Бутан в высоких концентрациях вызывает галлюцинации, удушье, сердечную аритмию.
Пыль каталитическая	Вызывает раздражение слизистых оболочек, отек легких, поражение дыхательных путей. Металлы в составе катализатора могут накапливаться в организме.

5.1.2 Анализ опасных факторов производственной среды

5.1.2.1 Механические опасности

Множество элементов установки гидроочистки содержат механические движущиеся части. К ним можно отнести компрессоры, насосы подачи дизельной фракции, водородсодержащего газа, пневматические приводы задвижек, вспомогательная техника и пр.

С целью предотвращения травм, получаемых от движущихся механических частей, следует проводить постоянный контроль наличия и надежности крепления ограждений (кожухов) вращающихся частей оборудования, соблюдать правила техники безопасности.

5.1.2.2 Термические опасности

В ходе процесса гидроочистки, газосырьевая смесь подвергается нагреву до температур, не менее 340 °С. Аппарат проходят процессы с веществами в газообразном состоянии при высоких температурах и давлениях. Присутствие на установке аппаратов и трубопроводов с высокой температурой создает опасность термических ожогов. С целью предотвращения возникновения ожогов необходимо производить контроль безупречности состояния тепловой изоляции, использования предусмотренной спец. одежды, соблюдения правил техники безопасности.

5.1.2.3 Электрический ток

По опасности поражения людей электрическим током помещение операторной относится к помещениям без повышенной опасности, в виду того, что:

- отсутствует сырость, токопроводящая пыль
- полы деревянные
- температуры окружающей среды менее 30 градусов

Пульты управления, а также другая техника, контролирующая процесс производства закрыта защитными корпусами экранами, а также применено защитное заземление во избежание поражения людей электрическим током [14].

Кроме того применена защитная изоляция токопроводящих частей электрооборудования.

Электробезопасность. Род тока – переменный; напряжение в сети 220-380В, частота 50Гц. Режим нейтрали питающей сети - трехфазная четырехпроводная сеть с заземлением нейтралью, электрооборудование занулено. По опасности поражения электрическим током помещения относятся ко II классу [15].

Защита от статического электричества

В качестве защиты от статического электричества применено защитное заземление технологического оборудования, а также защитная одежда и обувь. Не допускается нахождение людей на территории установки в легкой летней обуви, а также обуви подбитой металлическими гвоздями.

5.1.2.4 Пожаровзрывобезопасность

Потенциальная опасность технологических блоков, где обращаются взрывопожароопасные продукты, заключается в возможности разгерметизации аппаратов и трубопроводов, проливе горючих жидких продуктов, выбросе парогазовой, взрывоопасной среды.

Для предупреждения аварийной разгерметизации систем установки следует обеспечить ведение технологического процесса в соответствии с нормами режима.

Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

- эксплуатация только исправного оборудования;
- периодический инструктаж по пожарной безопасности;
- наличие ответственного за пожарную безопасность помещения;
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для своевременной ликвидации очагов возможных загораний применяются первичные средства пожаротушения, в соответствии с [16].

Средства пожаротушения и противопожарный инвентарь в исправном состоянии и окрашен в красный цвет.

Установка оснащена первичными средствами пожаротушения:

- система паровых стояков, с возможностью подключения гибких паровых шлангов;
- система водяных стояков, с возможностью подключения гибких водяных шлангов;
- порошковые огнетушители типа ОП-8, углекислотные - ОУ-5, ОУ-10 ящики с песком, лопаты, носилки, войлок - в количестве, предусмотренном «Правилами пожарной безопасности в РФ» ППБ-01-93.

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала предусмотрены индивидуальные средства защиты:

1) защита органов дыхания - применяют фильтрующие противогазы, шланговые противогазы ПШ - 1, ПШ - 2 и воздушные аппараты АСВ - 2, "Сеноба".

К фильтрующим промышленным противогазам подбирается коробка, которая может быть: белая - защищает от оксида углерода (СО), жёлтая (В) - от кислых газов, сероводорода, оксида азота, сернистого ангидрида, коричневая (А) - от паров бензина, керосина и других нефтепродуктов.

Шланговые противогазы изолируют органы дыхания только от воздуха находящегося в зоне рабочего места, автономные противогазы - полностью от окружающего воздуха.

2) защита органов зрения. Для защиты глаз от воздействия вредных и опасных производственных факторов применяют защитные очки.

3) Защита кожных покровов. Для защиты кожных покровов применяют спецодежду, спецобувь и предохранительные приспособления. Нахождение обслуживающего персонала на рабочем месте без спецодежды и спецобуви категорически запрещается.

5.3 Экологическая безопасность

5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Сточные воды отстают в резервуарах. В дальнейшем предусмотрены механические и биохимические методы очистки.

Основными вредными газовыми выделениями на установке являются углеводородные газы, пары дизельного топлива, бензина, моноэтаноламина, сероводород, сернистый ангидрид и окислы азота. Основными источниками выбросов углеводородных газов, сероводорода, паров дизельного топлива, бензина и моноэтаноламина в атмосферу являются: технологические аппараты, компрессор, насос, запорная арматура, предохранительные клапаны. Как правило, такие пары и газы выделяются при нарушении герметичности технологических аппаратов и трубопроводов, пропуска сальниковых уплотнений на вентилях и задвижках, пропусках торцовых уплотнений насосов, выбросах из предохранительных клапанов, отборе проб, случайных пролив и испарений жидких нефтепродуктов.

Для исключения или уменьшения выбросов вредных паров и газов необходимо [17]:

- не допускать пропусков нефтепродуктов и реагентов через фланцевые соединения аппаратов и трубопроводов, торцовые уплотнения насосов, сальниковые уплотнения вентилях и задвижек. Немедленно производить устранение пропусков нефтепродуктов и реагентов при их появлении
- не допускать повышение давления в аппаратах выше допустимого технологической картой
- следить за правильным режимом горения форсунки печи
- своевременно убирать разливы нефтепродуктов и реагентов
- не допускать работы установки с неисправными предохранительными клапанами

- не производить никаких сбросов на факел кроме предусмотренных проектом

Основное количество расходуемой на установке воды идет на производственные нужды, из них 90 - 95% на охлаждение насосно-компрессорного оборудования и продуктов в холодильниках водяного охлаждения. На установке применено оборотное водоснабжение, то есть нагретая на установке оборотная вода поступает на градирни блока оборотного водоснабжения, где охлаждается и вновь поступает на установку.

Для поддержания высокого качества оборотной воды обслуживающий персонал должен постоянно следить за работой холодильников, не допускать попадание нефтепродуктов в воду через неисправные трубки трубных пучков.

Стоки от промывки полов, площадок установки, от охлаждения насосов, атмосферные осадки сбрасываются в систему производственно-ливневой канализации.

На заводе создан замкнутый цикл водоснабжения и канализации и полностью исключён сброс сточных вод в водоем, поэтому для нормальной работы очистных сооружений, для сокращения потерь нефтепродуктов, уменьшения загрязнения атмосферы парами нефтепродуктов после их испарения на прудах – испарителях, массовая концентрация нефтепродуктов в сточных водах производственно-ливневой канализации на выходе из установки не должна превышать 300 мг/дм^3 [18].

5.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Основными средствами защиты природной среды от вредных воздействий является применение строгого соблюдения технологического регламента, герметизации оборудования, технологическая дисциплина, применение эффективных уплотнений для насосов и фланцевых соединений.

Объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу не должны превышать ПДВ, установленные для предприятия на текущий период.

В таблице 5.4 приведены образующиеся в производстве сточные воды и способы их утилизации.

Таблица 5.4 – Сточные воды и способ их утилизации

Наименование стока	Объем сточных вод (м ³ /час)	Способ утилизации	Периодичность выбросов	Место сброса	Установленная норма содержания загрязнений в стоках (мг/л)
Вода от мытья полов, промывки лотков и охлаждения сальников насосов	5,0	Направляются на очистные сооружения	Постоянно	В систему промливнево й канализации	Содержание нефтепродуктов не более 500 мг/л
Вода от промывки и пропарки аппаратов	10,0	Направляются на очистные сооружения	1 раз в 2 года	В систему промливнево й канализации	Содержание нефтепродуктов не более 500 мг/л
Подтоварная вода	1,0	Направляются на очистные сооружения	Постоянно	В систему промливнево й канализации	Содержание нефтепродуктов не более 500 мг/л

В таблице 5.5 приведены отходы и способы их утилизации и переработки.

Таблица 5.5 – Отходы производства [19]

Наименование отхода	Место складирования	Периодичность образования	Способ утилизации
Отработанный	Выгружается в	Не более 1 раза в 5	Направляется на

катализатор	металлические бочки и отправляется в цех складирования	лет	переработку на лицензированное предприятие
-------------	---	-----	--

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Функционирование установки полностью зависимо от надлежащей работы оборудования и от непрерывной подачи сырья, топливного газа и электроэнергии. При прекращении подачи любого из данных компонентов или отказе какой-либо части оборудования может возникнуть нарушение нормальной работы и потребность полной остановки.

Степень нарушения работы зависит от скорости обнаружения неполадки, и мер принимаемых по ее устранению.

Отказы в снабжении установки во многих случаях вызваны условиями, возникающими за ее пределами. Продолжительность таких перерывов в снабжении может изменяться, и это может решающим образом влиять на характер принимаемых мер.

Все необходимые действия персонала определяются степенью серьезности и продолжительности отказа какой-либо системы. Операторы должны заранее тщательно изучить меры, которые необходимо предпринять в таких ситуациях.

5.4.1. Анализ вероятных ЧС. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Случаи, которые вызывают нарушение технологического режима и создают угрозу вывода оборудования из строя, а также способны повлечь за

собой аварию и угрожают здоровью обслуживающего персонала, квалифицируются как аварийные.

При возникновении аварийной ситуации при работе установки обслуживающий персонал обязан незамедлительно приступить к принятию соответствующих мер, оповестить диспетчера завода и руководство цеха; в случае необходимости вызывать пожарный расчет, газоспасательную службу, скорую помощь.

Ситуация на установке считается аварийной при:

1. прекращении подачи сырья на установке;
2. прекращении подачи свежего ВСГ;
3. остановке циркуляционного компрессора;
4. прекращении подачи электроэнергии;
5. разгерметизации аппаратов и трубопроводов, работающих под давлением;
6. Нарушении в системах канализации.

В случаях аварий и производственных инцидентов обслуживающий персонал должен действовать согласно плану локализации аварийных ситуаций (ПЛАС).

Прекращение подачи сырья

При прекращении подачи сырья в тройник смешения происходит резкое возрастание температуры в реакторе, что влечет за собой снижение активности катализатора в результате его перегрева.

При падении расхода сырья до 40 м³/час от сырьевых насосов срабатывает звуковая и световая сигнализация.

Технологический персонал обязан:

1. Продублировать остановку сырьевого насоса по блокировке. Перекрыть арматуру на сырьевом насосе и на клапанной сборке по расходу сырья в тройник смешения.
2. Произвести настройку циркуляции ВСГ по блокам.

Прекращение подачи свежего ВСГ

Технологический персонал обязан:

1. Перекрыть арматуру на щите отдува и на приеме свежего ВСГ.

При длительном отсутствии и падении давления на блоках:

2. Остановить сырьевые насосы и закрыть выкидные задвижки.

3. Вывести установку на отдельную циркуляцию.

4. Провести газовую циркуляцию на блоках со снижением температуры.

5. Закрыть выход продукта с установки.

Остановка центробежного компрессора

При падении расхода ВСГ на блок до 16 000 нм³/час срабатывает звуковая и световая сигнализация.

Технологический персонал обязан:

1. Перекрыть запорную арматуру на компрессоре.

2. Перекрыть выход с установки.

3. Наладить циркуляцию по блокам стабилизации по малому.

4. По возможности поддерживать давление на реакторном блоке.

Прекращение подачи электроэнергии

Вследствие прекращения подачи электроэнергии приводит остановка компрессоров, воздуходувок, насосов, вентиляторов. При отключении электроэнергии на один ввод срабатывает система автоматического включения резерва (АВР). Если АВР не сработала или отключаются оба ввода, технологический персонал обязан:

1. Перекрыть запорную арматуру на центральном насосе.

2. Перекрыть запорную арматуру на компрессорах.

3. Установить тумблеры всех электродвигателей в положение «ВЫКЛЮЧЕНО».

4. По возможности поддерживать давление на реакторном блоке.

Разгерметизация аппаратов и трубопроводов, работающих под давлением

Технологический персонал обязан:

1. Вызвать службы ВГСО, предупредить ВПЧ, сообщить диспетчеру.
2. Удалить из опасной зоны всех работающих.
3. Снять сырье, остановить сырьевые насосы.
4. Остановить центральные компрессоры.
5. Остановить блок, где произошла разгерметизация.
6. Отсечь задвижками дефектный участок, сбросить давление.

Нарушение в системах канализации

Обязанностью старшего оператора является уведомление диспетчера завода и дежурного цеха о принятии мер по предотвращению разлива нефтепродукта, которые содержатся в канализационных стоках. Направить сток по поверхности покрытия за границу установки путем организации валиков из песка или другого подсобного материала, настроить при помощи эжектора, гидроэлеватора перекачку сточных вод помимо места подпора. После ликвидации аварии и освобождении территории установки от стоков, проверить все приемки, каналы и откачать попавшие в них нефтесодержащие стоки.

5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

К нормативным актам, регулирующих вопросы охраны труда, в первую очередь относится Трудовой кодекс Российской Федерации. Трудовой кодекс, охватывает вопросы от правового возникновения трудовых отношения, до детального рассмотрения трудового договора, времени отдыха и профессиональной подготовки работника, охраны труда, разрешения трудовых споров и т.д. Для обеспечения безопасности на рабочем месте нужно руководствоваться санитарными нормами и правилами, где

описываются требования к микроклимату, освещению, уровням шума и вибрации. А также ГОСТами, в которых изложена система стандартов безопасности труда.

Заключение

В результате проделанной работы было проведено исследование дезактивации катализаторов гидроочистки дизельного топлива на промышленных катализаторах HR 945 и HR 538 1.6. Анализ данных с промышленной установки Л-24-10/2000 показал, что катализатор проявляет достаточно высокую активность.

Наличие в катализаторе таких компонентов, как оксид кобальта и оксид никеля обуславливает высокую активность катализатора. Исследование изменения активности промышленных катализаторов при изменении температуры гидрообессеривания, показали, что увеличение температуры процесса гидроочистки приводит к росту активности катализатора.

Проанализировав влияние температуры на исследуемые параметры, возможно, прогнозировать оптимальную температуру, что позволяет снизить время воздействия на процесс гидроочистки, и, следовательно, уменьшает энергопотребление установки и обеспечивает снижение дезактивации катализатора. Также, исходя из анализа данных, можно рассчитать время остановки реактора с целью замены слоя катализатора при ухудшении его эксплуатационных свойств.

Оптимальной температурой процесса, при которой будет сохраняться высокая активность катализатора и дезактивация будет минимальной, является 320-350° С. При дальнейшем повышении температуры, будет происходить снижение удельной поверхности катализатора, что приводит к уменьшению активных центров, разрушение частиц катализатора, повышенное коксообразование, а, следовательно, снижение качества продукта и выхода целевой дизельной фракции.

Для того, чтобы уменьшить влияние дезактивации катализатора увеличивают расход свежего ВСГ или давление ПЖС на входе в реактор. Дезактивация катализатора ведет к увеличению выхода побочных продуктов

газа и бензина, и поэтому снижает эффективность работы установки гидроочистки ДТ [4].

Активность катализатора на установке Л-24-10/2000 ООО «КИНЕФ» может быть представлена уравнением $y = -9E-05x + 4,6928$ для первого реактора и уравнением $y = -5E-05x + 3,0566$ для второго. Близкие значения коэффициентов уравнения предполагают, что функцию активности для обоих реакторов можно описать средним уравнением, либо, исходя из уравнения одного реактора, можно предположить, как будет вести себя второй.

В случае уравнений дезактивации катализатора, $y = -1E-09x + 6E-05$ – для первого, $y = -7E-09x + 0,0003$ – для второго, коэффициенты А имеют одинаковый порядок и близкие значения, а коэффициенты Б отличаются по степени, что можно объяснить различием в температуре и загрузке сырья реакторов.

Список литературы

1. Анчита Хорхе. Переработка тяжелой нефти. Реакторы и моделирование процессов: перевод с английского / Х. Анчита ; под ред.: О. Ф. Глаголева, В. А. Винокуров. - Санкт-Петербург : Профессия, 2015. - 588 с.
2. Магарил Е.Р., Магарил Р.З. Моторные топлива: учебное пособие / Е.Р. Магарил, Р.З. Магарил. - М.: КДУ, 2008. - 160 с.
3. Дж. Х. Гэри, Г. Е. Хэндверк, М. Дж. Кайзер. Технологии и экономика нефтепереработки / пер. с англ. 5-го изд. Под ред. О.Ф. Глаголевой. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2013. – 440 с.
4. Борзов, Андрей Николаевич. Моделирование и управление процессом гидроочистки дизельного топлива Дис. канд. техн. наук : 05.13.06 СПб., 2005 с.
5. Технология переработки нефти и газа. Процессы глубокой переработки нефти и нефтяных фракций: Учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-48 01 03 в 2-х ч./Сост.: С.М. Ткачев – ч.1 Курс лекций. – Новополюцк: ПГУ, 2006. – 345 с.
6. Ахметов С. А. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: Учебное пособие / С. А. Ахметов, Т. П. Сериков и др. – СПб.: Недра, 2006. – 868 с.
7. Левинтер М.Е., Ахметов С.А. Глубокая переработки нефти. – М.: Химия, 1992.
8. Каминский Э.Ф. Глубокая переработка нефти. - Уфа, 2001. - 385 с.
9. Суханов В.П. Каталитические процессы в нефтепереработке: 3-изд., перераб. и доп. - М.: Химия, 1979. - 344 с., ил.
10. Елькина И.М. Экспресс-контроль технологических параметров катализаторов и носителей по люминесцентным характеристикам: диссертация кандидата технических наук: 05.17.08, 05.11.13. - Ангарск, 2007. - 187 с.

11. Олтырев А.Г. Закономерности производства и применения катализаторов промышленных процессов гидроочистки и риформинга: диссертация кандидата технических наук: – Москва, 2009 - 187 с.
12. Носители и нанесенные катализаторы: Теория и практика / Элвин Б. Стайлз; Пер. с англ. Л. А. Абрамовой, А. В. Кучерова; Под общ. ред. А. А. Слинкина. - М. : Химия, 1991. - 232 с. : ил.
13. Боресков Г.К. Пористая структура катализаторов и процессы переноса в гетерогенном катализе. – Новосибирск: Наука, 1970. – С. 5–15.
14. Колесников И.М. Катализ и производство катализаторов. – М.:Техника, 2004. – 400 с.
15. Технология катализаторов/И.П. Мухленов, Е.И. Добкина, В.И. Дерюжкина, В.Е. Сороко; под ред. проф. И.П. Мухленова. – Л.: Химия, 1989. – 272 с.
16. Афанасьева Ю.И., Кривцова Н.И., Иванчина Э.Д., Занин И.К., Татаурщикова А.А. Разработка кинетической модели процесса гидроочистки дизельного топлива // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 3. – С. 121–125.
17. Баннов П.Г. Процессы переработки нефти. – М.: ЦНИИТЭ- нефтехим, 2000. – 224 с.
18. Белинская Н.С., Силко Г.Ю., Иванчина Э.Д., Ивашкина Е.Н., Францина Е.В., Фалеев С.А. Исследование закономерностей превращения углеводородов в реакторах риформинга и гидродепарафинизации с целью увеличения ресурса перерабатываемого сырья методом математического моделирования // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8-3. – С. 534-538;
19. Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Галушин С.А., Полубоярцев Д.С. Системный анализ и повышение эффективности нефтеперерабатывающих производств методом математического моделирования: Учебное пособие.– Томск: Изд-во ТПУ, 2004.– 170с.

20. Vradman L., Landau M.V., Herskowitz M. Deep desulfurization of diesel fuels: kinetic modeling of model compounds in trickle-bed // *Catalysis Today*. – 1999. – V. 48. – P. 41–48.
21. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
22. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
23. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
24. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
25. Сущность методики FAST в области ФСА [Электронный ресурс] <http://humeur.ru/page/sushhnost-metodiki-fast-v-oblasti-fsa>.
26. Алиев Р.Р. Катализаторы и процессы переработки нефти. - М.: ОАО «ВНИИ НП», 2010. - 389 с.
27. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
28. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
29. СНиП 23-05-95 (2003). Естественное и искусственное освещение.
30. ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Издание седьмое. Утверждены Приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204
31. Пикман. И.Я. Электрическое освещение взрывоопасных и пожароопасных зон/ И.Я. Пикман. - м.: Энергоатом из дат, 1978 г.
32. Справочная книга для проектирования электрического освещения: сирав./Под ред. Г.М. Кнорринга. - Д.: Энергия, 1976 г.
33. Методические указания по выполнению расчетной части раздела «Охрана труда» в дипломных проектах: метод. Указания для студентов всех специальностей. В 2-х ч. 4.1 / В.П. Платонов, М.В. Осин, В.И. Миндрин и др. / ГПИ. - Горький, 1983. - 55с.

34. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением N 1)
35. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
36. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
37. Ахметов С. А., Ишмияров М. Х. , Кауфман А. А. Технология переработки нефти, газа и твердых горючих ископаемых: учебное пособие - СПб: Недра, 2009. — 828 с.
38. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд.7-е, пер. и доп. В трёх томах. Том III. Неорганические и элементарноорганические соединения / Под ред. Н. В. Лазарева и И. Д. Гадаскиной. Л.: Химия, 1977.
39. Правила обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты (утв. постановлением Минтруда РФ от 18 декабря 1998 г. N 51).
40. РД 34.21.122 "Инструкцией по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений"
41. Л.А. Моссоулина «Электробезопасность в трехфазных сетях переменного тока»: Учебное пособие Самара Самарский государственный технический университет 2015
42. Федеральный закон Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда»
43. Вредные химические вещества. Углеводороды, галогенпроизводные углеводородов: справ./Под ред. В.И. Филова. - Л.: Химия, 1990 г.
44. Кушелев В.П., Полозков В.Т. (ред.). Охрана труда в нефтеперерабатывающей и химической промышленности [Текст]: учебник для вузов: Химия, 1983. - 472 с
45. Санитарно-эпидемиологическое заключение «Катализатор гидроочистки ГКД-202», №63.01.06.217.П.001271.07.01 от 02.06.2001 г.

Приложение А

Схема установки депарафинизации Л-24-10/2000

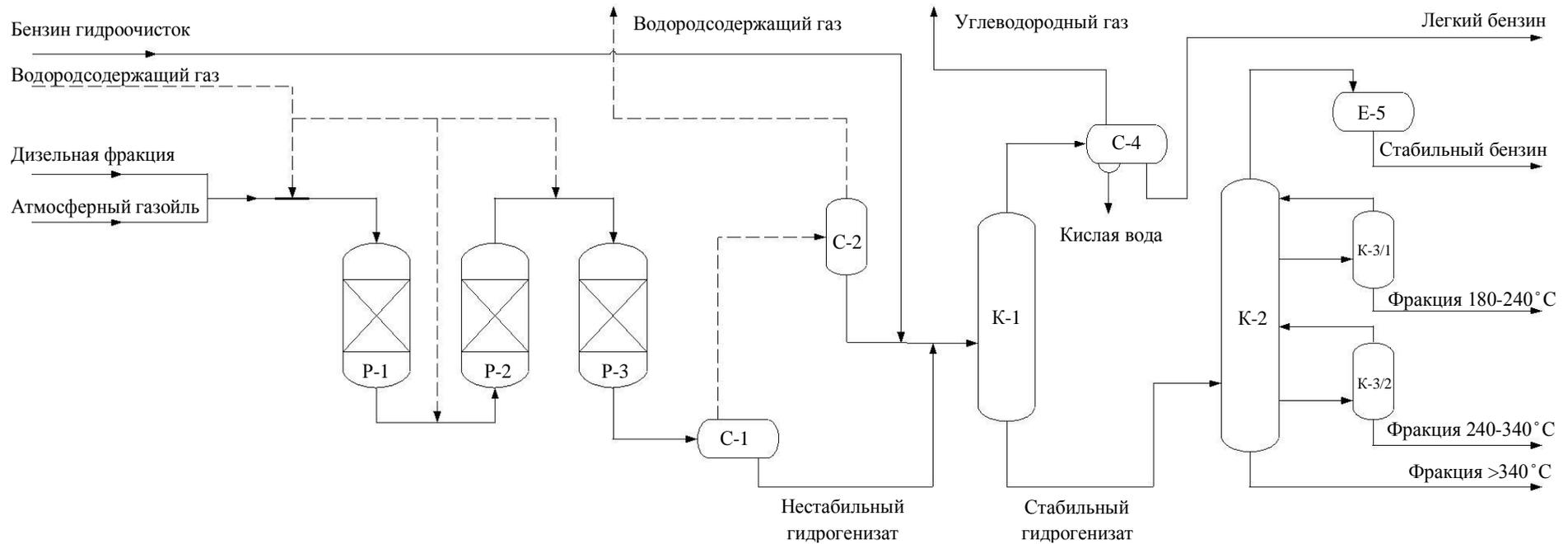


Рисунок А.1 – Схема процесса каталитической депарафинизации. P-1 и P-2 – реакторы гидроочистки; P-3 – реактор депарафинизации; C-1 – сепаратор высокого давления; C-2 – сепаратор низкого давления; K-1 – стабилизационная колонна; K-2 – ректификационная колонна; K-3/1, 3/2 – отпарные колонны (стрипинги); C-4, E-5 – рефлюксные ёмкости

Приложение Б

	Дата	Температура	Загрузка сырья	Активность	Деактивация
2014 год	10.09.2014	350,3125	3804745,859	0,919017792	1,17235E-06
	11.09.2014	351,617	3810876,179	0,89533406	1,51278E-06
	12.09.2014	353,1345	3817075,379	0,867783224	1,90787E-06
	13.09.2014	354,389	3823264,739	0,845007262	2,23291E-06
	14.09.2014	354,8925	3829467,875	0,835866013	2,36077E-06
	15.09.2014	354,868	3835665,107	0,836310821	2,35057E-06
	16.09.2014	354,3335	3841842,659	0,846014887	2,20766E-06
	17.09.2014	354,145	3848032,019	0,849437182	2,15513E-06
	18.09.2014	352,6905	3854219,411	0,875844227	1,77429E-06
	19.09.2014	351,5875	3860408,771	0,895869644	1,48572E-06
	20.09.2014	350,594	3866537,123	0,913907044	1,22642E-06
	21.09.2014	350,418	3872634,518	0,917102397	1,17904E-06
	22.09.2014	352,431	3878727,741	0,880555556	1,69617E-06
	23.09.2014	355,268	3884881,402	0,829048656	2,42375E-06
	24.09.2014	355,688	3891080,228	0,821423384	2,52783E-06
	25.09.2014	355,1695	3897279,31	0,830836964	2,39077E-06
	26.09.2014	354,731	3903480,34	0,838798112	2,27464E-06
	27.09.2014	354,792	3909680,8	0,837690632	2,28663E-06
	28.09.2014	354,964	3915880,256	0,834567901	2,32694E-06
	29.09.2014	355,147	3922085,576	0,831245461	2,36991E-06
	30.09.2014	354,994	3928292,943	0,834023239	2,32722E-06
	01.10.2014	355,048	3934498,283	0,833042847	2,33727E-06
	02.10.2014	354,8995	3940697,267	0,835738925	2,29591E-06
	03.10.2014	355,9925	3946893,987	0,815895062	2,56924E-06
	04.10.2014	358,228	3953096,06	0,775308642	3,13071E-06
05.10.2014	358,032	3959296,244	0,778867102	3,0763E-06	
06.10.2014	358,016	3965499,558	0,779157589	3,06746E-06	
07.10.2014	358,3125	3971697,754	0,77377451	3,13732E-06	
08.10.2014	358,541	3977942,867	0,769625999	3,18984E-06	
09.10.2014	360,8435	3984241,255	0,727823166	3,7627E-06	
10.10.2014	360,945	3990419,732	0,725980392	3,78231E-06	
11.10.2014	360,9355	3996573,294	0,726152869	3,77411E-06	
12.10.2014	360,8405	4002772,887	0,727877633	3,74453E-06	
13.10.2014	361,105	4008971,654	0,723075527	3,80472E-06	
14.10.2014	361,6695	4015124,272	0,712826797	3,93948E-06	
15.10.2014	360,3725	4021228,693	0,736374365	3,61096E-06	
16.10.2014	359,442	4027236,249	0,753267974	3,37452E-06	
17.10.2014	360,0055	4033256,105	0,7430374	3,5092E-06	
18.10.2014	359,0195	4039415,433	0,760938635	3,25975E-06	
19.10.2014	358,448	4045613,197	0,771314452	3,1135E-06	
20.10.2014	358,3215	4051813,145	0,773611111	3,07751E-06	
21.10.2014	358,7805	4058013,348	0,765277778	3,18592E-06	
22.10.2014	359,403	4064214,556	0,753976035	3,33422E-06	
23.10.2014	359,6435	4070415,704	0,749609659	3,38823E-06	
24.10.2014	359,4985	4076675,381	0,752242193	3,34746E-06	
25.10.2014	359,503	4082970,068	0,752160494	3,3434E-06	

26.10.2014	359,3595	4089262,374	0,754765795	3,30316E-06
27.10.2014	359,496	4095556,707	0,752287582	3,33142E-06
28.10.2014	360,0225	4101849,092	0,742728758	3,45466E-06
29.10.2014	359,9835	4108138,23	0,743436819	3,43988E-06
30.10.2014	358,4175	4114428,213	0,771868192	3,05401E-06
31.10.2014	358,87	4120726,325	0,763652869	3,15915E-06
01.11.2014	359,243	4127018,336	0,756880901	3,24472E-06
02.11.2014	357,7545	4133312,59	0,783905229	2,87965E-06
03.11.2014	357,746	4139608,281	0,78405955	2,87322E-06
04.11.2014	357,27	4145900,843	0,792701525	2,75405E-06
05.11.2014	357,62	4152202,124	0,786347131	2,83416E-06
06.11.2014	357,0665	4158505,746	0,796396151	2,69676E-06
09.11.2014	357,203	4174224,476	0,793917938	2,71931E-06
10.11.2014	359,539	4180521,211	0,751506899	3,27399E-06
11.11.2014	359,995	4186802,24	0,743228032	3,378E-06
12.11.2014	361,2015	4193026,945	0,721323529	3,66072E-06
13.11.2014	362,631	4199324,781	0,69537037	3,99564E-06
14.11.2014	363,25	4205624,605	0,684132171	4,13684E-06
15.11.2014	363,3225	4211925,334	0,682815904	4,14787E-06
16.11.2014	363,3105	4218218,624	0,683033769	4,13883E-06
17.11.2014	363,443	4224507,9	0,680628177	4,16404E-06
18.11.2014	363,413	4230800,54	0,68117284	4,15075E-06
19.11.2014	364,03	4237091,961	0,669970951	4,29021E-06
20.11.2014	363,923	4243391,923	0,67191358	4,25862E-06
21.11.2014	363,712	4249694,324	0,675744372	4,20266E-06
22.11.2014	363,6785	4255992,889	0,676352578	4,18856E-06
23.11.2014	363,524	4262280,176	0,679157589	4,14614E-06
24.11.2014	363,6385	4268576,123	0,677078794	4,16685E-06
25.11.2014	363,126	4274874,609	0,686383442	4,04082E-06
26.11.2014	361,734	4281174,177	0,711655773	3,70973E-06
27.11.2014	360,9885	4287476,264	0,725190632	3,5304E-06
28.11.2014	360,3735	4293777,426	0,736356209	3,38199E-06
29.11.2014	359,814	4300080,891	0,746514161	3,24692E-06
30.11.2014	359,0965	4306370,363	0,759540668	3,07556E-06
01.12.2014	354,532	4311225,498	0,842411038	2,01335E-06
02.12.2014	354,3965	4316704,311	0,844871097	1,9794E-06
03.12.2014	359,934	4323002,423	0,744335512	3,25746E-06
04.12.2014	358,7865	4329300,928	0,765168845	2,98766E-06
05.12.2014	359,298	4335598,823	0,755882353	3,1013E-06
06.12.2014	359,142	4341896,935	0,758714597	3,06087E-06
07.12.2014	359,7555	4348193,413	0,747576253	3,19753E-06
08.12.2014	359,853	4354490,403	0,7458061	3,2153E-06
09.12.2014	359,7615	4360788,082	0,74746732	3,18968E-06
10.12.2014	360,264	4367087,237	0,738344227	3,30014E-06
11.12.2014	360,471	4373385,466	0,734586057	3,34272E-06
12.12.2014	360,7135	4379683,184	0,73018337	3,39328E-06
13.12.2014	360,8835	4385938,748	0,72709695	3,4272E-06
14.12.2014	361,5145	4392246,188	0,715640886	3,56594E-06
15.12.2014	359,524	4398565,436	0,75177923	3,10829E-06

2015 год	16.12.2014	358,4595	4404874,844	0,771105664	2,86217E-06
	02.01.2015	355,164	4511926,172	0,999652333	8,86539E-09
	03.01.2015	355,1555	4518239,516	0,999726212	6,97174E-09
	04.01.2015	354,879	4524550,892	0,997870537	5,4149E-08
	05.01.2015	355,005	4530860,3	0,99896569	2,62643E-08
	06.01.2015	355,4875	4537165,772	0,996840573	8,01161E-08
	07.01.2015	355,536	4543463,372	0,996419026	9,06797E-08
	08.01.2015	355,476	4549662,966	0,996940527	7,73684E-08
	09.01.2015	354,194	4555765,734	0,991916734	2,04137E-07
	10.01.2015	353,571	4561872,438	0,986501814	3,4043E-07
	11.01.2015	352,8045	4567886,646	0,979839638	5,07784E-07
	12.01.2015	352,172	4573804,422	0,974342148	6,45415E-07
	13.01.2015	350,9725	4579720,23	0,963916473	9,06496E-07
	14.01.2015	349,5765	4585628,166	0,951782882	1,20976E-06
	15.01.2015	348,457	4591542,006	0,942052541	1,45202E-06
	16.01.2015	348,6645	4597447,974	0,943856066	1,40502E-06
	17.01.2015	348,6775	4603351,974	0,943969058	1,40039E-06
	18.01.2015	348,545	4609250,07	0,942817409	1,42735E-06
	19.01.2015	348,2395	4615161,942	0,9401621	1,49171E-06
	20.01.2015	348,0635	4621063,974	0,938632363	1,52789E-06
	21.01.2015	348,0125	4626962,07	0,938189088	1,53697E-06
	22.01.2015	348,122	4632868,038	0,939140827	1,51137E-06
	23.01.2015	348,8855	4638779,91	0,945776928	1,34486E-06
	24.01.2015	350,9755	4644664,446	0,963942548	8,93175E-07
	25.01.2015	354,0835	4650499,802	0,990956303	2,23739E-07
	26.01.2015	354,374	4656302,057	0,993481237	1,61072E-07
	27.01.2015	354,0345	4662232,054	0,99053041	2,33686E-07
	28.01.2015	355,866	4668239,256	0,99355077	1,58946E-07
	29.01.2015	354,728	4674371,544	0,996558093	8,47173E-08
	30.01.2015	354,1045	4680501,864	0,991138828	2,17819E-07
	31.01.2015	352,5965	4686514,104	0,978031768	5,39313E-07
	01.02.2015	352,465	4692518,472	0,976888812	5,66647E-07
	02.02.2015	352,754	4698595,656	0,979400708	5,04406E-07
	03.02.2015	359,6755	4704844,745	0,960439799	9,67407E-07
	04.02.2015	358,977	4711058,921	0,966510941	8,17863E-07
	05.02.2015	358,607	4717269,811	0,969726864	7,38351E-07
	06.02.2015	358,6265	4723061,635	0,969557376	7,41574E-07
	07.02.2015	357,1795	4729371,043	0,982134243	4,34624E-07
	08.02.2015	356,081	4735662,739	0,991682058	2,02084E-07
	09.02.2015	355,0225	4741867,843	0,999117794	2,14051E-08
	10.02.2015	354,41	4748072,947	0,993794137	1,50377E-07
	11.02.2015	354,394	4754278,051	0,993655071	1,53546E-07
	12.02.2015	353,6605	4760483,155	0,98727972	3,07427E-07
	13.02.2015	351,798	4766568,211	0,971091458	6,97777E-07
	14.02.2015	350,0555	4772373,811	0,955946198	1,06205E-06
	15.02.2015	349,4995	4778244,355	0,951113622	1,17711E-06
	16.02.2015	349,6865	4784158,195	0,952738967	1,13656E-06
	17.02.2015	349,19	4790160,595	0,948423546	1,23879E-06
18.02.2015	349,963	4796377,507	0,955142218	1,07602E-06	

19.02.2015	350,8	4802677,075	0,962417157	9,00331E-07
20.02.2015	350,5785	4808976,643	0,960491949	9,45211E-07
21.02.2015	350,522	4815282,115	0,960000869	9,55707E-07
22.02.2015	355,369	4821579,715	0,997870537	5,08132E-08
23.02.2015	359,7825	4827877,315	0,959509789	9,64917E-07
24.02.2015	359,131	4834176,883	0,965172421	8,2889E-07
25.02.2015	359,363	4840488,259	0,963155951	8,75738E-07
26.02.2015	358,746	4846795,699	0,96851872	7,47298E-07
27.02.2015	356,9715	4853099,203	0,983942113	3,80685E-07
28.02.2015	356,348	4859406,643	0,989361379	2,51883E-07
01.03.2015	356,0705	4866515,453	0,991773321	1,94492E-07
02.03.2015	355,839	4873630,678	0,993785446	1,46708E-07
03.03.2015	355,0885	4880752,634	0,999691445	7,27347E-09
04.03.2015	355,032	4887833,301	0,999200365	1,88222E-08
05.03.2015	354,81	4894945,279	0,997270811	6,41478E-08
06.03.2015	354,3805	4902060,012	0,993537733	1,51671E-07
07.03.2015	354,419	4909056,115	0,993872363	1,43612E-07
08.03.2015	354,441	4915953,167	0,99406358	1,38935E-07
09.03.2015	354,6605	4922842,624	0,995971404	9,41529E-08
10.03.2015	354,388	4929729,285	0,99360292	1,49298E-07
11.03.2015	353,8875	4936618,447	0,989252732	2,50475E-07
12.03.2015	354,181	4943516,247	0,991803742	1,90755E-07
13.03.2015	354,0475	4950412,887	0,990643402	2,17457E-07
14.03.2015	353,6695	4957299,489	0,987357945	2,93406E-07
15.03.2015	353,941	4964182,589	0,989717738	2,38307E-07
16.03.2015	354,1875	4971111,209	0,991860238	1,88388E-07
17.03.2015	353,904	4978218,621	0,989396145	2,45068E-07
18.03.2015	354,075	4985324,439	0,990882423	2,10418E-07
19.03.2015	354,333	4992427,699	0,993124878	1,5844E-07
20.03.2015	353,0975	4999536,056	0,982386302	4,05338E-07
21.03.2015	352,8565	5006645,043	0,980291606	4,52898E-07
22.03.2015	354,2245	5013762,826	0,99218183	1,79406E-07
23.03.2015	354,047	5020885,156	0,990639056	2,14504E-07
24.03.2015	354,211	5028040,784	0,992064492	1,81582E-07
25.03.2015	353,5115	5035189,958	0,985984659	3,20246E-07
26.03.2015	353,0455	5042339,623	0,981934334	4,12209E-07
27.03.2015	352,7865	5049496,393	0,979683188	4,62917E-07
28.03.2015	352,672	5056650,801	0,97868799	4,84906E-07
29.03.2015	352,563	5063801,372	0,977740597	5,05747E-07
30.03.2015	352,1895	5070953,516	0,974494253	5,78688E-07
31.03.2015	353,3855	5078103,713	0,984889507	3,42352E-07

Приложение В

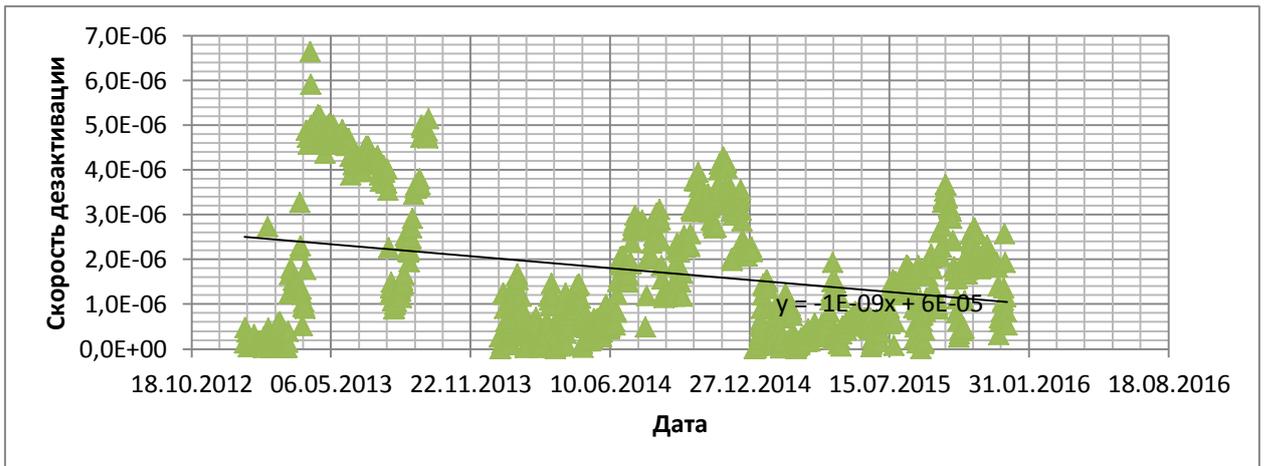


Рисунок В.1 – Зависимость скорости дезактивации с течением времени для первого реактора

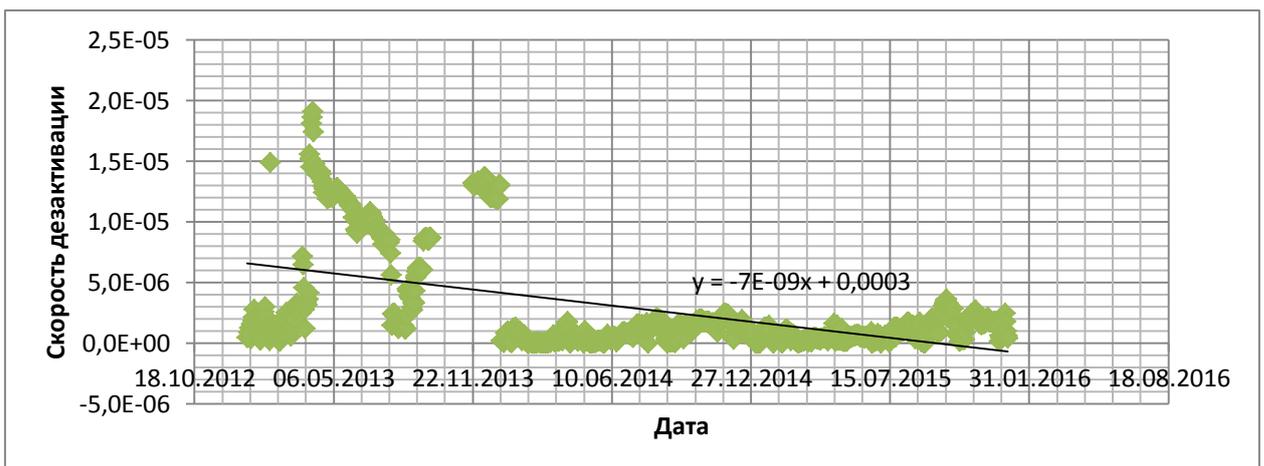


Рисунок В.2 – Зависимость скорости дезактивации с течением времени для второго реактора