

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология (Химическая технология топлива и газа)

Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование процесса каталитической депарафинизации на математической модели

УДК 665.637.73:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Соченков Кирилл Евгеньевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Егор Михайлович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ивашкина Елена Николаевна	д.т.н.		

Томск – 2022 г.

Запланированные результаты обучения
по образовательной программе «Химическая технология топлива и газа»
(направление подготовки 18.04.01 «Химическая технология»)

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС (самостоятельно устанавливаемого образовательного стандарта)
Общекультурные (универсальные) компетенции	
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действия
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способность организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способность анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способность определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Готовность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ОПК(У)-3	Способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов в соответствии с направлением и профилем подготовки
ОПК(У)-4	Готовность к использованию методов математического моделирования материалов и технологических процессов, к теоретическому анализу и экспериментальной проверке теоретических гипотез
ОПК(У)-5	Готовность к защите объектов интеллектуальной собственности и коммерциализации прав на объекты интеллектуальной собственности
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок, разрабатывать задания для исполнителей
ПК(У)-2	Готовность к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи
ПК(У)-3	Способность использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты
Дополнительные профессиональные компетенции (профессиональные компетенции, установленные университетом)	
ДПК(У)-1	Готовность к решению профессиональных производственных задач – контролю технологического процесса, разработке параметров проведения технологического процесса, разработке технологических расходных коэффициентов сырья и материалов, энергоресурсов, к выбору основного и вспомогательного оборудования
ДПК(У)-2	Способность использовать математические модели и пакеты прикладных программ для описания и прогнозирования различных явлений
ДПК(У)-3	Способность проводить технологические и технические расчеты по проектам, технико-экономический анализ проекта
ДПК(У)-4	Способность разрабатывать учебно-методической документации для реализации образовательных программ

Школа Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки (специальность) 18.04.01. «Химическая технология» (Химическая технология топлива и газа)

Отделение школы Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

Ивашкина Е.Н.

(Подпись)

(Дата)

(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ02	Соченкову Кириллу Евгеньевичу

Тема работы:

Исследование процесса каталитической депарафинизации на математической модели

Утверждена приказом директора (дата, номер)

28-93/с от 28.01.2022 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

31 мая 2022 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	- Показатели технологического режима установки депарафинизации и гидроочистки дизельного топлива. - Исходный код моделирующей программы каталитической депарафинизации (Delphi-проект). - Кинетические параметры математической модели каталитической депарафинизации.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования;</i>	- Введение. - Теоретическая часть. Физико-химические основы процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива. Катализаторы каталитической депарафинизации. - Литературный обзор. Депарафинизационные процессы получения дизельного топлива. - Литературный обзор. Современные технологические схемы каталитической депарафинизации и их сравнение. Конструкции реакторных устройств. - Литературный обзор. Каталитическая депарафинизация в России и в мире

<i>обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	6) Цели и задачи работы. 7) Характеристика объекта исследования — технологическая схема установки депарафинизации и гидроочистки дизельного топлива. 8) Характеристика инструментов исследования: моделирующей программы каталитической депарафинизации и моделирующей программы Unisim Design R470. 9) Современные требования качества к маркам зимнего дизельного топлива 10) Совершенствование математической модели каталитической депарафинизации и проверка ее на адекватность. 11) Моделирование установки каталитической депарафинизации на компьютерной программе: оценка влияния технологических параметров на показатели процесса. 12) Моделирование установки разделения продуктов реактора каталитической депарафинизации в среде Unisim Design R470. 13) Обсуждение результатов: выбор оптимальных технологических режимов для получения различных марок дизтоплива, оценка расхода энергоресурсов на работу установки: работа компрессоров, расход водорода, расход охлаждающей воды и т.п. 14) Раздел ВКР на иностранном языке. 15) Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». 16) Раздел «Социальная ответственность». 17) Заключение (выводы).
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	1) Математическая модель каталитической депарафинизации (кинетическая модель). 2) Технологические характеристики современных каталитических технологий депарафинизации дизтоплива. 3) Технологическая схема установки каталитической депарафинизации, рассматриваемой в работе. 4) Конструкции современных реакторных устройств каталитической депарафинизации. 5) Требования к зимнему и арктическому топливу по ГОСТ Р 52368-2005. 6) Основное окно моделирующей программы каталитической депарафинизации и ее функционал. 7) Технологическая схема установки разделения продуктов реактора каталитической депарафинизации, выполненная в среде Unisim Design R470.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Рыжакина Татьяна Гавриловна, к.э.н., доцент, отделение социально-гуманитарных наук ТПУ
«Социальная ответственность»	Сечин Андрей Александрович, к.т.н., доцент, отделение общетехнических дисциплин ТПУ
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1. Депарафинизационные процессы получения дизельного топлив. 2. Физико-химические основы процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива. 3. Современные промышленные катализаторы каталитической депарафинизации. 4. Современные технологические схемы каталитической депарафинизации, их сравнение.	

5. Конструкции реакторных устройств. 6. Каталитическая депарафинизация в России и в мире: основные лицензиары технологии, количество установок, объемы производства и рынок сбыта.	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.03.2022 г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Е.М.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Соченков Кирилл Евгеньевич		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов
 Отделение химической инженерии
 Направление 18.04.01 Химическая технология
 Профиль «Химическая технология топлива и газа»
 Уровень образования — магистратура
 Период выполнения — весенний семестр 2021/2022 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31 мая 2022 г.
--	----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.02.2022 г.	Введение.	5
15.03.2022 г.	Теоретическая часть. Физико-химические основы процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива. Катализаторы каталитической депарафинизации. Депарафинизационные процессы получения дизельного топлива.	10
25.03.2022 г.	Литературный обзор. Современные технологические схемы каталитической депарафинизации. Конструкции реакторных устройств. Каталитическая депарафинизация в России и в мире	15
05.04.2022 г.	Цели и задачи работы. Характеристика объекта исследования — технологическая схема установки депарафинизации и гидроочистки дизельного топлива. Характеристика инструментов исследования: моделирующей программы каталитической депарафинизации и моделирующей программы Unisim Design R470. Современные требования качества к маркам зимнего дизельного топлива	10
07.05.2022 г.	Совершенствование математической модели каталитической депарафинизации и проверка ее на адекватность. Моделирование установки каталитической депарафинизации на компьютерной программе: оценка влияния технологических параметров на показатели процесса. Моделирование установки разделения продуктов реактора каталитической депарафинизации в среде Unisim Design R470. Обсуждение результатов.	40
06.06.2022 г.	Раздел ВКР на иностранном языке. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». Раздел «Социальная ответственность». Заключение (выводы).	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Е.М.	к.т.н.		

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Соченков Кирилл Евгеньевич		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ивашкина Е.Н.	д. т.н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ02	Соченков Кирилл Евгеньевич

Школа	ИШПР	Отделение	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
Математическое моделирование процесса каталитической депарафинизации	Работа с научной литературой, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив разработки проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Планирование и формирование бюджета разработки	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение бюджета научного исследования
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности разработки	Проведение оценки экономической эффективности, ресурсоэффективности и сравнительной эффективности различных вариантов исполнения
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения и бюджет проекта 4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности разработки	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2022
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		01.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Соченков Кирилл Евгеньевич		01.02.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО		
	Соченков Кирилл Евгеньевич		
Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Магистратура	Специальность	18.04.01 Химическая технология

Тема ВКР:

Исследование процесса каталитической депарафинизации на математической модели	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение - Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. - Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации	<i>Объект исследования</i> – математическая модель (реактора), технологическая схема процесса каталитической депарафинизации; <i>Область применения</i> – промышленные предприятия нефтехимической отрасли; <i>Рабочая зона</i> – 2 корпус 131 аудитория НИ ТПУ, которая оборудована системами отопления, кондиционирования воздуха, а также естественным и искусственным освещением.; <i>Размеры помещения</i> – длина 6 м, ширина 5, м высота 4 м.. <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны</i> – ПК, рассчитанные на 13 рабочих мест. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> поиск и анализ литературы, обработка и анализ экспериментальных данных, сбор данных на практике, расчет основных параметров процесса каталитической депарафинизации с помощью моделирующей системы, проведение исследований при варьировании технологических параметров.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации: - Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	- Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.03.2022) - ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. - ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности. - СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95;
2. Производственная безопасность при эксплуатации: - Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов - Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора	Опасные факторы: Пожар или удар током. Вредные факторы: Отсутствие или недостаток естественного и искусственного света на рабочем месте (недостаток естественного освещения, повышенная яркость, прямая и отраженная блёскость, повышенная пульсация светового потока); Факторы, связанные с электромагнитными полями, ионизирующими ткани тела человека (электромагнитное излучение от ЭВМ, пониженная ионизация воздуха, повышенный фон статического

	электричества); монотонность трудового процесса. Средства защиты: Очки, заземление компьютерного оборудования, соблюдение норма размеров рабочего места на одного человека, соблюдать правила пользования компьютером. Расчет: расчет системы искусственного освещения.
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:	Воздействие на литосферу оказывают отходы, образующиеся при разработке проекта: бумага, пластик, отработанные люминесцентные лампы и т.д. Основной задачей предотвращения влияния является подбор способов их утилизации. Воздействие на гидросферу и атмосферу в процессе разработки проектного решения – минимально.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения:	Возможные ЧС: Техногенного характера (аварийные ситуации: пожар, взрыв); Социального характера (террористический акт); Природные катастрофы (наводнения, ураган и тд) Наиболее типичная ЧС: техногенного характера.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Соченков Кирилл Евгеньевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 135 с., 21 рис., 58 табл., 35 источника, 1 прил.

Ключевые слова: КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ДЕПАРАФИНИЗАЦИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, КАТАЛИЗАТОР, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ДЕЗАКТИВАЦИЯ, ОПТИМИЗАЦИЯ.

Объектом исследования является установка процесса каталитической депарафинизации дизельных фракций.

Цель работы – исследование параметров (режимов) работы установки процесса каталитической депарафинизации, в ходе получения дизельного топлива зимнего различного класса с применением усовершенствованной математической модели процесса каталитической депарафинизации и специализированной программы для расчета газожидкостного равновесия.

В результате исследования получена усовершенствованная математическая модель и получены оптимальные режимы установки.

Научная новизна полученных результатов выражена в совмещении двух моделирующих программ, математической модели процесса каталитической депарафинизации и специализированной программы для расчета газожидкостного равновесия.

Основные конструктивные, технологические и техникоэксплуатационные характеристики: технологические условия в реакторе и ректификационной колонне.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в получении оптимальных параметров работы установки.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Нормативные ссылки

В работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 7.0.5 – 2008. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка.
2. ГОСТ 7.1 – 2003. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание.
3. ГОСТ 7.9 – 95. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация.
4. ГОСТ 8.417 – 2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.

Определения

В работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Водородсодержащий газ (ВСГ): газ с высоким содержанием водорода (от 65%), образуется в процессе каталитического риформинга.

Сероводород: бесцветный газ с неприятным запахом, ядовитый, относится к 3 классу опасности.

Обозначения и сокращения

НПЗ – нефтеперерабатывающий завод;

ЦЧ – цетановое число;

ПТФ – предельная температура фильтруемости;

ЗДТ – зимнее дизельное топливо;

УВГ – углеводородный газ;

УФС – утяжеленный фракционный состав;

ПАУ – полиароматические углеводороды;

ВСГ – водородсодержащий газ;

ЦВСГ – циркулирующий водородсодержащий газ.

Оглавление

Введение	15
1 Обзор литературы.....	18
1.1 Депарафинизационные процессы получения дизельного топлива	18
1.1.1 Депарафинизация дизельного топлива кристаллизацией (вымораживанием).....	19
1.1.2 Карбамидная депарафинизация дизельного топлива	20
1.1.3 Адсорбционная депарафинизация.....	22
1.1.4 Микробиологическая депарафинизация.....	23
1.1.5 Каталитическая гидродепарафинизация и изодепарафинизация	23
1.2 Физико-химические основы процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива	25
1.3 Современные промышленные катализаторы каталитической депарафинизации.....	29
1.4 Современные технологические схемы каталитической депарафинизации, их сравнение.....	34
1.5 Конструкции реакторных устройств.....	41
1.6 Каталитическая депарафинизация в России и в мире: основные лицензиары технологии, количество установок, объемы производства и рынок сбыта.....	44
1.7 Постановка цели и задач исследования	46
2 Объект и методы исследования.....	48
2.1 Объект исследования.....	48
2.2 Методы исследования.....	54
2.2.1 Характеристика математической модели процесса каталитической депарафинизации.....	54
2.2.2 Проверка математической модели процесса каталитической депарафинизации на адекватность	56
2.2.2.1 Влияние давления процесса, расхода сырья, кратности ВСГ на ПТФ дизельного топлива зимнего.....	60

2.2.3 Характеристика компьютерной программы для расчета жидкофазного равновесия – UniSim Design.	60
2.2.4 Современные требования качества к маркам зимнего дизельного топлива	61
3 Практическая часть.....	64
3.1 Оптимальные параметры реакторного блока каталитической депарафинизации для получения трех классов зимнего дизельного топлива.	65
3.2 Моделирование блока ректификации и стабилизации дизельного топлива процесса каталитической депарафинизации в программе UniSim Design	67
3.3 Анализ блока ректификации и стабилизации дизельного топлива процесса каталитической депарафинизации в программе UniSim Design	68
3.4 Моделирование технологической схемы блока очистки от кислых газов процесса каталитической депарафинизации в программе UniSim Design	71
3.5 Анализ технологической схемы блока очистки от кислых газов процесса каталитической депарафинизации в программе UniSim Design	72
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	75
4.1 Предпроектный анализ	75
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	75
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	76
4.1.3 SWOT-анализ	77
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	79
4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	81
4.2 Инициация проекта.....	81
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	83
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта.....	83
4.3.2 План проект.....	84
4.4 Бюджет научного исследования	85
4.4.1 Организационная структура проекта	90

4.4.2 План управления коммуникациями проекта	90
4.4.3 Реестр рисков проекта.....	90
4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности.....	91
4.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования.....	91
4.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования	96
5 Социальная ответственность	99
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	99
5.2 Производственная безопасность.....	102
5.2.1 Повышенный уровень шума.....	103
5.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны	104
5.2.2.1 Расчет искусственного освещения	105
5.2.3 Электробезопасность.....	107
5.2.4 Пожарная безопасность.....	107
5.2.5 Отклонение показателей микроклимата.....	108
5.2.6 Зрительное и умственное перенапряжение	109
5.3 Экологическая безопасность.....	110
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	111
Заключение.....	113
Список литературы.....	115
Приложение А	119

Введение

Одной из актуальных задач технологической модернизации российских НПЗ является повышение глубины переработки нефти и качества получаемых нефтепродуктов. В ходе решения такой задачи появляется большое количество научных работ в области процессов нефтепереработки. К таким процессам относятся ведущие процессы нефтепереработки, а именно: каталитические процессы крекинга, депарафинизации, гидроочистки, изомеризации, алкилирования и т.д.

В данной работе будет более детально рассмотрен процесс каталитической депарафинизации, с помощью которого получают ценнейшее автомобильное топливо – дизельное топливо, как летнее, так зимнее или арктическое.

Актуальность данной работы заключается в том, что с каждым годом в России увеличивается потребность в качестве и количестве дизельного топлива с улучшенными низкотемпературными свойствами [1].

Во-первых, это связано с продвижением индустрии России в сторону северной части страны. Необходимость обеспечить топливно-энергетический комплекс Севера России дизельным топливом с высокими низкотемпературными свойствами для устойчивой работы транспортных средств является важной задачей, т.к. в северных регионах России в самые холодные дни температура воздуха может достигать минус 50°C.

Во-вторых, в мире наметилась тенденция увеличения доли дизельного оборудования. Например, в России по подсчетам [2] доля дизельных транспортных средств по отношению ко всему объему транспортных средств в год увеличивается примерно на 1,3%. Можно предположить, что возникновение такой тенденции связано с преимуществом дизельного оборудования перед бензиновым оборудованием, а именно [3], [4]:

- технология получения дизельного топлива значительно проще технологии получения бензина, что отражается на конечной стоимости топлива;

- коэффициент полезного действия (по мощности) дизельных двигателей выше, чем бензиновых аналогов;
- выхлопные газы дизельного двигателя менее токсичны, чем выхлопные газы бензинового двигателя.

Процесс получения дизельного топлива зависит как от исходного сырья – нефти, так и от требуемых характеристик получаемого дизельного топлива. При получении дизельного топлива широко используют гидрогенизационные и депарафинизационные процессы, которые улучшают экологические и эксплуатационные свойства топлива.

Роль гидрогенизационных процессов в получении дизельного топлива заключается в гидрооблагораживании топлива, а конкретнее, в удалении гетероорганических соединений кислорода, серы, азота, галогенов, металлов и гидрировании непредельных углеводородов. В конечном итоге это позволяет уменьшить коррозионную активность топлива и склонность к образованию кислотных осадков, уменьшить количество вредных выбросов в атмосферу и т.д. [4].

Депарафинизационные процессы направлены на удаление или разрушение высокомолекулярных парафинов и церезинов. Такой процесс в значительной степени влияет на низкотемпературные свойства, которые очень важны при получении зимнего или арктического дизельного топлива.

Цель работы заключается в исследовании параметров (режимов) работы установки процесса каталитической депарафинизации в ходе получения дизельного топлива зимнего различного класса с применением усовершенствованной математической модели процесса каталитической депарафинизации и специализированной программы для расчета газожидкостного равновесия.

Объектом исследования является установка процесса каталитической депарафинизации дизельных фракций.

Предметом исследования являются кинетические и термодинамические закономерности протекания процесса каталитической депарафинизации, а

также влияние технологических параметров процесса и установки каталитической депарафинизации, на низкотемпературные свойства и выход продуктов, тепло- и энергозатраты с помощью модернизированной математической модели каталитической депарафинизации и специализированной программы для расчета газожидкостного равновесия.

Научная новизна

1. Модернизированная математическая модель каталитической депарафинизации, которая включает в себя восемь реакций дегидрирование н-парафинов $C_{10}-C_{27}$, гидрокрекинг олефинов, гидроизомеризация олефинов, циклизация олефинов, дегидрирование нафтенов, образование кокса, крекинг н-парафинов C_5-C_9 и гидрирование меркаптанов. Константы для кинетических уравнений этих реакций были получены на основании типовых данных установки каталитической депарафинизации.

2. Модернизированная математическая модель каталитической депарафинизации может выдавать значения расходов продуктов (фракция углеводородных газов, бензиновая фракция и дизельная фракция), после их отделения друг от друга и стабилизации (после ректификации согласно установке каталитической депарафинизации). Углеводороды C_1-C_4 , образовавшиеся после крекинга распределяются в продуктовую фракцию углеводородов. Н-парафины C_5-C_9 полностью составляют бензиновую фракцию. А в дизельную фракцию распределяются остальные углеводороды такие как: н-парафины $C_{10}-C_{27}$, и-парафины $C_{10}-C_{27}$, олефины, нафтены, ароматика, меркаптаны.

3. С использованием модернизированной математической модели и специализированной программы для расчета газожидкостного равновесия были получены материальные балансы, расходы энергоресурсов, технологические параметры и режимы работы установки каталитической депарафинизации.

1 Обзор литературы

1.1 Депарафинизационные процессы получения дизельного топлива

Депарафинизацию применяют в основном для керосино-газойлевых и масляных фракций нефти, в ходе которой улучшаются низкотемпературные свойства получаемых топлив или масел. Плохие низкотемпературные свойства характеризуются образованием твёрдой фазы углеводородов (парафинов, церезинов). Твёрдая фаза служит инициатором в частичной, либо полной неисправности работы моторов и механизмов.

Основными параметрами, характеризующими низкотемпературные свойства, являются: температура помутнения, температура застывания и ПТФ.

Температура помутнения – температура, при которой образуются первые кристаллы твердых углеводородов при охлаждении образца жидкого продукта в стандартных условиях.

Предельная температура фильтруемости – температура, при которой кристаллизуется достаточное количество парафиновых углеводородов, чтобы привести к засорению фильтра с заданными параметрами при охлаждении образца жидкого продукта в стандартных условиях [5].

Температура застывания – температура, при которой топлива полностью теряет текучесть и приобретает студнеобразный вид.

Все известные депарафинизационные процессы получения дизельного зимнего или арктического топлива можно разделить на 2 группы [6]:

- некаталитические процессы депарафинизации;
- каталитические процессы депарафинизации.

К первой группе относят физико-химические процессы облагораживания дизельного топлива, такие как: депарафинизация кристаллизацией (вымораживанием); карбамидная депарафинизация; адсорбционная депарафинизация; микробиологическая депарафинизация.

Ко второй группе относят химические процессы каталитической депарафинизации а именно: гидродепарафинизация и изодепарафинизация (изомеризационная депарафинизация).

1.1.1 Депарафинизация дизельного топлива кристаллизацией (вымораживанием)

Депарафинизацию кристаллизацией можно разделить на 2 типа:

- депарафинизация кристаллизацией с растворителем (широко применяют к масляной фракции, и реже к дизельной фракции);
- депарафинизация кристаллизацией без растворителя (можно применять к дизельной фракции);

Первый тип депарафинизации кристаллизацией основан на охлаждении смеси сырья (дизельная или масляная фракция) и определенного растворителя до температуры, при которой выпадает твердый осадок (парафины нормального строения и частично изостроения от $C_{20}H_{42}$ до $C_{50}H_{102}$). Затем полученную суспензию разделяют на депарафинированный продукт, твердый парафиновый остаток и исходный растворитель.

В качестве растворителей широко используют кетоны, сжиженный пропан, хлорорганические соединения и легкую фракцию бензина [7].

Роль растворителя заключается в уменьшении вязкости сырья, за счет чего в процессе кристаллизации твердой фазы образуются кристаллы большой формы, которые легче разделяются в фильтрах или центрифугах.

Процесс депарафинизации кристаллизацией с растворителем происходит непрерывно его можно разделить на несколько этапов: смешение сырья и растворителя; термическая обработка смеси (используется для более полного растворения сырья в растворителе); постепенное охлаждение смеси (в ходе чего выделяются кристаллы н-парафина и частично изо-парафина); разделение суспензии на твердые и жидкие вещества; регенерация растворителя.

Второй тип депарафинизации кристаллизацией основан на кристаллизации парафинов, нафтенов, ароматических и нафтено-ароматических

углеводородов (уже без растворителя) за счет понижения температуры. Затем следует разделение твердых углеводородов от жидких. Об этом типе депарафинизации мало что известно, и почти нет информации в литературе.

Известно то, что оба типа депарафинизации не актуальны на сегодняшний день для получения зимнего или арктического дизельного топлива. Это объясняется сравнительно маленьким выходом целевого продукта (дизельного топлива) 65-75 % масс. по сравнению с современными каталитическими процессами депарафинизации 85-98 % масс. [6].

1.1.2 Карбамидная депарафинизация дизельного топлива

Принцип работы процесса карбамидной депарафинизации основан на возможности карбамида (мочевины) образовывать кристаллические комплексы с парафиновыми углеводородами, которые затем удаляются (экстрагируются).

Кристаллический карбамид может существовать в тетрагональной и гексагональной модификации. Кристалл чистого карбамида имеет тетрагональную структуру – это плотно упакованная структура, не имеющая свободных пустот для других молекул. Когда происходит комплексообразование мочевины с углеводородом, кристаллическая структура карбамида перестраивается из тетрагональной в гексагональную модификацию. Такая модификация состоит из спирально расположенных шести молекул карбамида, угол между которыми равен 120° . При таком расположении между шестью молекулами карбамида образуется свободное пространство, в котором могут разместиться молекулы углеводородов, при комплексообразовании.

Очевидно, что образовывать комплекс с карбамидом могут те молекулы, которые смогут поместиться в это свободное пространство тетрагональной модификации карбамида, такие молекулы должны иметь диаметр поперечного сечения меньше $4,9 \text{ \AA}$.

Для соединений каждого класса углеводородов существует минимальная длина цепи, при которой может образовываться комплекс с карбамидом. Так, например, для н-алканов при нормальных условиях минимальная длина

углеводородной цепи равна 6 атомам углерода. Для изо-алканов, содержащих одну метильную группу для образования комплекса в прямом участке цепи должно содержаться не менее 10, а при наличии этильной боковой группы - не менее 24 атомов углерода [7].

В процессе карбамидной депарафинизации при получении арктического дизельного топлива в качестве сырья используют фракцию, перегоняющуюся в пределах кипения 160-320 °С. Получаемое при этом топливо имеет температуру застывания и предельную температуру фильтруемости до минус 60 и минус 45 °С соответственно. При получении зимнего дизельного топлива в качестве сырья используют фракцию, перегоняющуюся в пределах кипения 180-360 °С, температура застывания и ПТФ полученного зимнего дизельного топлива, составляет до минус 45 и минус 27°С соответственно.

Существует три варианта процесса депарафинизации с использованием карбамида:

- с концентрированным водным раствором карбамида;
- с водным раствором карбамида и изопропилового спирта;
- с кристаллическим карбамидом.

Независимо от варианта процесс карбамидной депарафинизации включает следующие основные стадии: смешения сырья с растворителем, карбамидом; образования комплекса; отделения комплекса от депарафинированного продукта; регенерация карбамида и растворителя.

Используемые в данном процессе растворители ускоряют образование карбамидного комплекса за счет ослабления межмолекулярных сил притяжения молекул твердых и жидких углеводородов, и препятствуют адсорбции на кристаллах карбамида или комплекса неуглеводородных компонентов сырья, которые являются ингибиторами комплексообразования. К их числу относят некоторые спирты (метанол, этанол, изопропанол), низкомолекулярные кетоны (ацетон, метилэтилкетон), хлорорганические соединения (хлористый метилен, дихлорэтан), вода и другие.

Из-за того, что в процесс депарафинизации с использованием кристаллического карбамида не используются растворители, получаемые при этом комплексы, сложно отделяются от депарафинированного топлива.

Поэтому вариант с использованием кристаллического карбамида мало зарекомендовал себя по сравнению с другими карбамидными процессами.

Удаление из топлива высокомолекулярных *n*-парафинов карбамидной депарафинизацией приводит к снижению ЦЧ в получаемом дизельном топливе, примерно, на 3-6 пунктов, что вынуждает использовать дорогие цетаноповышающие добавки. Такой недостаток делает карбамидную депарафинизацию не рациональной по сравнению с современными каталитическими процессами депарафинизации.

1.1.3 Адсорбционная депарафинизация

Данный процесс основан на способности адсорбентов селективно поглощать парафиновые и нафтеновые углеводороды из сырья, в ходе чего повышаются низкотемпературные свойства получаемых дизельных или масляных продуктов.

В качестве адсорбентов широко применяются цеолиты (типов А, X, Y), представляющие собой алюмосиликаты с трехмерной кристаллической структурой.

Процесс депарафинизации дизельного топлива с использованием адсорбентов, включает в себя следующие последовательные стадии: поглощение парафиновых углеводородов из сырья – адсорбцию; удаление неселективно адсорбированных углеводородов с адсорбента; выделение из адсорбента парафиновых углеводородов – десорбцию.

Из-за высокой эффективности парафиновых адсорбентов данный процесс имеет высокую степень выделения парафинов из сырья, превышающую 95% [8].

Благодаря созданию новых конструкций реакторов и аппаратов, за рубежом и в России строятся установки непрерывной адсорбционной

депарафинизации, также есть уже и действующие установки “Парекс”. Но такие установки наиболее актуальны (с точки зрения экономических соображений) для получения парафинов, нежели чем для производства дизельного топлива [8].

1.1.4 Микробиологическая депарафинизация

Процесс микробиологической депарафинизации заключается в способности определенных микробов (*pseudomonas*, *levures* (грибков)) селективно разлагать н-парафины, которые преимущественно имеют 25 атомов углерода. Иными словами, микроорганизмы поедают углеводороды.

Такой процесс включает в себя две стадии: первая – микробиологическая депарафинизация (поедание углеводородов микробами); вторая – выделение депарафинированного продукта из эмульсионной смеси с микробной массой и водой.

Существует опытная установка микробиологической депарафинизации во Франции, на которой перерабатываются дистилляты с температурой кипения 180-400°C. Температура застывания и ПТФ получаемого таким способом продукта, снижается примерно на 24-40 °C [9].

Главным недостатком такого процесса является длительность первой стадии процесса, что составляет от 12 до 24 ч.

1.1.5 Каталитическая гидродепарафинизация и изодепарафинизация

Процессы гидродепарафинизации и изодепарафинизации заключаются в химической конверсии н-парафинов с применением катализаторов и водорода.

Каталитическая гидродепарафинизация характеризуется основными реакциями гидрокрекинга, в ходе которых происходит разрыв (разрушение) углеводородной цепи н-парафинов, что сильно влияет на конечные низкотемпературные свойства получаемых продуктов. В процессе есть ряд и побочных реакций таких как: гидрокрекинг изопарафинов; гидрирование ароматических углеводородов, нафтенов; насыщение непредельных углеводородов.

Основными реакциями каталитической изодепарафинизации является изомеризация *n*-алканов с образованием изоалканов, появление которых улучшает эксплуатационные свойства продуктов.

Оба процесса проводятся с использованием бифункциональных катализаторов, которые содержат цеолиты (или цеолитоподобные структуры) в качестве кислотной составляющей, а также металлы, выполняющие функцию гидрирования-дегидрирования. Различные сочетания указанных выше компонентов обеспечивают селективный гидрокрекинг в случае гидродепарафинизации либо изомеризацию *n*-парафинов в процессе изодепарафинизации.

Процесс изодепарафинизации является более желанным процессом на НПЗ, т.к. в этом процессе получаемое дизельное топливо имеет больший выход и наибольшие показатели ЦЧ, чем у дизельного топлива, получаемого гидродепарафинизацией. Но в процессе изодепарафинизации есть и большой недостаток, связанный с тем, что в катализаторах изодепарафинизации используется преимущественно драгоценные металлы (платина, палладий), которые сильно повышают текущие затраты этого процесса, в то время как в процессе гидродепарафинизации используются относительно недорогие металлы (никель, молибден, вольфрам).

В связи с этим гидродепарафинизация в России является наиболее востребованным процессом, даже, несмотря на очевидные недостатки приведенные выше [10].

Вывод: Выделение высокомолекулярных парафинов из топливного или масляного сырья в процессах депарафинизации вымораживанием, карбамидной и адсорбционной депарафинизации существенно снижает выход (на 20-35 % масс.) товарного дизельного топлива, требует применения токсичных растворителей или энергоемких холодильных циклов и оправданно лишь в случае целенаправленного получения парафинов.

Процесс микробиологической депарафинизации рационально использовать при малом содержании в сырье н-парафинов, в противном случае будет существенно снижаться выход дизельной фракции.

Конверсия н-парафинов с помощью процессов гидродепарафинизации и изодепарафинизации является наиболее результативным и перспективным процессом из всего семейства процессов депарафинизации, что главным образом обусловлено большим выходом дизельного топлива по сравнению с другими процессами, а также в перспективной возможности модернизации существующих и разработке новых катализаторов, которые решат проблемы действующих каталитических процессов депарафинизации.

1.2 Физико-химические основы процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива

Выход и качество дизельного топлива зависит от режима работы реактора депарафинизации, от типа катализатора и от состава дизельного сырья, основу химического состава которого составляют три группы углеводородов, а именно: парафиновых (от 10 до 40 % масс), нафтеновых (от 20 до 50 % масс.) и ароматических углеводородов (от 15 до 30 % масс.).

В процессе депарафинизации протекают следующие химические превращения [11]:

- образование коксообразных веществ, которые дезактивируют активные центры катализатора;
- гидродециклизация циклических соединений;
- гидрирование ароматических и олефиновых соединений;
- гидроизомеризация углеводородов, способствующая получению парафинов разветвленного строения;
- гидрокрекинг длинноцепочечных углеводородов.

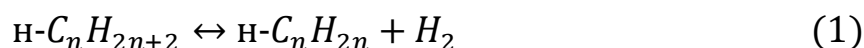
Химические реакции в каталитической депарафинизации, направленные на снижение в дизельном топливе алканов нормального строения, являются необходимыми для получения низкозастывающего дизельного топлива. К

таким реакциям, как известно, относятся: гидроизомеризация и селективный гидрокрекинг алканов нормального строения исходного сырья.

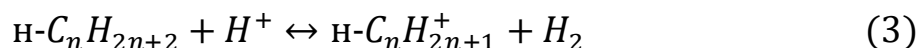
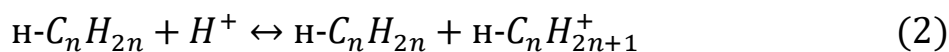
В литературе можно встретить описание реакций гидроизомеризации мономолекулярным и бимолекулярным механизмом.

Мономолекулярный механизм является общепринятым и используется для описания реакций с углеводородами, в которых число атомов углерода более четырех и может быть представлен следующими уравнениями [12]:

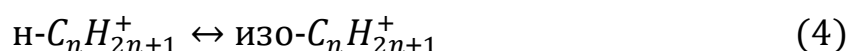
Дегидрирование алкана:



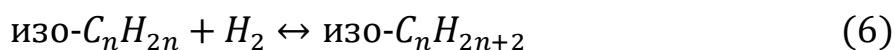
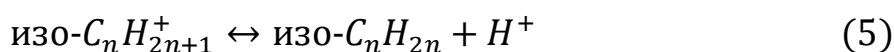
Образование карбокатиона:



Перегруппировка карбокатиона (изомеризация):



Гидрирование с образованием изоалкана:



Согласно механизму реакции гидрирования и дегидрирования (реакции (1) и (6)) протекают на металлических активных центрах катализатора, а образование и перегруппировка карбокатиона происходит на кислотных центрах. Лимитирующей стадией процесса в мономолекулярном механизме является стадия перегруппировки карбокатиона (реакция (4)).

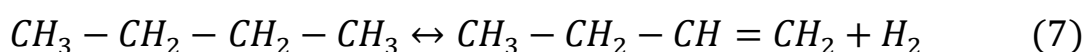
Скорости реакций гидроизомеризации обратно пропорциональны давлению водорода, т.к. с увеличением давления водорода уменьшается содержание олефинов и карбокатионов согласно реакции (1) и (2) соответственно. С другой стороны присутствие водорода необходимо для гидрирования изоалкенов (реакция (6)) и для поддержания стабильности активных центров катализатора.

Селективность, активность и стабильность работы катализатора возрастает за счет нанесения на кислотный носитель достаточного количества

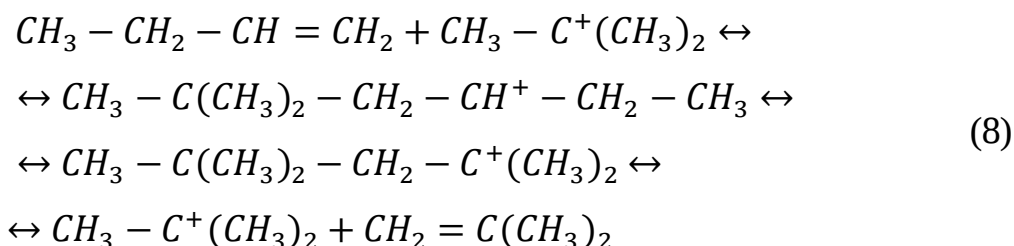
активного гидрирующего металла [12]. Образование карбокатиона по реакции (3) возможно и без содержания какого-либо металла в катализаторе, однако, в таком случае из-за отсутствия гидрирующих металлов, интенсивность процесса будет ограничиваться повышенной степенью дезактивацией катализатора коксообразными веществами.

Бимолекулярный механизм используется для описания гидроизомеризации бутана, включающий реакции гидрокрекинга и олигомеризации.

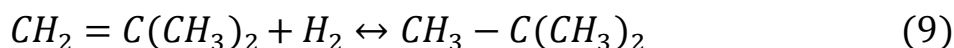
Образование олефина:



Олигомеризация, перегруппировка карбокатиона и гидрокрекинг:

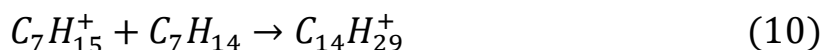


Гидрирование олефина с образованием изоалкана:



Стоит отметить, что бимолекулярным механизмом можно описывать и реакции изомеризации углеводородов с числом атомов углерода более четырех, но в таком случае скорость реакций значительно меньше, чем при использовании мономолекулярного механизма. Так, например, в работе [13] отмечено, что при гидроизомеризации гептана часть изопентанов образуется по бимолекулярному механизму.

К побочным реакциям можно отнести реакции олигомеризации и неселективный гидрокрекинг парафинов. В олигомеризации могут участвовать образованные по реакциям (1), (5) и (8) олефины, образуя углеводороды с большой длиной углеводородной цепи, например:



Такие углеводороды могут приводить к закоксовыванию катализатора, т.к. трудно десорбируются с его поверхности, а так же они легко вступают в реакции гидрокрекинга, что снижает селективность общего процесса [11].

Появления таких побочных реакций можно избежать, используя повышение давления водорода и применение катализаторов с сильной металлической функцией, что уменьшит равновесные концентрации олефинов, которые вступают в реакции олигомеризации.

Кроме нормальных парафинов в сырье процесса депарафинизации может присутствовать немалое количество нафтеновых и ароматических углеводородов с длинными алкильными цепочками нормального строения, которые сильно ухудшают низкотемпературные свойства дизельного топлива. Их химизм в депарафинизации сильно зависит от кислотности активных центров катализатора (рисунок 1).

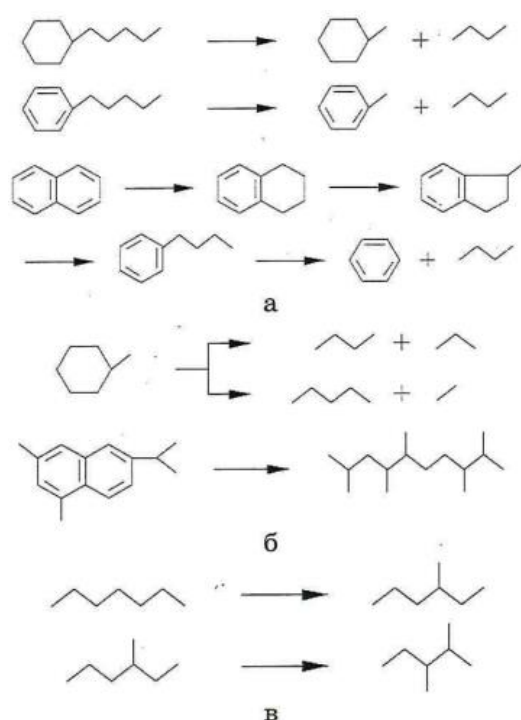


Рисунок 1 – Превращения углеводородов на катализаторах с различной кислотностью активных центров [11]:

а – высокая кислотность; б – низкая кислотность; в – умеренная кислотность

Так на катализаторах с сильной кислотностью активных центров они подвергаются изомеризации и распаду также как парафиновые углеводороды.

Разрушение кольца происходит в небольшой степени (рисунок 1 а). На катализаторах с низкой кислотностью характерны реакции гидрогенолиза с последующим гидрированием образовавшегося углеводорода (рисунок 1 б). На катализаторах со средней кислотностью происходит насыщение карбений-ионов, в результате чего образуются парафины с большим числом атомов углерода.

От катализатора зависит, в каком направлении будет протекать процесс, т.к. каждый компонент катализатора вносит свой вклад в общее каталитическое его действие.

1.3 Современные промышленные катализаторы каталитической депарафинизации

Современные катализаторы депарафинизации очень разнообразны как с точки зрения состава, так и с точки зрения их воздействия на сырьё депарафинизации. Но все такие катализаторы можно охарактеризовать четырьмя функциональными группами (таблица 1), которые вносят вклад в результативность катализатора.

Таблица 1 – Функциональные группы катализаторов депарафинизации [14]

Функциональные группы	Компоненты
Группа кислотных компонентов	Цеолит типа ZSM (ZSM-5, ZSM-11, ZSM-12, ZSM-22, ZSM-23); цеолит морденит; цеолит Beta; цеолит Y (супер стабильный USY, фожазит); цеолит типа SSZ (SSZ-59, SSZ-47, SSZ-60); цеолитоподобные структуры силикоалюмофосфаты SAPO (SAPO-11, SAPO-31, SAPO-34).
Группа гидрирующих компонентов	металлы Ni, Mo, W или Pt, Pd.
Группа связующих компонентов	Оксид алюминия; аморфный алюмосиликат; оксид кремния.
Группа промоторов (модификаторы)	Металлы и неметаллы: алюминий, железо, цинк, церий, лантан, олово, рений, марганец, кальций, хром, бор, фосфор; оксиды металлов.

Роль группы кислотных компонентов заключается в создании кислотных активных центров, на которых протекают реакции изомеризации и распада углеводородов, причем увеличение силы кислотных центров приводит к

облегчению данных реакций, что позволяет проводить процесс депарафинизации при более низкой температуре.

Основная роль гидрирующих компонентов заключается в изменении направления протекания процесса. Так при использовании более сильных гидрирующих металлов (Pt, Pd) получают катализаторы изодепарафинизации, а при использовании менее гидрирующих металлов (Ni, Mo, W) получают катализаторы гидродепарафинизации.

Роль связующих компонентов заключается в улучшении каталитических свойств кислотных и гидрирующих центров. Оксид алюминия является самым оптимальным и распространённым связующим компонентом.

Роль промоторов и модификаторов заключается в повышении активности (увеличение дисперсности гидрирующего компонента), прочности и стабильности (снижение степени дезактивации) катализатора. Для улучшения активности применяют бор, фосфор, цинк, а для улучшения стабильности олова, марганец.

Существует большое количество как зарубежных, так и отечественных катализаторов.

К промышленным зарубежным катализаторам, которые широко используются в получении низкозастывающего дизельного топлива, можно отнести катализатор, разработанный альянсом компаний ExxonMobil Research and Engineering, Albemarle, Kellogg Brown and Root, Fina Research S.A. (таблица 2).

Таблица 2 – Технологические характеристики каталитической технологии от альянса компаний ExxonMobil Research and Engineering и др [15].

Давление, МПа	2,8-5,6
Температура, °С	260-400
Объемная скорость подачи сырья, ч ⁻¹	1-2
Кратность циркуляции ВСГ, нм ³ /м ³	240-440
Сырьё: фракция, °С	250-340
Выход целевого продукта, % масс.	90
Депрессия по низкотемпературным показателям, °С	от 10 до 65

Главной отличительной чертой данного катализатора является то, что работать такой катализатор может в условиях работы процесса гидрообессеривания, это позволяет совмещать это катализатор с катализаторами гидрообессеривания, что дает возможность получать хорошо гидроочищенное топлива. Данный катализатор широко применяется в технологиях MAICFining MDDW (Mobil Distillate Dewaxing) и MAKFining CFI/HDS.

Другой не менее широко используемый катализатор HYDEX-G (таблица 3) от компании Clariant AG используется на российских предприятиях – ООО «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтепереработка», «Ачинский НПЗ ВНК» и ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез».

Таблица 3 – Технологические характеристики каталитической технологии
HYDEX-G [11]

Давление, МПа	5,4
Температура входа в реактор, °С	340
Объемная скорость подачи сырья, ч ⁻¹	1,2-1,5
Кратность циркуляции ВСГ, нм ³ /м ³	330-625
Сырьё: фракция, °С	180-360
Выход целевого продукта, % масс.	от 86 до 97
Депрессия по низкотемпературным показателям, °С	от 24 до 40

Данный катализатор хорошо проявляет себя в устойчивости к отравлению гетероатомными соединениями сырья, а его эксплуатация характеризуется низким потреблением водорода.

Катализаторы SDD-800 и SDD-801 компании Shell Global Solutions и Criterion Catalysts Co используются на отечественном предприятии в АО «Газпромнефть-ОНПЗ». Катализатор SDD-800 представляют собой серо- и азотоустойчивый катализатор депарафинизации на основе неблагородных металлов, что позволяет использовать его в жестких условиях [12]. А катализатор SDD-801 содержит в себе дорогой металл Pt и обладает функциями депарафинизации и гидрирования и используется на второй стадии. Последовательность стадий использования таких катализаторов позволяет

обеспечить стабильную депарафинизацию сырья совместно с гидрированием ароматических углеводородов.

Катализаторы компании Shell Global Solutions характеризуются высокой стабильностью работы (3-5 лет), обеспечивают высокий выход целевого продукта, позволяют работать с высокосернистым сырьём до 3 % масс. и обеспечивают протекание процесса при низких давлениях и больших объемных скоростях.

Катализаторы гидроизомеризации компании ExxonMobil Research and Engineering, Albemarle, Kellogg Brown and Root, Fina Research S.A. работают при давлении от 1,7 до 2,0 МПа на стационарном слое фирменного бифункционального цеолитсодержащего катализатора на основе платины. С помощью этого катализатора возможна переработка широкого ассортимента сырья включая от керосиновых до высокоплавких остатков гидрокрекинга.

Существуют сульфидированные катализаторы ТК-928 и ТК-932 на основе цеолитов от компании Haldor Topsoe, в составе которых содержатся гофрирующие компоненты Ni и W. Основное преимущество таких катализаторов заключается в меньшем образовании бензиновой фракции и газов C_1-C_4 , что сильно увеличивает выход целевого продукта. Данные катализаторы хорошо проявляют себя в процессе обессеривания и деазотирования, используя их, можно получать современное топливо, отвечающее современным требованиям Евро-5.

К отечественным промышленным катализаторам можно отнести катализаторы СГК-1 и СГК-5 (таблица 4), которые были разработаны в ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке нефти» (ОАО «ВНИИ НП»).

Таблица 4 – Технологические характеристики каталитической технологии катализаторов СГК-1 и СГК-5 от компании ОАО «ВНИИ НП» [11]

Показатели	Катализаторы	
	СГК-1	СГК-5
Давление, МПа	от 3,6 до 3,8	от 3,5 до 3,8
Температура, °С	от 325 до 350	от 320 до 370
Объемная скорость подачи сырья, ч ⁻¹	0,8-1,1	0,6-1,0
Кратность циркуляции ВСГ, нм ³ /м ³	650-1000	800-1100
Сырьё: фракция, °С	215-360	280-400
Выход целевого продукта, % масс.	от 85 до 86	от 64 до 68
Депрессия по низкотемпературным показателям, °С	от 20 до 26	62

Данные катализаторы синтезированы на отечественном цеолите ЦВМ, который является аналогом ZSM-5. Оба катализатора СГК-1 и СГК-5 имеют большой промышленный опыт использования на предприятиях ООО «Сургутгазпром ЗСК» и ОАО «Ангарский НПЗ» соответственно. В работе [11] авторы сравнивают катализаторы СГК-1 и СГК-5 с зарубежным катализатором HYDEX-G и делают вывод, что отечественные катализаторы ничуть не хуже зарубежных катализаторов.

Известна серия катализаторов ДЕП (ДЕП-3, ДЕП-9, ДЕП-23), разработанная специалистами АО «АЗКиОС». Данные катализаторы (таблица 5) отличаются высокой селективностью и активностью в реакциях гидродепарафинизации по сравнению с катализатором СГК-5.

Таблица 5 – Технологические характеристики катализаторов серии ДЕП [15]

Показатели	Катализаторы		
	ДЕП-3	ДЕП-9	ДЕП-23
Давление, МПа	3,0		
Температура, °С	от 330 до 360	от 330 до 360	от 300 до 310
Объемная скорость подачи сырья, ч ⁻¹	1,0-2,0	1,0-2,0	3,0
Кратность циркуляции ВСГ, нм ³ /м ³	1000		
Сырьё: фракция, °С	200-355		
Выход целевого продукта, % масс.	от 88 до 90	от 88 до 89	от 89 до 90
Предельная температура фильтруемости, °С	от -30 до -38	от -38 до -42	от -41 до -43

Катализаторы серии ДЕП не имеют промышленного опыта использования, однако в работе [15] представлена технология, по которой с

использованием процесса гидроочистки можно получать дизельное топливо класса 3, вид III.

Помимо представленных, существует еще множество других катализаторов, но большинство из них находится на ранних этапах исследований на лабораторных установках.

1.4 Современные технологические схемы каталитической депарафинизации, их сравнение

Современные процессы каталитической депарафинизации, как правило, состоят из реакторного, ректификационного и очистного блоков. Типичная установка каталитической депарафинизации представлена на рисунке 2.

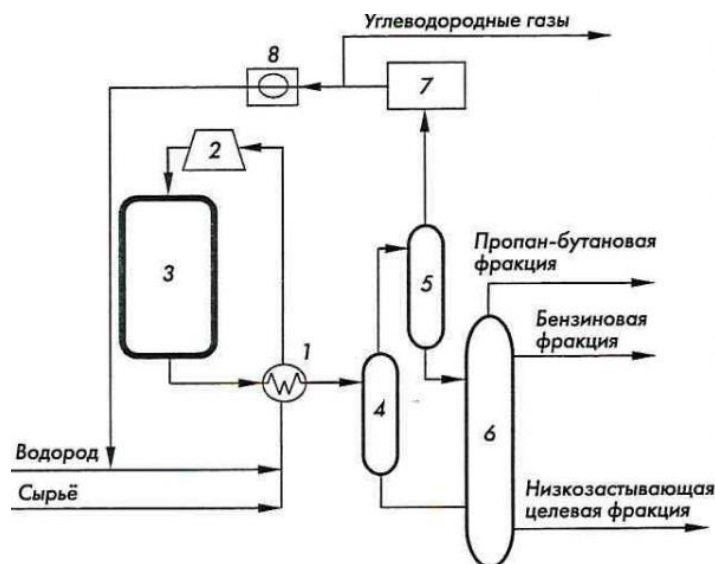


Рисунок 2 – Типичная установка каталитической депарафинизации
1 – теплообменник; 2 – печь; 3 – реакторный блок; 4 и 5 – сепараторы высокого и низкого давления соответственно; 6 – ректификационная колонна; 7 – блок очистки газов; 8 – компрессор.

Главное отличие современных установок заключается в устройстве и принципе работы реакторного блока. В реакторном блоке протекают процессы гидроочистки и депарафинизации, с помощью которых получают дизельное топливо с низкими низкотемпературными свойствами.

В зависимости от содержания серы и азота в сырье каталитической депарафинизации (для катализаторов депарафинизации на основных металлах)

существуют различные комбинации расположения катализаторов гидроочистки и депарафинизации по ходу сырья (рисунок 3) [11].

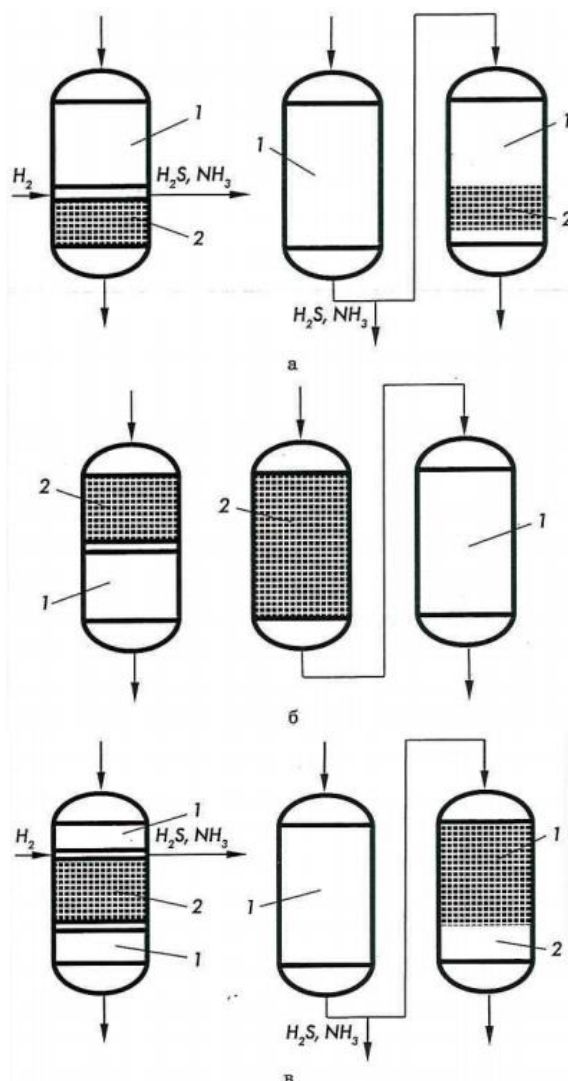


Рисунок 3 – Расположение катализаторов депарафинизации и гидроочистки в зависимости от содержания серы и азота в сырье депарафинизации

1 – катализатор гидроочистки; 2 – катализатор депарафинизации:

а – среднее содержание серы ~1,0%; б – низкое содержание серы ~0,5%;

в – высокое содержание серы ~1,5%;

Для депарафинизации сырья с низким содержанием серы (или в процессе депарафинизации без учета серы) в реакторном блоке используется только катализатор депарафинизации (только процесс депарафинизации).

Независимо от расположения катализаторов гидроочистки и депарафинизации, промежуточное очищение водорода от соединений серы и

азота, значительно уменьшает ингибирующую активность сырья для обоих катализаторов [16].

Основное количество дизельного топлива в России посредством каталитической депарафинизации вырабатывается на семи заводах [1]:

1. НПЗ г. Ухта, установка ГДС-850.
2. ЗСК г. Сургут, установка ЛКС 35-64.
3. НПЗ г. Кириши, установка Л-24-10/2000.
4. НПЗ г. Ачинск, установка ЛК-6Ус.
5. НПЗ г. Комсомольск.
6. НПЗ г. Омск, установки Л-24-9х и Л-24-6.
7. НПЗ г. Ярославль, установка ЛЧ-24/7.

Установка получения зимнего дизельного топлива ГДС-850 (ОАО «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтепереработка») в настоящее время имеет мощность более 1,0 млн. т/год, при этом выход зимнего дизельного топлива достигает порядка 90%.

В качестве сырья установки используют дизельные фракции (н.к. 190-200 °С к.к. 330-340 °С), имеющие температуру застывания 19-22 °С.

Реакторный блок данной установки состоит из трех реакторов, в которых последовательно размещен катализатор деме­таллизации G 78А, гидрообессеривания HR-626 («Axens») и гидродепарафинизации Hydex G («Zud-Chemie»). Технологический режим реакторного блока представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Технологический режим работы реакторного блока установки
ГДС-850

Давление, МПа	4,9
Температура процесса, °С	250-320
Объемная скорость подачи сырья, ч ⁻¹	1,6-2,0
Кратность циркуляции ВСГ, нм ³ /м ³	400-700

Известно, что на установке ГДС – 850 с 2012 года получают дизельное топливо экологического класса 5 [17].

На установке ЛКС 35-64 (ПАО «Сургутнефтегаз») мощностью 600 тыс. т/год процесс получения дизельного топлива проводят в трех реакторах (рисунок 4), в первые два загружают катализатор СГК-1, а в последний реактор загружают катализатор гидрообессеривания КГУ-950 (ООО НПП «ОЛКАТ»).

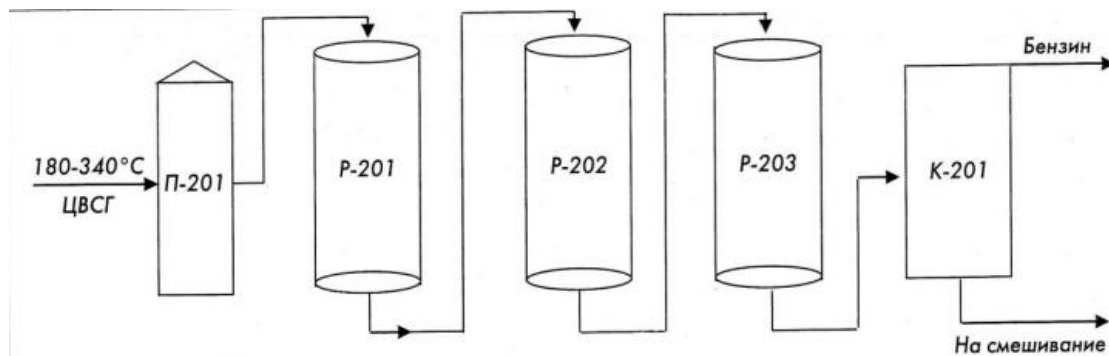


Рисунок 4 – Схема реакторного блока установки ЛКС 35-64

П-201 – печь; Р-201, Р-202, Р-203 – реакторы; К-201 – колонна стабилизации

На данной установке было проведено множество опытных пробегов, которые показали, что [18]:

- при утяжелении сырья установки, низкотемпературные свойства дизельного топлива становятся лучше;
- при вовлечении в дизельное сырьё керосиновой фракции можно быстро получать арктическое дизельное топливо с незначительным содержанием серы;
- если облегчить дизельное сырьё (фракционировать сырьё на три фракции 140-280, 280-340 и 340+ °С, и оставить только первые две), то можно достигнуть увеличения выхода дизельного топлива и улучшения низкотемпературных свойств.

В настоящее время на установке ЛКС 35-64 возможно производство дизельного топлива класса Евро-5 [19].

На установке Л-24-10/2000 (ООО «КИНЕФ») мощностью 2 млн. т/год ЗТД вырабатывается 6 месяцев в году. Основная особенность установки заключается в том, что процесс гидрообессеривания и депарафинизации проводят под давлением 7 МПа. Реакторный блок установки состоит из трех реакторов (рисунок 5). В первые два реактора (Р-1 и Р-2) загружают

катализатор гидрообессеривания HR 538 («Axens»), в последний – сверху загружают катализатор депарафинизации Hydex-G («Zud-Chemie»), снизу – катализатор гидроочистки HR 506 [1].

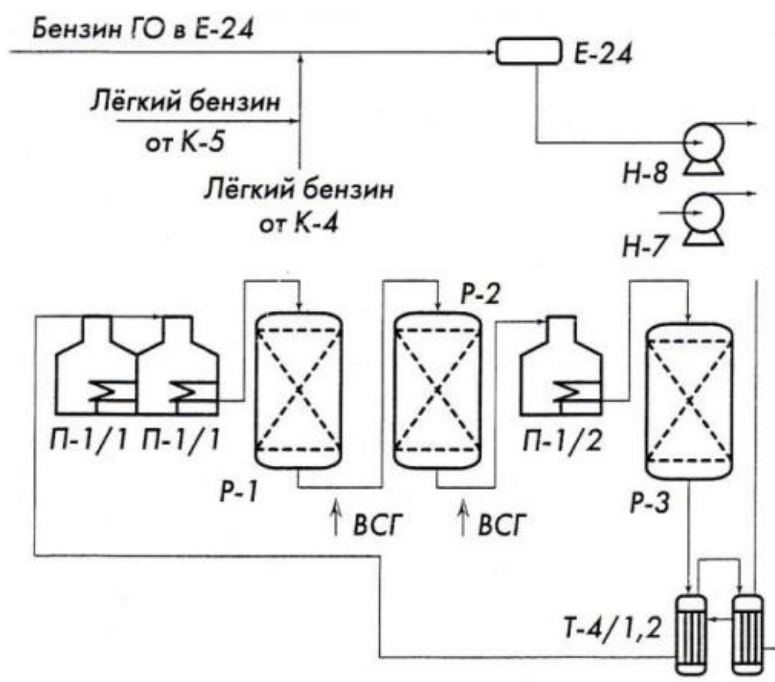


Рисунок 5 – Реакторный блок установки Л-24-10/2000

В качестве сырья на установке используют дизельные фракции и атмосферный газойль.

На установке ЛК-6Ус (АО «Ачинский НПЗ») мощностью 2,3 млн. т/год получение зимнего дизельного топлива осуществляется в двух реакторах (рисунок 6). В реакторе Р-301А осуществляется процесс депарафинизации, а в реакторе Р-301Б процесс гидрообессеривания [1].

В реактор Р-301А загружают катализатор депарафинизации HYDEX-G. В реактор Р-301Б имеет комбинированную загрузку. Сверху загружают катализатор гидроочистки KF-757, после него загружают катализатор депарафинизации HYDEX-G со слоями катализатора деазотирования, на которых происходят реакции расщепления и гидрирования углеводородов нормального строения с целью снижения температуры застывания дизельной фракции с образованием лёгких углеводородов. Сырьем в производстве зимнего дизельного топлива является прямогонная дизельная фракция и фракция УФС.

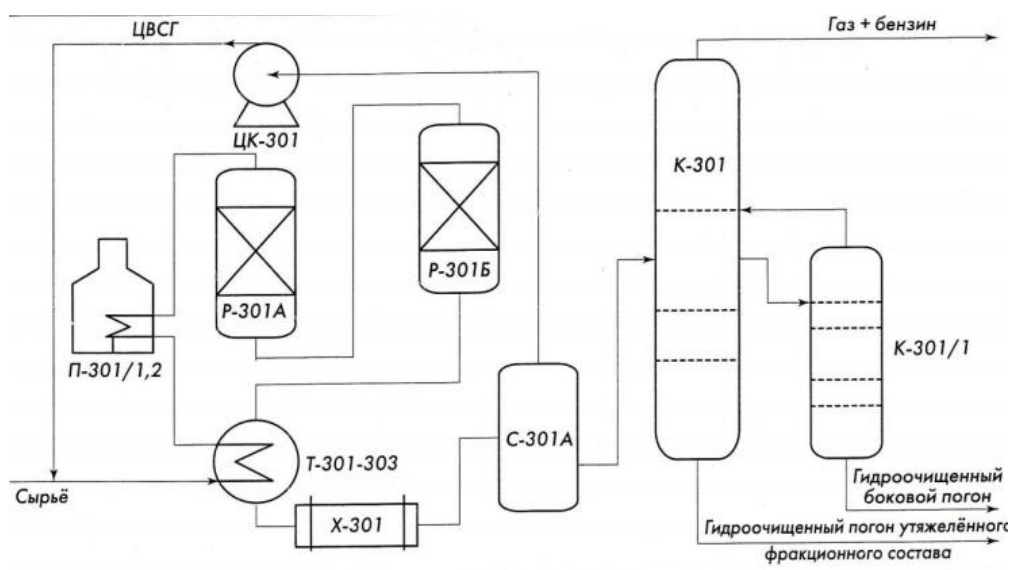


Рисунок 6 – Принципиальная технологическая схема установки ЛК-6Ус получения дизельного топлива С-300/1

Р-301А – реактор депарафинизации; Р-301Б – реактор гидроочистки; П-301/1,2 – печь; ЦК-301 – циркуляционный компрессор водородсодержащего газа; Т-301-303 – теплообменники; Х-301 – воздушный холодильник; С-301А – сепаратор высокого давления; К-301 – колонна стабилизации; К-301/1 – колонна стабилизации бокового погона К-301.

На установке ЛК-6Ус производство зимнего дизельного топлива Евро-3 класса 2 осуществляют компаундированием топливных продуктов с добавлением цетаноповышающих присадок [17].

На Омском НПЗ посредством объединения двух установок (Л-24-9х и Л-24-6) производят зимнее и арктическое дизельное топливо с содержанием серы менее 10 ppm. Сначала на установке Л-24-9х производят процесс гидрообессеривания, затем на установке Л-24-6 снижают низкотемпературные характеристики дизельного топлива на катализаторе фирмы «Criterion».

На Комсомольском НПЗ функционирует специализированная установка глубокого облагораживания дизельного топлива (рисунок 7).

Установка состоит из трех ступеней, предназначенных для гидрообессеривания, депарафинизации и ароматизации дизельного топлива [1].

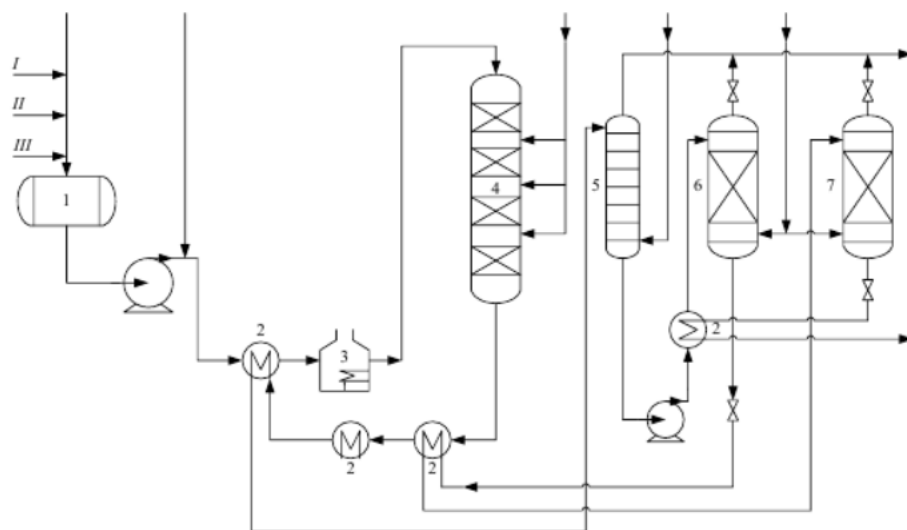


Рисунок 7 – Принципиальная схема установки глубокого облагораживания
дизельного топлива

1 – сырьевая емкость; 2 – теплообменники; 3 – печь; 4, 6, 7 – реакторы первой, второй и третьей ступени соответственно; 5 – колонна отдувки сероводорода

Главной отличительной особенностью установки является применение противотока сырья и водорода (сырье поступает сверху, а водород снизу реактора).

На установке ЛЧ-24/7 ПАО «Славнефть-ЯНОС» зимнее и арктическое дизельное топливо производится с помощью изодепарафинизации на платиновом катализаторе фирмы Shell. Особенностью данной установки является то, что на первичной переработке отделяется часть топлива, которое уже имеет необходимые для зимнего дизельного топлива свойства, а на изодепарафинизацию отправляется лишь нуждающаяся часть сырья зимнего дизельного топлива. ПАО «Славнефть-ЯНОС» в настоящее время занимает лидирующие позиции в производстве зимнего дизельного топлива в России [20].

Сегодня на АО «Ангарская нефтехимическая компания» ведётся строительство установки гидроочистки и изодепарафинизации, проектная мощность которой 4,0 млн. т./год. Данный процесс, включает в себя глубокое гидрирование гетероатомных соединений, насыщение ароматических

углеводородов и изомеризацию парафинов. Получаемое при этом топливо будет соответствовать Европейским стандартам летнего зимнего и арктического топлива [17].

1.5 Конструкции реакторных устройств

Процесс гидродепарафинизации и изодепарафинизации, как и любой каталитический процесс проводится в химическом реакторе. Задача любого реактора заключается в обеспечении тепло- и массообменных процессов.

В процессах депарафинизации в основном применяются реакторы вытеснения с аксиальным движением (вводом) сырья.

Главное преимущество аксиальных реакторов перед другими это простота эксплуатации. Основными недостатками данного реактора являются [21]:

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

По материальному оформлению реактора с аксиальным движением (вводом) сырья бывают двух типов [22]:

- с наружной тепловой изоляцией (теплоизоляция поверх корпуса реактора);
- с внутренней защитной футеровкой торкрет-бетоном (теплоизоляция внутри корпуса реактора).

В реакторах первого типа (рисунок 8), корпус реактора изготавливается из двухслойной стали (наружный слой из углеродистой стали, внутренний из нержавеющей).

Journal of Management Education 36(7) 809–824

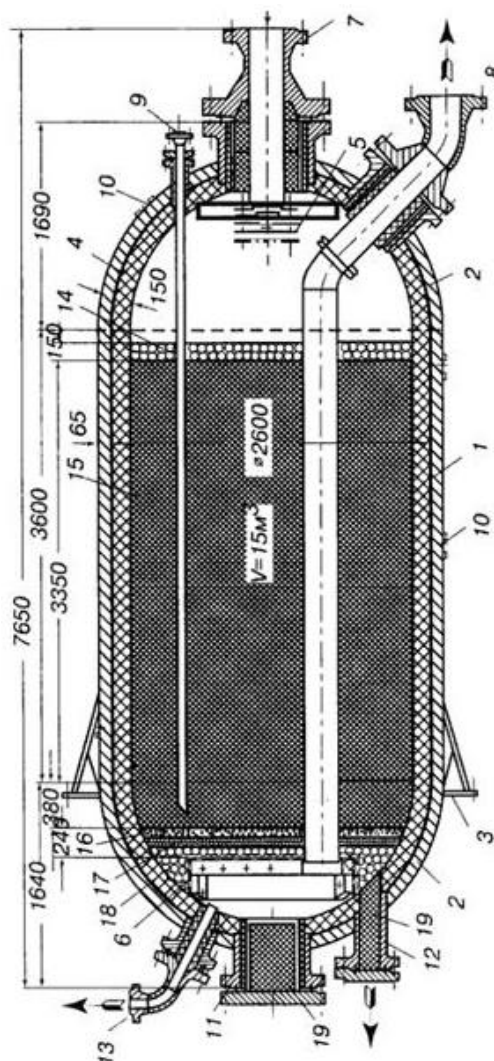


Рисунок 8 – Аксиальный реактор с наружной тепловой изоляцией

1 – корпус; 2 – днище; 3 – опорное кольцо; 4 – футеровка; 5 – распределитель;
6 – опорная решетка; 7 – вход парогазовой смеси; 8 – выход парогазовой смеси;
9 – штуцер; 10 – наружные термонпары; 11 – люк; 12 – люк для выгрузки
катализатора; 13 – штуцер для эжекции газов; 14 – фарфоровые шарики;
15 – катализатор; 16 – шарики диаметром 6 мм; 17 – шарики диаметром
13 мм; 18 – шарики диаметром 20 мм; 19 – легкий шамот; 20 – защитный
стакан; 21 – отбойный зонт; 22 – лючок для очистки; 23 – вход
охлаждающего газа.

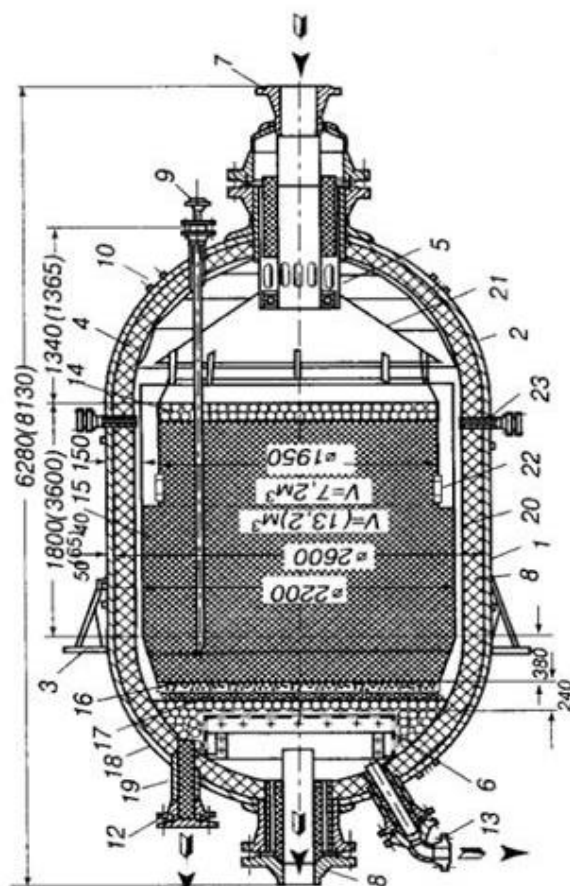


Рисунок 9 – Аксиальный реактор с внутренней тепловой изоляцией
 1 – корпус; 2 – днище; 3 – опорное кольцо; 4 – футеровка; 5 – распределитель;
 6 – опорная решетка; 7 – вход парогазовой смеси; 8 – выход парогазовой смеси;
 9 – штуцер; 10 – наружные термомпары; 11 – люк; 12 – люк для выгрузки катализатора; 13 – штуцер для эжекции газов; 14 – фарфоровые шарики; 15 – катализатор; 16 – шарики диаметром 6 мм; 17 – шарики диаметром 13 мм; 18 – шарики диаметром 20 мм; 19 – легкий шамот; 20 – защитный стакан; 21 – отбойный зонт; 22 – лючок для очистки; 23 – вход охлаждающего газа.

Принцип действия аксиальных реакторов прост. В верхний штуцер подается газо-сырьевая смесь, после чего она равномерно распределяется на распределителе. Продукты, прошедшие слой катализатора, выходят по центральной трубе через верхний штуцер.

В процессах каталитической депарафинизации возможно применение и других реакторов, например, реактора с радиальным вводом сырья. Главное

преимущество такого реактора перед аксиальным, заключается в меньшем гидравлическом сопротивлении [21].

1.6 Каталитическая депарафинизация в России и в мире: основные лицензиары технологии, количество установок, объемы производства и рынок сбыта

Одной из проблем в топливной экономике России является нехватка отечественного зимнего и арктического дизельного топлива, обусловленная особенностью климатических условий страны и необходимостью работы транспорта в любое время года. Потребность в данном виде топлива составляет 40 % от общего потребления. Несмотря на это российскими НПЗ производится в основном летнее дизельное топливо (рисунок 10).

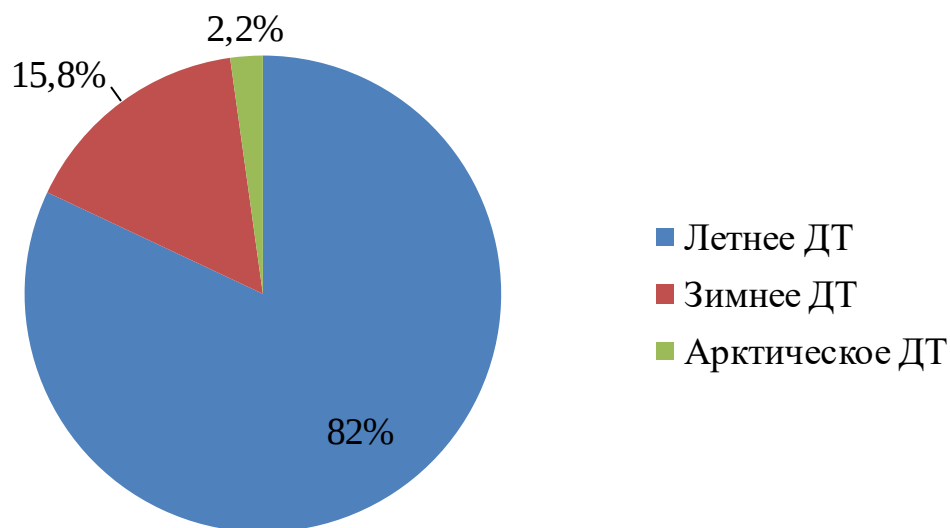


Рисунок 10 – Производство дизельного топлива в России за 2016 г, % от общего объема [23].

Данная проблема обостряется тем, что с каждым годом потребность в зимних сортах дизельного топлива в России и в других странах возрастает. На сегодня, выпуск большего объема зимних сортов дизельного топлива для России не представляется возможным, т.к. это становится не выгодно для экономики НПЗ России [11].

В России доля зимних видов топлива составляет 18 % от всего объема дизельного топлива, в других развитых странах с холодным климатом этот

показатель составляет 25%. Стоит отметить, что в таких странах дефицита холодных сортов дизельного топлива не наблюдается.

За 2014 г. объем производства зимнего и арктического дизельного топлива составил около 14 млн. тонн (таблица 7).

Таблица 7 – Производство дизельного топлива российскими нефтяными компаниями за 2014 г [24]

Компании РФ	Зимнее ДТ, тыс. тонн	Арктическое ДТ, тыс. тонн	Всего зимнего и арктического ДТ, тыс. тонн
ПАО «НК» Роснефть»	2824,8	104,7	2929,5
ПАО «Газпромнефть»	1687,7	61,2	1748,9
ПАО «Лукойл»	2404,7	889,4	3294,1
ПАО «АНК»Башнефть»	607,3	101,2	708,5
ПАО «НГК Славнефть»	953,6	-	953,6
ПАО «Сургутнефтегаз»	686,5	176,7	863,2
Сумма	12210,5	1718,5	13929

Из таблицы 7 видно, что наибольшее количество зимнего и арктического дизельного топлива производится компаниями ПАО «НК» Роснефть» (2824,8 тыс. тонн) и ПАО «Лукойл» (889,4 тыс. тонн) соответственно.

Производство летнего дизельного топлива в России значительно больше, чем это требуется для развития экономики страны, поэтому почти половина дизельного топлива экспортируется, причем на экспорт идет высокосернистое летнее дизельное топливо (в зимний период экспортируется, в основном, так же летнее топливо), которое не отвечает экологическим требованиям Европейских стандартов. Всего в 2014 г. в России было выработано примерно 77,3 млн. тонн дизельного топлива [24]. На экономическом рынке по экспорту дизельного топлива Россия занимает первое место. Около 80 % от общего объема экспорта дизельного топлива осуществляется в страны Западной Европы и Средиземноморья.

В зависимости от свойств нефти (сырья), катализаторов и т.д., в России используются различные процессы и установки получения зимних видов дизельного топлива (таблица 8).

Таблица 8 – Процессы/установки получения низкозастывающих дизельных топлив на НПЗ России [24]

Процесс/установка	Нефтеперерабатывающее предприятие	
	Действующие установки	На стадии строительства
Каталитическая депарафинизация (гидродепарафинизация), совмещенная с процессом гидроочистки	ПАО «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтепереработка»	—
	ПАО «НК «Роснефть»	
	АО «Ачинский НПЗ»	
	«ВНК» ООО «Газпром-переработка» Сургутский ЗСК	
	АО «Газпромнефть-ОНПЗ»	
Установка глубокого гидрооблагораживания ДТ (гидроочистка + деароматизация + депарафинизация)	ОАО «НК «Роснефть» – Комсомольский НПЗ»	—
Каталитическая изодепарафинизация, совмещенная с процессом гидроочистки	ПАО НК «Роснефть» ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез»	АО «Ангарская НХК»

Основными лицензиарами гидродепарафинизации является Shell Global Solutions, Exxon Mobil, ОАО «ВНИИ НП» и ООО «Ленгипронефтехим», а лицензиарами изодепарафинизации Chevron и ExxonMobil [17]. К сожалению отечественных лицензиаров изодепарафинизации нет.

1.7 Постановка цели и задач исследования

Литературный обзор показал, что существующих объемов производства качественного зимнего дизельного топлива в Российской Федерации недостаточно для покрытия спроса внутри страны. При этом наблюдается тенденция увеличения спроса дизельного топлива не только в России, но и в других странах.

Наиболее эффективным с экономической и технологической точки зрения процессом получения зимнего дизельного топлива является каталитическая депарафинизация. Процесс каталитической депарафинизации является составной частью установок гидроочистки дизельного топлива.

Как и все каталитические процессы, депарафинизация очень многофакторный процесс и в условиях изменения каких-либо входных

параметров, например, группового или количественного состава сырья, поступающего на установку, спрогнозировать состав продуктов каталитической депарафинизации, а тем более в целом всей установки каталитической депарафинизации дизельного топлива, является актуальной задачей. Данную задачу можно решить, применяя современные математические методы моделирования процессов нефтепереработки.

Основываясь на этом, целью данной работы является моделирование процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить физико-химические основы процесса каталитической депарафинизации;

2. Модернизировать существующую математическую модель каталитической депарафинизации для получения результатов, которые используются как входные параметры в математической модели технологической схемы установки каталитической депарафинизации.

3. Расчет основных показателей блока ректификации и блока очистки от кислых газов установки каталитической депарафинизации дизельного топлива при получении различного дизельного топлива зимнего различного класса 1, 2 и 3.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-технического исследования, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- организовать работы по научному исследованию;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;
- произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

В данном проекте сегментами рынка являются: нефтехимические компании; научно-исследовательские организации или университеты; граждане.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

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

В данной научной работе разрабатывается математическая модель реактора (модернизируется существующая модель) и технологическая схема блока сепарации и ректификации (в ПО Unisim) установки процесса каталитической депарафинизации.

В таблице 31 приведена оценка конкурентов, где Φ – разрабатываемый проект, k_1 – исследование, проведенное инженером-технологом в научно-исследовательском институте, k_2 – исследование, проведенное организацией, которая занимается переработкой нефти.

Таблица 31 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{Φ}	B_{k_1}	B_{k_2}	K_{Φ}	K_{k_1}	K_{k_2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,13	4	3	3	0,52	0,39	0,39
2. Точность	0,2	5	5	4	1	1	0,8
3. Скорость	0,12	5	4	3	0,6	0,48	0,36
4. Технологичность	0,17	4	4	5	0,68	0,68	0,85
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,13	5	4	5	0,65	0,52	0,65
2. Цена	0,14	5	5	4	0,7	0,7	0,56
3. Время	0,11	4	3	3	0,44	0,33	0,33
Итого	1	32	28	27	4,59	4,1	3,94

Из таблицы 31 видно, что проект превосходит конкурентные исследования, что связано с точностью математической модели, удобством эксплуатации, а также скоростью разрабатываемого проекта. Однако уязвимость разрабатываемого проекта в том, что требуется больше времени на его выполнение.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта (таблица 32) [25]. Применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Анализ проводится в 3 этапа.

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.

Таблица 32 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны С1. Низкие материальные затраты С2. Отсутствие подобного исследования на территории области С3. Высокая точность результатов (сходимость) С4. Распространённость и доступность объектов исследования С5. Удобный интерфейс ввода и вывода данных	Слабые стороны Сл1. Низкая скорость расчетов Сл2. Невосприимчивость модели к технологическим изменениям процесса Сл3. Для реализации исследования необходимо привлечение большого массива информации
Возможности В1. Вовлечение в разработку новых исследований, которые расширят возможности модели (программы) В2. Появление дополнительного спроса на исследования В3. Увеличение стоимости конкурентных разработок	Угрозы У1. Развитие конкуренции У2. Появление альтернативных технологий получения дизельного топлива У3. Использование альтернативного топлива

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 33. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 33 – Интерактивная матрица проекта

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

В рамках *третьего этапа* должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 34).

Таблица 34 – SWOT-анализ

	Сильные стороны C1. Низкие материальные затраты C2. Отсутствие подобного исследования на территории области. C3. Высокая точность результатов (сходимость). C4. Распространённость и доступность объектов исследования. C5. Удобный интерфейс ввода и вывода данных.	Слабые стороны Сл1. Низкая скорость расчетов. Сл2. Невосприимчивость модели к технологическим изменениям процесса. Сл3. Для реализации исследования необходимо привлечение большого массива информации.
Возможности B1. Вовлечение в разработку новых исследований, которые расширят возможности модели (программы). B2. Появление дополнительного спроса на исследования. B3. Увеличение стоимости конкурентных	1. Восприимчивость модели к технологическим изменениям процесса. 2. Восприимчивость модели к другим катализаторам. 3. Невысокая затратность даст возможность привлечь значительное количество исполнителей.	1. Применение современных методов решения математических уравнений. 2. Увеличение количества вводимых параметров в модель. 3. Вовлечение новых интеллектуальных ресурсов

разработок.		
Угрозы У1. Развитие конкуренции. У2. Появление альтернативных технологий получения дизельного топлива. У3. Использование альтернативного топлива.	1.Создание конкурирующей готовой продукции. 2. Стандартизация и сертификация продукта. 3. Применение данных методов к альтернативным топливам.	1. Сложность обработки информации. 2. Усовершенствование программы для увеличения спроса на продукт. 3. Создание конкурирующей готовой продукции.

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого заполнена специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта (таблица 35).

При проведении анализа по таблице, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта.

Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид:

- 1 – означает не знаком или мало знаю;
- 2 – в объеме теоретических знаний;
- 3 – знаю теорию и практические примеры применения;
- 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю;
- 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 35 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	5
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	5	4
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	4
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	59	58

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

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

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. В итоге получилось, что разработка является перспективной, а уровень имеющихся знаний у разработчика выше среднего.

По результатам оценки выделяются слабые стороны исследования, дальнейшего улучшения необходимо провести маркетинговые исследования рынков сбыта, разработать бизнес-план коммерциализации научной разработки и проработать вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок.

4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Для коммерциализации результатов, проведенного исследования будут использоваться следующие методы: инжиниринг и передача интеллектуальной собственности.

Инжиниринг будет предполагать предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика [25].

Передача интеллектуальной собственности будет производиться в уставной капитал предприятия или государства.

Данные методы коммерциализации будут наиболее продуктивными в отношении данного проекта.

4.2 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 [26]. Данная информация закрепляется в Уставе проекта (таблица 36).

Таблица 36 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ	Выпуск высококвалифицированных специалистов
Нефтеперерабатывающие заводы	Программа (математическая модель) позволяющая анализировать влияние технологических и конструкционных параметров на получаемый продукт

В таблице 37 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 37 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Математическое моделирование процесса каталитической депарафинизации
Ожидаемые результаты проекта:	Разработка программы (математической модели)
Критерии приемки результата проекта:	Сходимость результатов (параметров продукта) математической модели с действующей технологической установкой
Требования к результату проекта:	Адекватность результатов
	Воспроизводимость результатов
	Высокая скорость работы программы
	Возможность расчета выходных параметров при изменении конструктивных характеристик реактора (гидродинамический режим)

В таблице 38 представлена организационная структура проекта (роль каждого участника, их функции, трудозатраты).

Таблица 38 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1.	Юрьев Е.М., НИ ТПУ, доцент ОХИ	Руководитель проекта	Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения.	100
2.	Соченков К.Е., магистрант НИ ТПУ ИШПР	Исполнитель по проекту	Анализ литературных источников, отбор проб, пробоподготовка, анализ лабораторных данных, написание работы	2000
ИТОГО:				2100

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта (таблица 39).

Таблица 39 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	1174291
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	04.09.2020-31.05.2022
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	04.09.2020
3.2.2. Дата завершения проекта	31.05.2022

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы: иерархическая структура работ проекта; контрольные события проекта; план проекта; бюджет научного исследования.

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.

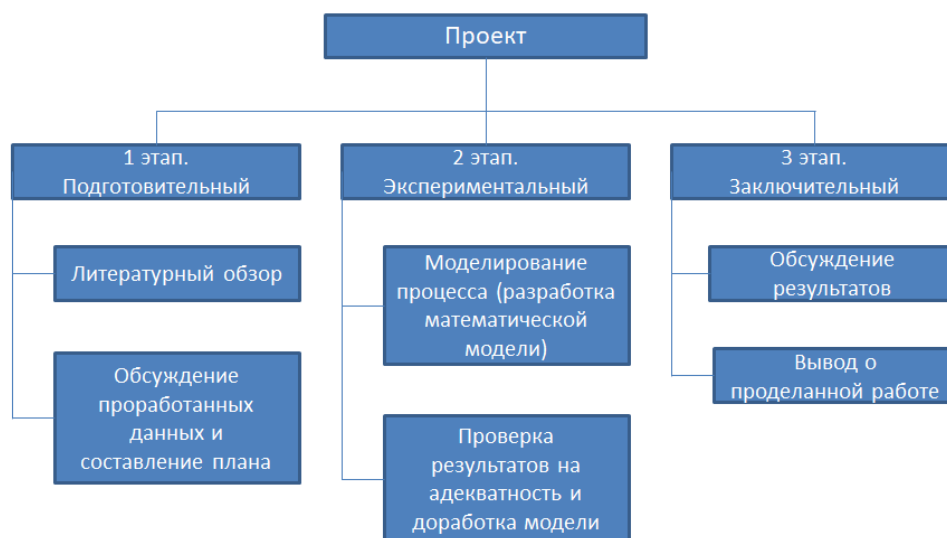


Рисунок 18 – Иерархическая структура работ

4.3.2 План проект

В рамках планирования научного проекта построены календарный график проекта (таблица 40, 41).

Таблица 40 – Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Утверждение темы магистерской диссертации	10	04.09.20	14.09.20	Юрьев Е. М.
Согласование плана работ	10	08.09.20	26.09.20	Юрьев Е. М., Соченков К.Е.
Литературный обзор	125	16.09.20	3.01.21	Соченков К.Е.
Патентный поиск	21	27.01.21	17.02.21	Соченков К.Е.
Календарное планирование работ по теме	5	18.02.21	22.02.21	Юрьев Е. М., Соченков К.Е.
Разработка математической модели	121	02.03.21	30.06.21	Соченков К.Е.
Анализ и сопоставление результатов, и проведение расчетов	30	07.09.21	06.10.21	Соченков К.Е.
Оценка эффективности проведенных исследований	12	07.09.21	19.10.21	Юрьев Е. М., Соченков К.Е.
Определение целесообразности проведения НИОКР	21	20.10.21	11.11.21	Юрьев Е. М., Соченков К.Е.
Обработка полученных данных и обсуждение результатов	45	12.11.21	26.12.21	Юрьев Е. М., Соченков К.Е.
Написание отчета	91	01.03.22	30.05.22	Соченков К.Е.
Итого:	491			

Таблица 41 – Календарный план график проведения НИОКР по теме

Вид работ	Т, дней	Продолжительность выполнения работ																
		2020				2021										2022		
		Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Март	Апрель	Май
Утверждение темы магистерской диссертации	10																	
Согласование плана работ	10																	
Литературный обзор	125																	
Патентный поиск	21																	

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы ($З_m$), руб
Бумага	листов	100	1,5	180
Чернила для принтера	мл	100	1,1	132
Тетрадь	шт.	3	75	270
Ручка	шт.	4	35	168
Карандаш	шт.	2	20	48
Итого:				798

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ. В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 43).

Таблица 43 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	ПО Microsoft Office	1	2500	2500
2	Honeywell UniSim Design 460	1	10000	10000
3	Персональный компьютер	1	60000	60000
Итого:				72500

Расчет основной заработной платы. В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 44.

$$C_{зп} = З_{осн} + З_{доп}$$

где, $З_{осн}$ – основная заработная плата; $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}$$

где, $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; $T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}$$

где, $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчет заработной платы научно – производственного и прочего персонала проекта проводили с учетом работы 2-х человек – научного руководителя и исполнителя. Баланс рабочего времени исполнителей представлен в таблице 44.

Таблица 44 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	99	99
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	24	24
- отпуск	14	14
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	212	212

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}$$

где, Z_6 – базовый оклад, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент (определяется Положением об оплате труда); k_d – коэффициент доплат и надбавок; k_p – районный коэффициент, равный 1,3.

При расчете заработной платы научно-производственного и прочего персонала проекта учитывались месячные должностные оклады работников, которые рассчитывались по формуле:

$$Z_m = Z_6 \cdot K_p$$

где, Z_6 – базовый оклад, руб.; K_p – районный коэффициент, равный 1,3.

Согласно информации сайта Томского политехнического университета, должностной оклад доцента кандидата наук в 2022 году без учета РК составил 33664 рублей. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 45.

Таблица 45 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_6 , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	33664	1	0,02	1,3	44638,5	2189,8	212	464240,0
Магистрант	1923	-	-	1,3	2499,9	122,6	212	25998,0
ИТОГО:								490238

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала. В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп}$$

где, $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

В таблице 46 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 46 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	464240,0	25998,9
Дополнительная зарплата	46424,0	2599,9
Итого по статье С _{зп}	510664,0	28598,9

Отчисления на социальные нужды. Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}})$$

где, $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчисления во внебюджетные фонды.

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. Стипендиальный выплаты студентам, магистрам и аспирантам не облагаются налогом.

Отчисления на социальные нужды составляют:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (464240 + 46424) = 151999,2 \text{ руб.}$$

Накладные расходы. Расчет накладных расходов провели по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot (464240,0 + 46424,0) = 408531,2$$

Таким образом, затраты проекта составляет 1174291 руб., которые приведены в таблице 47.

Таблица 47 – Затраты научно-исследовательской работы

Затраты по статьям	Затраты на вид исследования, руб	
	Данное исследование	Аналог
1 Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	798	1524
2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	72500	85400
3 Основная заработная плата	490239	510254
4 Дополнительная заработная плата	49024	51025
5 Отчисления на социальные нужды	153199	167229
6 Накладные расходы	408531	445944
Итого плановая себестоимость	1174291	1261376

4.4.1 Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 19.



Рисунок 19 – Проектная структура проекта

4.4.2 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 48).

Таблица 48 – План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Ежемесячно (конец месяца)
3.	Документы и информация по проекту	Исполнитель	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

4.4.3 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 49.

Таблица 49 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Зависание программы	2	5	Низкий	Современное оборудование (компьютер)	Перегрузка компьютера
2	Погрешность расчетов	3	5	Средний	Пересчет, проверка	Не правильный ввод данных
3	Отсутствие интереса к результатам исследования	2	5	Низкий	Привлечение предприятий, проектных институтов	Отсутствие результатов исследования

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

4.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0$$

где: $ЧДП_{opt}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности; I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году; t – номер шага расчета ($t= 0, 1, 2 \dots n$); n – горизонт расчета; i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если $NPV > 0$, то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 50. При расчете рентабельность проекта составляла 25 %, норма амортизации - 10 %.

Таблица 50 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	1467864	1467864	1467864	1467864
2	Итого приток, руб.	0	1467864	1467864	1467864	1467864
3	Инвестиционные издержки, руб.	-1174291	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб. (35%от бюджета)	0	411002	411002	411002	411002
5	Налогооблагаемая прибыль(1-4)	0	1056862	1056862	1056862	1056862
6	Налоги 20 %, руб.(5*20%)	0	211372	211372	211372	211372
8	Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	845490	845490	845490	845490
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.(чистая прибыль+амортизация)	-1174291	962919	962919	962919	962919
10	Коэффициент дисконтирования при $i=20\%$ (КД)	1	1	1	1	0
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.(9*10)	-1174291	802111	668266	556567	464127
12	$\sum ЧДД$, руб	2491070				
13	Итого NPV, руб.	1316779				

$$NPV = 2491070 - 1174291 = 1316779 \text{ руб.} > 0$$

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

где, i – ставка дисконтирования, 20 %; (10 %); t – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 1316779 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0 > 1$$

где, ЧДД - чистый денежный поток, руб.; I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом, PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{2491070}{1316779} = 2,12$$

Так как $PI > 1$, то проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или =0. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 51 и на рисунке 20.

Таблица 51 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	-1174291	962919	962919	962919	962919	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,35	
	0,4	1	0,714	0,51	0,364	0,26	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,39	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,5	0,25	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	0,1	-1174291	875293	795371	723152	657673	1877198
	0,2	-1174291	802111	668266	556567	464127	1316779
	0,3	-1174291	740484	570048	438128	337022	911391
	0,4	-1174291	687524	491088	350502	250359	605183
	0,5	-1174291	642267	427536	284061	190658	370230
	0,6	-1174291	601824	375538	234952	147327	185350
	0,7	-1174291	566196	322578	195472	107847	17802
	0,8	-1174291	535383	297542	164659	91477	-85230
	0,9	-1174291	506495	266728	140586	74145	-186336
	1,0	-1174291	481459	240730	120365	59701	-272036

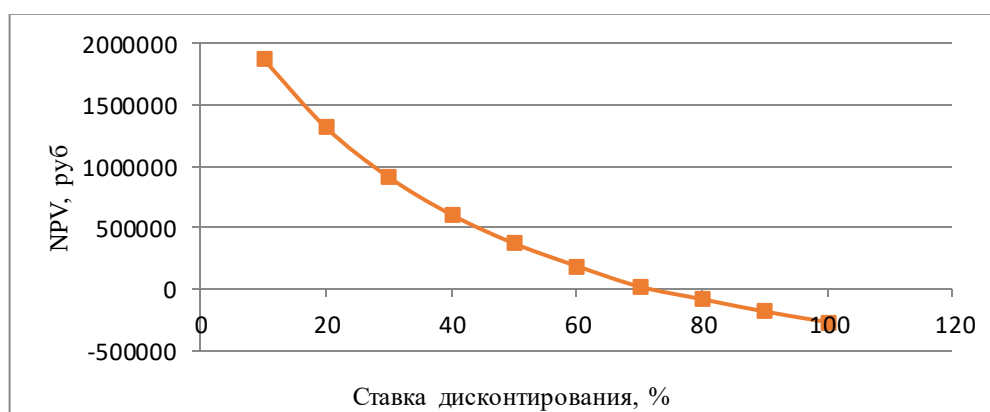


Рисунок 20 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из рисунка 20 видно, что IRR составляет 0,72. Т.к. $IRR > i$, проект эффективен.

Запас экономической прочности проекта: $72\% - 20\% = 52\%$

Дисконтированный срок окупаемости. Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 52).

Таблица 52 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$), руб.	-1174291	802111	668266	556567	464127
2	То же нарастающим итогом, руб.	-1174291	-372180	296086	852653	1316779
3	Дисконтированный срок окупаемости	$DP_{диск} = 1 + (372180/668266) = 0,56$ года				

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты (таблица 53).

Таблица 53 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Отсутствие информации о составе продуктового потока на выходе из реактора или из блоков сепарации и ректификации	Получение состава продуктовой смеси на выходе из реактора или из блоков сепарации и ректификации при варьировании технологических параметров
Сложность определения продуктового состава аналитическими методами	Отсутствие необходимости определения продуктового состава аналитическими методами

4.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. 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 по следующей формуле:

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

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).

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

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 приведен в форме таблицы (таблице 54).

Таблица 54 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1
1. Достоверность исследования	0,4	5	5
2. Продолжительность определения	0,2	5	5
3. Расходы на проведение работы	0,1	5	4
4. Срок эксплуатации	0,2	5	4
5. Послепродажное обслуживание разработки	0,1	5	3
Итого	1	25	21

$$I_m^p = 0,4 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 = 5,0$$

$$I_1^A = 5 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 = 4,5$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{финр}^p$ и аналога $I_{финр}^a$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{ф}^p}; I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{ф}^a}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a}$$

где, $\mathcal{E}_{ср}$ – сравнительная эффективность проекта; $I_{финр}^p$ – интегральный показатель разработки; $I_{финр}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 55.

Таблица 55 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,68	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	5	4,5
3	Интегральный показатель эффективности	7,35	4,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,63	0,61

Выводы: Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 1316779 руб.; индекс доходности $PI=2,12$, внутренняя ставка доходности $IRR=72\%$, срок окупаемости $PP_{дск}=0,56$ года.

Таким образом, мы имеем ресурсоэффективный проект с высоким запасом финансовой прочности и коротким сроком окупаемости.

5 Социальная ответственность

Объектом исследования данной работы является математическая модель процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива.

Цель данной работы – расчеты и оптимизация технологических параметров процесса каталитической депарафинизации на математической модели.

Для обеспечения соблюдения требований охраны труда на предприятии существуют контролирующие органы власти, в качестве которых выступают Правительство РФ и уполномоченные исполнительные органы на местах, а также Федеральная служба по труду и Государственные инспекции труда. В соответствии с [27] необходимо непрерывно совершенствовать систему страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, формированию страховых тарифов в зависимости от условий труда и уровня его охраны на рабочих местах.

Данная магистерская работа выполнялась в аудитории 131, расположенной на первом этаже учебного корпуса номер 2 Томского политехнического университета. Аудитория 131 оборудована 13 ЭВМ. Экспериментальная часть магистерской диссертации осуществлялась на персональном компьютере при работе с различными программными обеспечениями в отделении химической инженерии.

Рабочая зона представляет собой аудиторию, оборудованную системами отопления, кондиционирования воздуха и комбинированным освещением (естественное и искусственное освещение).

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Охрана труда в нашей стране является неотъемлемой частью рабочей и производственной деятельности. Составные части производственной безопасности отражены в нормативно-правовых источниках, которыми пользуются все организации организационно-правовых норм. Отношения, в которые вступают работники, основываются на трудовом праве.

Высшей силой и основой правового законодательства по охране труда является Конституция РФ [28]. Трудовой Кодекс [29] РФ имеет основные требования, направленные на урегулирование и создание безопасных условий труда. Согласно данному Кодексу, в частности статье 212 ТК РФ, а также в соответствии с [30] работодатель должен обеспечить безопасность труда, включая средства индивидуальной и коллективной защиты, выплаты и компенсации, женский труд и др.

Контроль эффективности мероприятий по охране труда проводится специальными органами. Сюда относятся ФЗ № 134-ФЗ от 8.08.01 г. «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при проведении государственного контроля (надзора)», приказ МЧС №132 «Инструкция по организации и осуществлению пожарного надзора в Российской Федерации», приказ МЗ № 228 «О порядке проведения мероприятий по контролю при осуществлении государственного санитарно-эпидемиологического надзора» и др.

За состоянием безопасности труда ведется надзор различными органами государства, ведомств и общества, такими как Прокуратура РФ, Федеральные надзоры России в разных областях, Госкомсанэпиднадзор, Рострудинспекция. Также немалое значение имеют профсоюзы РФ, осуществляющими надзор и контроль за соблюдением условий безопасности труда на производстве через техническую инспекцию труда.

Рациональная планировка рабочего места должна обеспечивать: наилучшее размещение орудий и предметов труда, не допускать общего дискомфорта, уменьшать утомляемость работника, повышать продуктивность труда. Площадь рабочего места должна быть такой, чтобы работник не делал лишних движений и не чувствовал неудобства во время работы. Важно иметь также возможность изменить рабочую позу, то есть положение корпуса, рук, ног. Однако целесообразно исключить или минимизировать все физиологически неестественные и неудобные положения тела. Проведенные исследования показывают, что при рациональной организации рабочих мест

производительность труда возрастает на 15-25%. Основные эргономические требования к проектированию рабочего места в системе "человек - техника - производственная среда" изображены на рисунке 21.

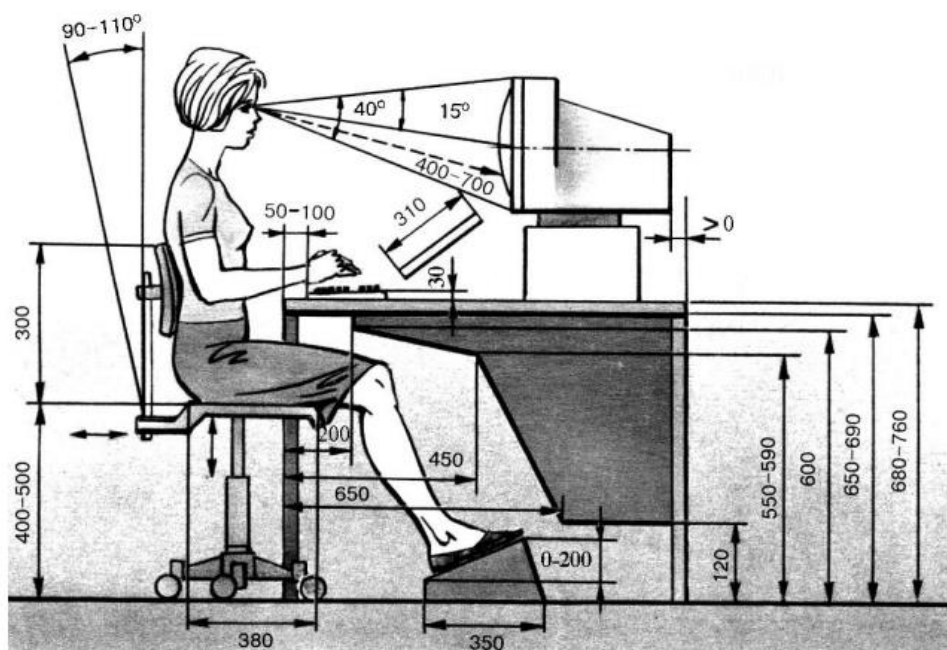


Рисунок 21 – Рабочий стол и размещение пользователя ПК

Гигиенические требования определяют условия жизнедеятельности и работоспособности человека в процессе взаимодействия с техникой и средой; показателями являются уровень освещения, температура, влажность, шум, вибрация, токсичность, загазованность.

Антропометрические требования определяют соответствие конструкций техники антропометрическими характеристикам человека (рост, размеры тела и отдельные двигательные звена). Показателями являются рациональная рабочая поза, оптимальные зоны достижения, рациональные трудовые движения.

Физиологические и психофизиологические требования определяют соответствие техники и среды возможностям работника. Относительно восприятия, переработки информации, принятия и реализации решений.

Организация рабочего места предусматривает:

- правильное размещение рабочего места в производственном помещении;

- выбор эргономично обоснованного рабочего положения, производственных мебели с учетом антропометрических характеристик человека;

- рациональная компоновка оборудования на рабочих местах;
- учета характера и особенностей трудовой деятельности.

Статические напряжения работника в процессе труда связаны с поддержанием в неподвижном состоянии предметов и орудий труда, а также поддержание рабочей позы.

Соблюдение правил работы за компьютером позволит снизить негативное воздействие компьютера на здоровье работника. Однако чаще всего именно работники пренебрегают данными правилами, и задача работодателя в данном случае – постоянно доводить до сведения своих сотрудников информацию о последствиях несоблюдения вышеизложенных требований и своими распоряжениями организовывать обязательные перерывы в работе.

5.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при разработке и эксплуатации математической модели каталитической депарафинизации дизельного топлива. Выбор факторов производится с использованием ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Выявленные факторы перечислены в таблице 56.

Таблица 56 – Опасные и вредные факторы при моделировании и эксплуатации модели сернокислотного алкилирования изобутана бутиленом

Наименование фактора	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Повышенный уровень шума	+	+	+	СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением N 1)
2. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
3. Электробезопасность	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность.
4. Пожарная безопасность	+	+	+	СП 112.13330.2011. Пожарная безопасность зданий и сооружений
5. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 1.2.3685-21. "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"
6. Зрительно и умственное перенапряжение	+	+	+	СП 2.2.3670-20. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда.

5.2.1 Повышенный уровень шума

Повышенный уровень шума связан с работой агрегатов персонального компьютера и вентиляции. В производственных помещениях при выполнении основных или вспомогательных работ с использованием персонального компьютера, уровни шума на рабочих местах не должны превышать допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами. Допустимые значения уровня звука представлены в таблице 57.

Таблица 57 – Допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки [31]

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровень звукового давления, дБ, в октановых полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Учебные кабинеты, аудитории учебных заведений	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40

Постоянное воздействие шума, превышающего допустимые уровни шума, может привести не только к частичной потере слуха, но и вызвать другие вредные последствия – звон в ушах, головокружение, головную боль, повышенную усталость.

Для уменьшения общего уровня шума, шумящее оборудование (печатающие устройства, серверы, электродвигатели вентиляции и т.п.), уровни шума которого превышают нормативные, должно размещаться вне помещений, где расположен персональный компьютер.

5.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточная освещенность рабочей зоны возникает при неправильном комбинировании света в рабочем помещении. Данный фактор главным образом отказывает негативное влияние на зрительную систему человека, что затрудняет длительную работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости.

Существует три вида освещения: естественное (от солнца), искусственное и комбинированное.

Как правило, для помещений, в которых эксплуатируются персональные компьютеры, освещённость рабочего места должна составлять 300-500 лк.

К общим правилам безопасного обеспечения нормируемых значений освещенности в рабочих помещениях относятся:

- использование света со схожим спектром к естественному свету;
- ограничение прямой блескости от источников искусственного света;
- ограничение яркости светящихся поверхностей (менее 200 кд/м²);
- ограничение бликов на экране персональных компьютеров (менее 40 кд/м²).

5.2.2.1 Расчет искусственного освещения

Проведем расчет искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности методом коэффициента светового потока.

В аудитории 131 учебного корпуса №2, где выполнялась работа, используется комбинированное освещение. Помещение имеет длину 6 м, ширину 5 м, высоту 4 м. Высота рабочей поверхности составляет 0,8 м. Требуется создать освещенность не менее 500 лк.

Коэффициент отражения стен $R_c=50\%$ для свежепобеленных стен с окнами без штор, коэффициент отражения свежепобеленного потолка $R_{\pi}=70\%$. Коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли $k=1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп берется $E=1,1$. Для расчетов выбираем светильники типа ОД, $\lambda=1,4$.

Свес светильников принимаем $h_c=0,1$ м, исходя из этого определяем расчетную высоту:

$$h = H - h_c - h_{pp} = 4 - 0,1 - 0,8 = 3,1 \text{ м}$$

Расстояние L между светильниками будет равно:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 3,1 = 4,34 \text{ м}$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

$$L_r = \frac{L}{3} = \frac{4,34}{3} = 1,45 \text{ м}$$

Количество рядов светильников, с люминесцентными лампами определяется по формуле:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{(B - \frac{2}{3} \cdot L_r)}{L_r} + 1 = \frac{(5 - \frac{2}{3} \cdot 1,45)}{1,45} + 1 = 3,78 \approx 4$$

Количество светильников с люминесцентными лампами:

$$n_{\text{св}} = \frac{(A - \frac{2}{3} \cdot L_r)}{l_{\text{св}} + 0,5} = \frac{(6 - \frac{2}{3} \cdot 1,45)}{1,23 + 0,5} = 2,9 \approx 3$$

Светильники размещаем в 4 ряда. В каждом ряду установим по 3 светильников типа ОД мощностью 40 Вт. Длина каждого светильника составляет 1,23 м, разрыв между светильниками в ряду 50 см. В каждом светильнике установлено по 2 лампы. Общее количество ламп в помещении составляет $N = 24$ штук.

Индекс освещения будет равен:

$$i = S / (H \cdot (A + B)) = (6 \cdot 5) / (4 \cdot (6 + 5)) = 0,682$$

Коэффициент использования светового потока примем равным:

$$\eta = 0,5$$

Определим световой поток ламп:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N_l \cdot \eta} = \frac{(500 \cdot 30 \cdot 1,5 \cdot 1,1)}{24 \cdot 0,5} = 2063 \text{ лм}$$

По полученному значению выбираем стандартную лампу - ЛД 40 Вт со световым потоком 2300 лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\%$$

Получаем:

$$-10\% \leq 10,3\% \leq +20\%$$

Мощность осветительной установки:

$$P = 40 \cdot 24 = 960 \text{ Вт}$$

В ходе работы, провели расчет искусственного освещения для учебной аудитории 131. Определили потребный световой поток $\Phi = 2063$ лм и выбрали тип осветительных устройств – люминесцентные лампы ЛД 40 Вт для сети с напряжением 220 В, количество – 24 штук.

5.2.3 Электробезопасность

Источниками электрической опасности в помещении, где расположен персональный компьютер, могут стать:

- оголенные части проводов или отсутствие изоляции;
- отсутствие заземления;
- короткое замыкание (в результате чего провода нагреваются и разрушается их изоляция);
- статическое напряжение.

В помещении, в котором расположено рабочее место (персональный компьютер), относится к категории без повышенной опасности и соответствует следующим условиям [32]:

- напряжение питающей сети 220 В, 50 Гц;
- относительная влажность воздуха 50 %;
- средняя температура около 24 °С.

В аудитории 131 все персональные компьютеры оборудованы защитным занулением. Подача электрического тока в помещении осуществляется от отдельного независимого источника питания. Все токопроводящие части персональных компьютеров изолированы (в изоляции) и всегда находятся под непрерывным контролем. Также в аудитории предусмотрено аварийное отключение электричества.

5.2.4 Пожарная безопасность

Все помещения в компьютерном классе соответствуют требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 и имеют средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83.

Также к опасным факторам относится опасность возникновения пожара на рабочем месте.

В соответствии со ст. 26 [34] учебная аудитория, оборудованная компьютерами, относится к категории «В». Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной

защиты. Во всех служебных помещениях составлен «План эвакуации людей 95 при пожаре», который регламентирует действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывает места расположения пожарной техники.

Горючими компонентами в помещении являются: строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений, перегородки, двери, полы, изоляция кабелей и др.

Источниками возгорания могут служить электрические схемы от ПК, приборы, применяемые для технического обслуживания, устройства электропитания, кондиционирования воздуха, где в результате различных нарушений в работе элементы перегреваются, могут возникнуть электрические искры, способные вызвать загорания горючих материалов. Для тушения возгорания в помещении предусмотрен углекислотный огнетушитель.

Профилактические меры включают: периодические проверки состояния пожарной безопасности, обеспечение контроля за своевременным выполнением предложенных мероприятий; проведение пожарно-технических обследований объекта представителями Государственного пожарного надзора, установление действенного контроля за выполнением предписаний и приказов, проведение бесед-инструктажей и специальных занятий, проверку исправности и правильного содержания стационарных автоматических и первичных средств пожаротушения, противопожарного водоснабжения и систем извещения о пожарах.

Основной метод профилактической работы – устранение выявленных входе проверки недочетов на месте, а при отсутствии такой возможности - в кратчайший срок.

5.2.5 Отклонение показателей микроклимата

К метеорологическим факторам, влияющим на человека, относятся температура, влажность, скорость движения воздуха. Данные факторы при

длительном воздействии оказывают влияние на психологическое и физическое состояние человека.

В производственных помещениях, в которых работа с использованием персональных электронных вычислительных машин является должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата для категории работ 1а и 1б в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами микроклимата производственных помещений.

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочем месте для помещений данных категорий приведены в таблице 58.

Таблица 58 – Допустимые характеристики микроклимата [35]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	19-26	15-75	0,1
	Iб (140-174)	21-23	18-25	15-75	0,1
Теплый	Ia (до 139)	23-25	20-29	15-75	0,1
	Iб (140-174)	22-24	19-29	15-75	0,1

С целью защиты сотрудника от воздействия данного вредного фактора предусмотрены системы вентиляции и обогрева помещения. Также установлены нормы проветривания рабочего места.

5.2.6 Зрительное и умственное перенапряжение

Пользователям ПК для предотвращения зрительного и умственного перенапряжения рекомендуется делать перерывы и выполнять специальные гимнастики для глаз.

Частая и продолжительная работа за компьютером может привести к нервно-психическим перегрузкам.

В СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда» рекомендуются пешие прогулки до и после работы за компьютером 40-50 минут. При трудовой деятельности за ПК требуется после каждого часа устраивать перерывы.

5.3 Экологическая безопасность

Работа, связанная с компьютерами, имеет целую группу факторов, оказывающих вредное воздействие на окружающую среду.

Компьютерное оборудование имеет свой срок годности, после которого его необходимо утилизировать. Помимо набора металлов, в сборке компьютеров используются материалы на основе поливинилхлорида, фенолформальдегида и ряда других крайне вредных химических соединений. Попадая на городскую свалку, свинец, ртуть, сурьма, мышьяк, кадмий, из которых состоят электронные компоненты, преобразуются под воздействием внешних факторов в органические и растворимые соединения и превращаются в сильнейшие яды, отравляя все вокруг.

Если приложить определенные усилия, то любой компьютер или телефон можно переработать и пустить во вторичное использование. Рассматривая поэтапно сам процесс утилизации компьютерной техники и оргтехники, выясняем, что здесь активно (50/50) используется ручной труд, удаляют и сортируют, и лишь затем отправляют в измельчитель и другие технические средства переработки. Все работы на предприятиях по утилизации компьютерной и другой оргтехники проводятся с применением обязательных средств защиты организма (перчатки, защита органов дыхания).

Так же на рабочем месте расходуется большое количество бумаги и других отходов, например, люминесцентных ламп. Всё это требует определенного порядка утилизации и не может быть отправлено в мусор. Так макулатура идет на вторичную переработку – значительно менее опасный для экологии процесс, способствующий снижению объемов вырубки лесов. Лампы по окончании срока положено сдавать на специальные предприятия, где они подлежат утилизации, суть которой состоит в сборе и нейтрализации веществ, содержащих ртуть.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При эксплуатации электрооборудования (в данном случае персонального компьютера) возможно возникновение чрезвычайных ситуаций, требующих обеспечения электро- и пожарной безопасности на рабочем месте. Источниками возникновения пожара могут быть электрические схемы от ЭВМ, устройства электропитания, кондиционирования воздуха. В данных объектах по некоторым причинам (снижение сопротивления изоляции, ослабление контактов, перегрузка сетей, короткое замыкание) возникает перегрев элементов, что приводит к появлению искр и возгоранию.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. На кафедре, где расположена аудитория № 131 размещены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны, кроме того размещен схематичный план эвакуации людей при пожаре. Дополнительно разработана инструкция, определяющая действия персонала в случае возникновения очага возгорания.

Определен порядок хранения и уборки отходов химических веществ, так как они используются рядом с рабочим местом. В соответствии с требованиями пожарной безопасности и охраны труда, проводится регулярный инструктаж и проверка знаний по технике безопасности на рабочем месте. Помещение оснащено первичными средствами пожаротушения: огнетушители, лопаты, ящики с песком, асбестовые одеяла.

К горючим компонентам в помещении относятся: строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений; перегородки; двери; полы; перфокарты и перфоленты; изоляция кабелей и др.

В случае возникновения пожара, необходимо предпринять следующие меры: обесточить помещение, вызвать службу пожарной охраны. Если горит электроприбор (персональный компьютер), то его следует накрыть асбестовым одеялом или другим плотным материалом и дожидаться прекращения горения из-за отсутствия доступа кислорода. Затем воспользоваться порошковым огнетушителем. Если масштабы возгорания велики, то необходимо закрыть

дверь в горящее помещение, чтобы снизить скорость распространения огня, соблюдать спокойствие и эвакуироваться.

Вывод:

В данном разделе ВКР проведен анализ проекта с точки зрения социальной ответственности за моральные, общественные, экономические, экологические возможные негативные последствия. Работы выполнены в соответствии с нормативными документами и требованиями.

Заключение

Литературный анализ показал, наиболее широко используемым процессом получения зимнего дизельного топлива является процесс каталитической гидродепарафинизации. По сравнению с менее конкурирующими процессами получения зимнего дизельного топлива такими как, депарафинизация вымораживанием, карбамидная, адсорбционная и микробиологическая депарафинизация, каталитическая депарафинизация имеет ряд преимуществ: высокий выход товарного дизельного топлива (на 85 – 98 % масс.); отсутствие токсичных растворителей и энергоемких холодильных циклов. По сравнению с каталитической изодепарафинизацией, каталитическая гидродепарафинизация имеет преимущества в стоимости используемого катализатора, который составляет большую часть расходов производства.

Таким образом, получение низкозастывающего дизельного топлива зимнего с помощью процесса гидродепарафинизации на сегодня является наиболее результативным и перспективным.

В практической части была модернизирована существующая модель процесса каталитической депарафинизации. В модель была добавлена реакция гидрирования меркаптанов, была доработана методика распределения углеводородов по фракциям (газовая фракция, бензиновая фракция, дизельная фракция), на основании данных с действующей установки каталитической депарафинизации были получены обновленные кинетические константы.

Заключительным этапом модернизации математической модели стала проверка полученной модели на адекватность. Результаты проверки показали, что модернизированная математическая модель полностью соответствует закономерностям каталитической депарафинизации. С помощью данной модели были получены оптимальные технологические параметры работы реакторного блока каталитической депарафинизации, при которых на модели можно было получить три класса товарного дизельного топлива, дифференцируемых по ПТФ.

Помимо модернизации математической модели в работе была исследована установка каталитической депарафинизации в программе UniSim Design. В ходе исследования проведена оценка влияния технологических параметров на показатели процесса каталитической депарафинизации при получении дизельного топлива зимнего различного класса.

Результаты показали, что при уменьшении ПТФ дизельного топлива зимнего с минус 21 °С до минус 26 °С и до минус 32 °С:

- расход воды для охлаждения на установку каталитической депарафинизации увеличивается в 1,065 и в 1,15 раза;
- расход перегретого пара высокого давления на установку каталитической депарафинизации увеличивается 1,11 и в 1,26 раза.

При этом расход водного раствора моноэтаноламина (15 % масс) увеличивается в 1,12 и в 1,28 раза. А расход свежего ВСГ увеличивается в 2,13 и в 3,07 раза.

Список литературы

1. Лебедев Б.Л., Афанасьев А.В., Ишмурзин А.В. Производство зимнего дизельного топлива в России / Лебедев Б.Л., Афанасьев А.В., Ишмурзин А.В. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2015. - №4. – с. 19-27.
2. Абдулаев Б.Б., Литвинов П. А. Оптимизация производства дизельного топлива и авиакеросина путем реконструкции секций С300/1 и С300/2 установки ЛК-6Ус: Проект / Абдулаев Б.Б., Литвинов П. А. // Москва. 2016 г.
3. Вербицкий В.В., Курасов В.С., Шепелев А.Б. Эксплуатационные материалы: Учебное пособие. – 3-е изд., стер. – СПб.: Издательство “Лань”, 2019. – 76 с.
4. Ахметов. С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов. Уфв.: Гилем, 2002 г. - 672 с.
5. Туманян, Б. П. Практические работы по технологии нефти. Малый лабораторный практикум: учебное пособие / Б. П. Туманян. – М.: Техника, 2009. – 160 с.
6. Мановян А.К. Технология первичной переработки нефти и природного газа. Учеб. пособие для вузов. - 2-е изд. - М.: Химия, 2001 г. - 568 с.
7. Черножуков Н. И. Технология переработки нефти и газа. Ч. 3-я. Очистка и разделение нефтяного сырья, производство товарных нефтепродуктов. Под ред. А. А. Гуреева Б. И. Бондаренко. - 6-е изд., пер. и доп. - М.: Химия, 1978 г. - 424 с.
8. Агибалова Н. Н. Технология и установки переработки нефти и газа: учебное пособие / Агибалова Н. Н. – Санкт-Петербург: Лань, 2020 г. – 308 с.
9. Гайнуллин Р.Р., Гизятуллин Э. Т., Солодова Н. Л., Абдулин А. И. Получение низкозастывающих нефтепродуктов методами депарафинизации / Абдулин А. И. // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. Т.16 - №10 с. 257-265.
10. Болдушевский Р. Э., Капустин В. М., Чернышева Е. А., Гуляева Л. А., Грудинова А. И., Столоногова Т. И. Исследование эффективности процесса каталитической депарафинизации с использованием цеолитсодержащего

катализатора с добавкой железа / Болдушевский Р. Э., Капустин В. М. // Катализ в промышленности. – 2015. Т.15 - №15 с. 79-85.

11. Киселева Т. П., Алиев Р. Р., Посхова О. М. Целютина М. И. Каталитическая депарафинизация и перспективы. Часть I / Киселева Т. П. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2016. - №1. – с. 3-8.

12. Герасимов Д. Н., Фадеев А. Н., Логинова А. Н., Лысенко С. В. Гидроизомеризация длинноцепочечных парафинов: механизм и катализаторы. Часть I / Герасимов Д. Н. // Катализ в нефтеперерабатывающей промышленности. – 2015. - №1. – с. 27-54.

13. Blomsma E., Martens J.A., Jacobs P.A. // Journal of Catalysis. 1996. Vol. 159. P. 323—331.

14. Груданова А. И. Повышение эффективности производства низкозастывающих дизельных топлив регулированием состава катализаторов термогидрокаталитических процессов. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.07. – Моск. гос. университет имени И. М. Губкина. Москва, 2015 – 182 с.

15. Киселева Т. П., Алиев Р. Р., Посхова О. М. Целютина М. И. Каталитическая депарафинизация и перспективы. Часть II / Киселева Т. П. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2016. - №2. – с. 3-7.

16. Афанасьев И. П., Алексеев С. З., Ишмурзин А. В., Лебедев Б. Л., Талатаев С. Ю. Разработка промышленной технологии производства зимнего дизельного топлива при последовательном совмещении процесса депарафинизации на катализаторе СГК – 1 и гидрообессеривания на катализаторе КГУ – 950. / Афанасьев И. П., Алексеев С. З. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2014. - №4. – с. 3-6.

17. Белинская Н. С. Совершенствование работы сопряженной системы «реактор – колонна стабилизации» процесса каталитической депарафинизации дизельных фракций нефти методом математического моделирования. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск, 2015 – 170 с.

18. Голубева И. А. Губкина И. М. Газоперерабатывающие предприятия России. Сургутский завод стабилизации конденсата (ООО «Газпром переработка») / Голубева И. А. Губкина И. М. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2015. - №4. – с. 33-42.

19. Хавкин В. А. Гидрогенизационные процессы переработки нефти с получением дизельного топлива современного уровня качества. / Хавкин В. А. // Мир нефтепродуктов. – 2018. - №5. – с. 18-20.

20. Карпов Н.В. , Вахромов Н.Н., Дутлов Э.В., Пискунов А.В., Бубнов М.А., Гудкевич И.В., Борисанов Д.В. Разработка и внедрение мероприятий по увеличению выпуска зимнего дизельного топлива в ПАО «Славнефть-ЯНОС» В 2017-2019 гг. / Карпов Н.В. , Вахромов Н.Н. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2019. - №12. – с. 3-8.

21. Жилин Ю. Н., Зарубна А. Н., Олиференко А. Н., Иванкин А. Н. Инженерная химия. Химические реакторы: учебное пособие / Жилин Ю. Н. – Москва: Московский государственный университет леса, 2016 г. – с.140

22. Лич Б., Саперс Ю., Шаосемахер Э. Катализ в промышленности: В 2-х т. Т.1. Пер. с англ. // Под ред. Б Лича. – М.: Мир, 1986. – с. 324

23. Зеликова К.А., Смоликов М.Д. Гидроочистка / депарафинизация дизельного топлива изомеризационного типа / Зеликова К.А., Смоликов М.Д. // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства. Материалы 7-й международной научно-технической конференции. – 2017.

24. Махмудова Л. Ш., Ахмадова Х. Х., Хадисова Ж. Т. Производство низкозастывающих дизельных топлив на российских НПЗ: Состояние и перспективы. / Махмудова Л. Ш., Ахмадова Х. Х. // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2017, т. LXI, №2. – с. 75-97.

25. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

26. Кудашов В.И., Нечепуренко Ю.В. Формы и методы коммерциализации интеллектуальной собственности // Труды БГТУ. Экономика и управление. – 2015. – №7. – с. 34-38.

27. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

28. Конституция Российской Федерации от 12.12.1993 г. – ГУ издательство "Юридическая литература" Администрации Президента Российской Федерации, 2009. – 64 с.

29. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (принят ГД ФС РФ 21.12.2001) (ред. от 20.04.2020 г)// СПС Консультант.

30. ГОСТ 12.0.006-2002. Система стандартов безопасности труда. Общие требования к системе управления охраной труда в организации. Введ. 29.05.09. – М.:Изд-во стандартов, 2003. – 16 с

31. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 Защита от шума / Минрегион России. – М.: ОАО "ЦПП", 2010. – 41 с.

32. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

34. Комплекс упражнений на рабочем месте за компьютером [Электронный ресурс] / 1997– 2014 «ЭргоСОЛО». – Режим доступа: http://ergosolo.ru/reviews/health/office_exercises/, свободный. – Загл. С экрана. – Дата обращения 15.05.2016 г.

35. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». /Постановление Роспотребнадзора от 28.01.2021 г. №2

Приложение А
(справочное)

Study of the process of catalytic dewaxing on a mathematical model

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Соченков К.Е.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Е.М.	к.т.н		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Надеина Л.В.	к.филол.н		

Introduction

One of the urgent tasks of the technological modernization of Russian refineries is to increase the depth of oil refining and the quality of the resulting oil products. In the course of solving such a problem, a large number of scientific works in the field of oil refining processes appear. These processes include the leading processes of oil refining, namely: catalytic processes of cracking, dewaxing, hydrotreating, isomerization, alkylation, etc.

The work will consider in detail the process of catalytic dewaxing, with the help of which automobile fuel and diesel fuel are obtained, both summer and winter or arctic.

The relevance of this work lies in the fact that every year in Russia the need for the quality and quantity of diesel fuel increases [1].

Firstly, this is due to the advancement of the Russian industry towards the northern part of the country. The need to provide the national economy of the North of Russia with diesel fuel with good low-temperature properties for the stable operation of vehicles is an important task, because in the northern regions of Russia on the coldest days the air temperature can reach -50°C .

Secondly, in the world there is a tendency to increase the share of diesel equipment, for example, in Russia, according to estimates [2], the share of diesel vehicles in relation to the total volume of vehicles per year increases by about 1.3%. It can be assumed that the emergence of such a trend is associated with the advantage of diesel equipment over gasoline equipment, namely [3], [4]:

- the technology for producing diesel fuel is much simpler than the technology for producing gasoline, which affects the final cost of fuel;
- the coefficient of performance (in terms of power) of diesel engines is higher than that of gasoline counterparts;
- Diesel engine exhaust is less toxic than gasoline engine exhaust.

The process of obtaining diesel fuel depends both on the feedstock - oil, and on the required characteristics of the resulting diesel fuel. In the production of diesel

fuel, hydrogenation and dewaxing processes are widely used, which improve the environmental and operational properties of the fuel.

The role of hydrogenation processes in the production of diesel fuel lies in the hydrofinishing of the fuel, and more specifically, in the removal of heteroorganic compounds of oxygen, sulfur, nitrogen, halogens, metals and the hydrogenation of unsaturated hydrocarbons. As a result, this makes it possible to reduce the corrosion activity of the fuel and the tendency to form deposits, reduce the amount of harmful emissions into the atmosphere, etc. [4].

Dewaxing processes are aimed at removing or destroying high molecular weight paraffins and ceresins. Such process greatly affects the low-temperature properties, which are very important in the production of winter or arctic diesel fuel. The aim of the work is to study the basics of catalytic dewaxing and master the mathematical model of this process.

1. Dewaxing processes of obtaining diesel fuel

Dewaxing is used usually for kerosene-gas oil and oil fractions of oil, during which the low temperature properties of the resulting fuels or oils are improved. Bad low-temperature properties are characterized by the formation of a solid phase of hydrocarbons (paraffins, ceresins). The solid phase serves as an initiator in a partial or complete malfunction of motors and mechanisms.

The main parameters characterizing low-temperature properties are cloud point, freezing point and cold filtering plugging point (CFPP).

Cloud point is the temperature at which the first crystals of solid hydrocarbons form when a sample of a liquid product is cooled under standard conditions.

The cold filtering plugging point is the temperature at which a sufficient amount of paraffinic hydrocarbons crystallizes to lead to clogging of the filter with the given parameters when the liquid product sample is cooled under standard conditions [5].

The freezing point is the temperature at which the fuel completely loses fluidity and acquires a gelatinous appearance.

All known dewaxing processes for obtaining winter or arctic diesel fuel can be divided into 2 groups [6]:

- non-catalytic dewaxing processes;
- catalytic dewaxing processes.

The first group includes physicochemical processes for upgrading diesel fuel, such as: dewaxing by crystallization (freezing); carbamide dewaxing; adsorption dewaxing; microbiological dewaxing.

The second group includes chemical processes of catalytic dewaxing, namely: hydrodewaxing and isodewaxing (dewaxing by isomerization).

1.1 Diesel fuel dewaxing by crystallization (freezing)

Dewaxing by crystallization can be divided into 2 types:

- dewaxing by solvent crystallization (widely applied to the oil fraction, and less often to the diesel fraction);
- dewaxing by crystallization without solvent (can be applied to the diesel fraction);

The first type of crystallization dewaxing is based on cooling a mixture of feedstock (diesel or oil fraction) and a certain solvent to a temperature at which a solid precipitate (paraffins of normal structure and partially isostructure from $C_{20}H_{42}$ to $C_{50}H_{102}$). Then the resulting suspension is separated into the dewaxed product, the solid paraffin residue and the initial solvent.

Ketones, liquefied propane, organochlorine compounds, and a light fraction of gasoline are widely used as solvents [7].

The role of the solvent is to reduce the viscosity of the feedstock, due to which, during the process crystallization of the solid phase, large crystals are formed, which are more easily separated in filters or centrifuges.

The process of dewaxing by crystallization with a solvent occurs continuously, it can be divided into several stages: mixing of feedstock and solvent; heat treatment of the mixture (used for more complete dissolution of the feedstock in the solvent); gradual cooling of the mixture (during which crystals of n-paraffin and partially iso-

paraffin stand out); suspension separation into solid and liquid substances; solvent regeneration.

The second type of crystallization dewaxing is based on the crystallization of paraffins, naphthenes, aromatic and naphtheno-aromatic hydrocarbons (already without a solvent) by lowering the temperature. This is followed by the separation of solid hydrocarbons from liquid. It is known a little about this type of dewaxing, and there is almost no information in the literature.

It is known that both types of dewaxing are not currently relevant for obtaining winter or arctic diesel fuel. This is due to the relatively small yield of the target product (diesel fuel) 65-75% of the mass compared with modern catalytic dewaxing processes of 85-98% of the mass. [6].

1.2 Urea dewaxing of diesel fuel

The principle of operation of the urea dewaxing process is based on the ability of urea to form crystalline complexes with paraffinic hydrocarbons, which are then removed (extracted).

Crystalline urea can exist in tetragonal and hexagonal modifications. A pure urea crystal has a tetragonal structure - it is a densely packed structure that does not have free voids for other molecules. When complexation of urea with hydrocarbon occurs, the crystal structure of carbamide is rearranged from tetragonal to hexagonal modification.

This modification consists of six helical urea molecules, the angle between which is 120° . With this position, a free space is formed between six carbamide molecules, in which hydrocarbon molecules can be accommodated during complex formation.

Obviously, molecules that can fit into the free space of the tetragonal modification of carbamide can form a complex with urea, such molecules should have a cross-sectional diameter of less than 4.9 Å.

For compounds of each class of hydrocarbons, there is a minimum chain length at which a complex with urea can be formed. For example, for n-alkanes, under normal conditions, the minimum hydrocarbon chain length is 6 hydrocarbon atoms.

For iso-alkanes containing one methyl group to form a complex, the straight section of the chain must contain at least 10, and in the presence of an ethyl side group, at least 24 carbon atoms [7].

In the process of urea dewaxing, when obtaining Arctic diesel fuel, a fraction distilled within the boiling point range of 160–320°C is used as a feedstock. The resulting fuel has a freezing point and cold filtering plugging point of up to -60 and -45°C, respectively. When obtaining winter diesel fuel, a fraction is used as a feedstock that distills within the boiling point range of 180 - 360 ° C, the freezing point and the cold filtering plugging point of which are up to -45 and -27 ° C, respectively.

There are three types for the dewaxing process using urea:

- with a concentrated aqueous solution of urea;
- with an aqueous solution of urea and isopropyl alcohol;
- with crystalline urea.

Regardless of the variant, the process of urea dewaxing includes the following main stages:

- mixing feedstock with solvent and urea;
- complex formation; separating the complex from the dewaxed product;
- regeneration of urea and solvent.

The solvents used in this process accelerate the formation of the urea complex by weakening the intermolecular forces of attraction of the molecules of solid and liquid hydrocarbons, and prevent adsorption on the crystals of urea or a complex of non-hydrocarbon components of the feedstock, which are inhibitors of complex formation. These include some alcohols (methanol, ethanol, isopropanol), low molecular weight ketones (acetone, methyl ethyl ketone), organochlorine compounds (methylene chloride, dichloroethane), water and others.

Due to the fact that the dewaxing process using crystalline urea does not use solvents, the resulting complexes are difficult to separate from the dewaxed fuel.

Therefore, the variant using crystalline urea has not proven itself in comparison with other urea processes.

Removal of high molecular weight n-paraffins from the fuel by urea dewaxing leads to a decrease in the cetane number in the resulting diesel fuel by approximately 3-6 points, which forces the use of expensive cetane-enhancing additives. This drawback makes urea dewaxing unsustainable compared to modern catalytic dewaxing processes.

1.3 Adsorption dewaxing

This process is based on the ability of adsorbents to selectively absorb paraffinic and naphthenic hydrocarbons from feedstock, during which the low-temperature properties of the resulting diesel or oil products increase.

Zeolites (types A, X, Y), which are aluminosilicates with a three-dimensional crystal structure, are widely used as adsorbents.

The process of dewaxing diesel fuel using adsorbents includes the following successive stages: absorption of paraffin hydrocarbons from feedstock - adsorption; removal of non-selectively adsorbed hydrocarbons from the adsorbent; separation of paraffinic hydrocarbons from the adsorbent - desorption.

Due to the high efficiency of paraffin adsorbents, this process has a high degree of paraffin extraction from feedstock, exceeding 95% [8].

Thanks to the creation of new designs of reactors and apparatuses, plants for continuous adsorption dewaxing are being built abroad and in Russia, but there are existing Parex plants.

But these installations are most relevant (from the point of view of economic considerations) for the production of paraffins, rather than for the production of diesel fuel [8].

1.4 Microbiological dewaxing process

The process of microbiological dewaxing lies in the ability of certain microbes (pseudomonas, levures) to selectively decompose n-paraffins, which predominantly have 25 carbon atoms. In other words, microorganisms eat hydrocarbons.

This process involves two stages: the first is microbiological dewaxing (eating hydrocarbons by microbes); the second is the isolation of the dewaxed product from the emulsion mixture with microbial mass and water.

There is a pilot plant for microbiological dewaxing in France, which processes distillates with a boiling point of 180-400°C.

The freezing point and cold filtering plugging point of the product obtained in this way are reduced by approximately 24–40°C [9].

The main disadvantage of this process is the duration of the first stage of the process, which ranges from 12 to 24 hours.

1.5 Catalytic hydrodewaxing and isodewaxing

The processes of hydrodewaxing and isodewaxing consist in the chemical conversion of n-paraffins using catalysts and hydrogen.

Catalytic hydrodewaxing is characterized by the main hydrocracking reactions, during which the hydrocarbon chain of n-paraffins is broken (destroyed), which strongly affects the final low-temperature properties of the products obtained.

In the process, there are a number of side reactions such as:

- hydrocracking of isoparaffins;
- hydrogenation of aromatic hydrocarbons, naphthenes;
- saturation of unsaturated hydrocarbons.

The main reactions of catalytic dewaxing is the isomerization of n-alkanes with the formation of isoalkanes, the appearance of which improves the performance properties of products.

These processes are carried out using bifunctional catalysts that contain zeolites (or zeolite-like structures) as an acid component, as well as metals that perform the function of hydrogenation-dehydrogenation. Various combinations of the above components provide selective hydrocracking in the case of hydrodewaxing, or isomerization of n-paraffins in the isodewaxing process.

The isodewaxing process is a more desirable process in the refinery because in this process, the resulting diesel fuel has a higher yield and a higher cetane number than the diesel fuel obtained by hydrodewaxing.

But in the isodewaxing process there is also a big drawback associated with the fact that the isodewaxing catalysts use mainly precious metals (platinum, palladium), which greatly increase the current costs of this process, while the hydrodewaxing process uses relatively inexpensive metals (nickel, molybdenum, tungsten).

In this regard, hydrodewaxing in Russia is the most demanded process, even in spite of the obvious disadvantages mentioned above [10].

Therefore, isolation of high molecular weight paraffins from fuel or oil feedstock in the processes of dewaxing by freezing, urea and adsorption dewaxing significantly reduces the yield (by 20–35% wt.) of commercial diesel fuel, requires the use of toxic solvents or energy-intensive refrigeration cycles and is justified only in the case of targeted production of paraffins.

The process of microbiological dewaxing is rational to use with a low content of n-paraffins in the feedstock, otherwise the yield of the diesel fraction will be significantly reduced.

The conversion of n-paraffins using the processes of hydrodewaxing and isodewaxing is the most efficient and promising process from the entire family of dewaxing processes, which is mainly due to the greater yield of diesel fuel compared to other processes, as well as the prospect of upgrading existing and developing new catalysts that will solve the problems of existing catalytic dewaxing processes.

2 Physical and chemical properties of the process of catalytic dewaxing of diesel fuel

The yield and quality of diesel fuel depend on the operating mode of the dewaxing reactor, on the type of catalyst and on the composition of diesel feedstock, the chemical composition of which is based on three groups of hydrocarbons, namely: paraffinic (from 10 to 40% wt.), naphthenic (from 20 to 50% wt.) and aromatic hydrocarbons (from 15 to 30% wt.).

In the process of deparaffinization, the following chemical reactions [11]:

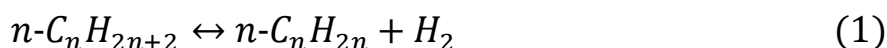
- the formation of coke-like substances that deactivate the active centers of the catalyst;
- hydrodecyclization of cyclic compounds;
- hydrogenation of aromatic and olefinic compounds;
- hydroisomerization of hydrocarbons, contributing to the production of branched paraffins;
- hydrocracking of long chain hydrocarbons.

Chemical reactions in catalytic dewaxing aimed at reducing normal alkanes in diesel fuel are necessary to obtain low pour point diesel fuel. Such reactions, as is known, include: hydroisomerization and selective hydrocracking of alkanes with a normal structure of the feedstock.

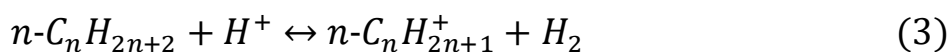
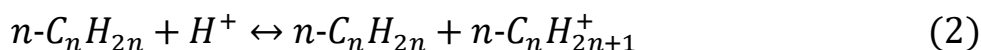
In the literature, one can find a description of hydroisomerization reactions by a monomolecular and bimolecular mechanism.

The monomolecular mechanism is generally accepted and is used to describe reactions with hydrocarbons in which the number of carbon atoms is more than four and can be represented by the following equations [12]:

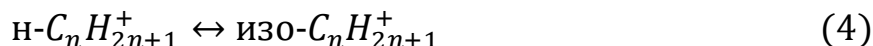
Alkane dehydrogenation:



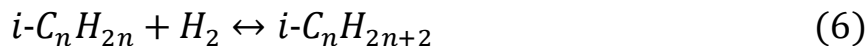
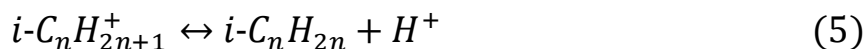
Carbocation formation:



Carbocation rearrangement (isomerization):



Hydrogenation to form an isoalkane:



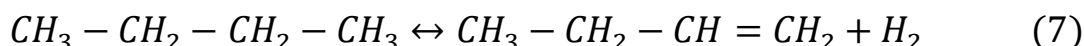
According to the mechanism of hydrogenation and dehydrogenation reactions (reactions (1) and (6)) occur on the metal active sites of the catalyst, and the formation and rearrangement of the carbocation occurs on the acid sites. The limiting stage of the process in the monomolecular mechanism is the stage of carbocation rearrangement (reaction (4)).

The rates of hydroisomerization reactions are inversely proportional to the hydrogen pressure, since with an increase in hydrogen pressure, the content of olefins and carbocations decreases according to reactions (1) and (2), respectively. On the other hand, the presence of hydrogen is necessary for the hydrogenation of isoalkenes (reaction (6)) and for maintaining the stability of the active sites of the catalyst.

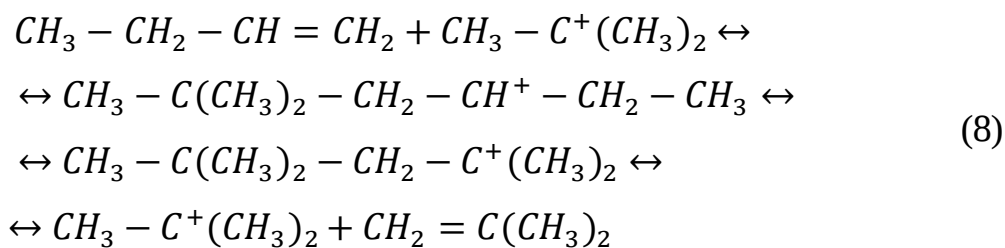
The selectivity, activity, and stability of the catalyst increase due to the deposition of a sufficient amount of active hydrogenating metal on the acid support [12]. The formation of a carbocation according to reaction (3) is also possible without the content of any metal in the catalyst, however, in this case, due to the absence of hydrogenating metals, the intensity of the process will be limited by an increased degree of catalyst deactivation by coke-like substances.

The bimolecular mechanism is used to describe the hydroisomerization of butane, including hydrocracking and oligomerization reactions.

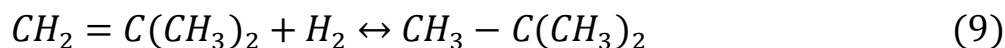
Olefin formation:



Oligomerization, carbocation rearrangement and hydrocracking:

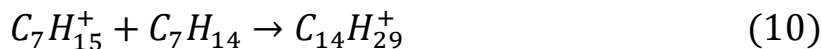


Hydrogenation of an olefin to form an isoalkane:



It should be noted that the isomerization reactions of hydrocarbons with more than four carbon atoms can also be described by the bimolecular mechanism, but in this case the reaction rate is much lower than when using the monomolecular mechanism. For example, it was noted in [13] that during the hydroisomerization of heptane, a part of isopentanes is formed according to the bimolecular mechanism.

Side reactions include oligomerization reactions and non-selective hydrocracking of paraffins. Olefins formed by reactions (1), (5) and (8) can participate in oligomerization, forming hydrocarbons with a long hydrocarbon chain, for example:



Such hydrocarbons can lead to catalyst coking, as are difficult to desorb from its surface, and they also easily enter into hydrocracking reactions, which reduces the selectivity of the overall process [11].

The occurrence of such side reactions can be avoided by using an increase in hydrogen pressure and the use of catalysts with a strong metal function, which will reduce the equilibrium concentrations of olefins that enter into the oligomerization reactions.

In addition to normal paraffins, the feedstock of the dewaxing process may contain a considerable amount of naphthenic and aromatic hydrocarbons with long alkyl chains of the normal structure, which greatly impair the low-temperature properties of diesel fuel. Their chemistry in dewaxing strongly depends on the acidity of the active sites of the catalyst (Figure 1.1).

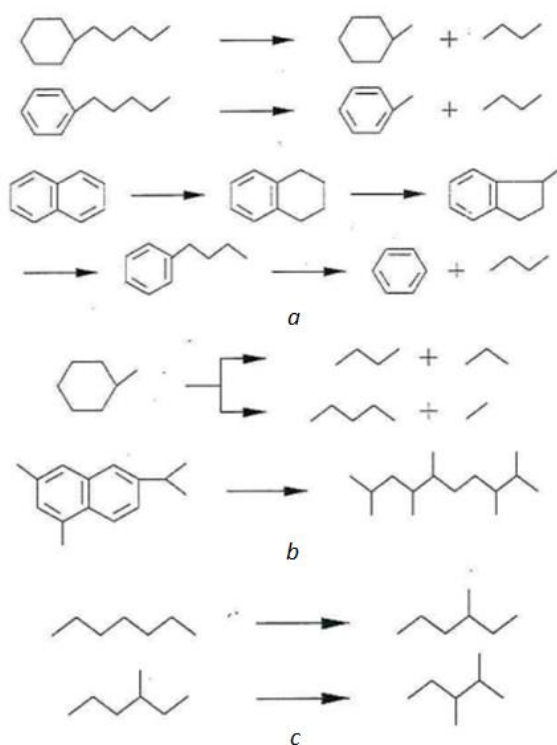


Fig. 1.1 Transformations of hydrocarbons on catalysts with different acidity of active centers [11]:

a - high acidity; b – low acidity; c – medium acidity

So on catalysts with a high acidity of the active centers, they undergo isomerization and decomposition, just like paraffinic hydrocarbons. The destruction of the ring occurs to a small conversion (Figure 1 a). Hydrogenolysis reactions proceed on catalysts with low acidity, followed by hydrogenation of the formed hydrocarbon (Figure 1 b). On catalysts with medium acidity, saturation of carbenium ions occurs, resulting in the formation of paraffins with a large number of carbon atoms.

It depends on the catalyst in which direction the process will proceed, because each component of the catalyst contributes to its overall catalytic action.

3 Modern industrial catalytic dewaxing catalysts

Modern dewaxing catalysts are very diverse both in terms of composition and in terms of their effect on the dewaxing feedstock. But all such catalysts can be characterized by four functional groups (Table 1.1) that contribute to catalyst performance.

Table 1.1 Functional groups of dewaxing catalysts [14]

Functional groups	Components
Group of acidic components	Zeolite type ZSM (ZSM-5, ZSM-11, ZSM-12, ZSM-22, ZSM-23); zeolite mordenite; zeolite Beta; zeolite Y (super stable USY, faujasite); zeolite type SSZ (SSZ-59, SSZ-47, SSZ-60); zeolite structures silicoaluminophosphates (silicoaluminophosphate) SAPO (SAPO-11, SAPO-31, SAPO-34).
Group of hydrogenating components	metals Ni, Mo, W or Pt, Pd.
Group of binder components	Aluminium oxide; amorphous aluminosilicate; silicon oxide.
Promoter group (modifiers)	Metals and non-metals: aluminum, iron, zinc, cerium, lanthanum, tin, rhenium, manganese, calcium, chromium, boron, phosphorus; metal oxides.

The role of the group of acidic components is to create acidic active sites on which isomerization reactions and decomposition of hydrocarbons take place, moreover, an increase in the strength of the acid sites leads to the facilitation of these reactions, which allows the dewaxing process to be carried out at a lower temperature.

The main role of hydrogenating components is to change the direction of the process. So, when using stronger hydrogenating metals (Pt, Pd), isodewaxing catalysts are obtained, and when using less hydrogenating metals (Ni, Mo, W), hydrodewaxing catalysts are obtained.

The role binders of components is to improve the catalytic properties of acidic and hydrogenating centers. Aluminum oxide is the most optimal and common binder of component.

The role of promoters and modifiers is to increase the activity (increase in the dispersity of the hydrogenating component), strength, and stability (decrease in the

degree of deactivation) of the catalyst. To improve the activity, boron, phosphorus, zinc are used, and to improve the stability of tin, manganese.

There is a large number of both foreign and domestic catalysts.

Foreign industrial catalysts used in the production of low pour point diesel fuel include a catalyst developed by an alliance of ExxonMobil Research and Engineering, Albemarle, Kellogg Brown and Root, Fina Research S.A. (Table 1.2).

Table 1.2 Technological characteristics of the catalytic technology from the alliance of companies ExxonMobil Research and Engineering, etc.

Pressure, MPa	2,8-5,6
Temperature, °C	260-400
liquid hourly space velocity feedstock, h ⁻¹	1-2
Hydrogen circulation rate, nm ³ /m ³	240-440
Feedstock: fraction, °C	250-340
Target product yield, % wt.	90
Depression by low-temperature indicators, °C	from 10 to 65

The main distinguishing feature of this catalyst is that such a catalyst can operate under the conditions of the hydrodesulfurization process, which makes it possible to combine this catalyst with hydrodesulfurization catalysts, which makes it possible to obtain well hydrotreated fuel. This catalyst is widely used in MAICFinishing MDDW (Mobil Distillate Dewaxing) and MAKFinishing CFI/HDS technologies.

Another equally widely used HYDEX-G catalyst (Table 1.3) from Clariant AG is used at Russian enterprises - LLC LUKOIL-Ukhtaneftepererabotka, Achinsk Oil Refinery VNK and LLC LUKOIL-Permnefteorgsintez.

Table 1.3 Technological characteristics of the HYDEX-G catalytic technology [11]

Pressure, MPa	5,4
Reactor inlet temperature, °C	340
liquid hourly space velocity feedstock, h ⁻¹	1,2-1,5
Hydrogen circulation rate, nm ³ /m ³	330-625
Feedstock: fraction, °C	180-360
Target product yield, % wt.	from 86 to 97
Depression by low-temperature indicators, °C	from 24 to 40

This catalyst exhibits good resistance to poisoning by heteroatomic feedstock compounds, and its operation is characterized by low hydrogen consumption.

SDD-800 and SDD-801 catalysts from Shell Global Solutions and Criterion Catalysts Co are used at a domestic enterprise at JSC Gazpromneft-ONPZ. The SDD-800 catalyst is a sulfur and nitrogen tolerant base metal dewaxing catalyst that can be used in harsh environments. And the SDD-801 catalyst contains expensive Pt metal and has the functions of dewaxing and hydrogenation and is used in the second stage. The sequence of stages in the use of such catalysts makes it possible to ensure stable dewaxing of the feedstock together with the hydrogenation of aromatic hydrocarbons.

Shell Global Solutions catalysts are characterized by high stability of operation (3-5 years), provide a high yield of the target product, and allow working with high-sulfur feedstock up to 3% wt. and ensure the flow of the process at low pressures and high volumetric velocities.

Hydroisomerization catalysts from ExxonMobil Research and Engineering, Albemarle, Kellog Brown and Root, Fina Research S.A. operate at a pressure of 1.7 to 2.0 MPa on a stationary bed of a proprietary bifunctional zeolite-containing platinum-based catalyst. With the help of this catalyst, it is possible to process a wide range of raw materials, including from kerosene to high-melting hydrocracking residues.

There are sulfided catalysts TK-928 and TK-932 based on zeolites from Haldor Topsoe, which contain Ni and W pleating components. The main advantage of such catalysts is the lower formation of the gasoline fraction and C₁-C₄ gases, which greatly increases the yield of the target product. These catalysts perform well in the process of desulfurization and denitrogenation; using them, it is possible to obtain modern fuel that meets modern Euro-5 requirements.

Domestic industrial catalysts include SGK-1 and SGK-5 catalysts (Table 1.4), which were developed at JSC All-Russian Scientific Research Institute for Oil Refining (JSC «VNII NP»).

Table 1.4 Technological characteristics of the catalytic technology of catalysts SGK-1 and SGK-5 from JSC "VNII NP" [11]

Parameters	Catalysts	
	SGK-1	SGK-5
Pressure, MPa	from 3,6 to 3,8	from 3,5 to 3,8
Reactor inlet temperature, °C	from 325 to 350	from 320 to 370
liquid hourly space velocity feedstock, h ⁻¹	0,8-1,1	0,6-1,0
Hydrogen circulation rate, nm ³ /m ³	650-1000	800-1100
Feedstock: fraction, °C	215-360	280-400
Target product yield, % wt.	from 85 to 86	from 64 to 68
Depression by low-temperature indicators, °C	from 20 to 26	62

These catalysts were synthesized on the domestic zeolite TsVM, which is an analogue of ZSM-5. Both SGK-1 and SGK-5 catalysts have extensive industrial experience of use at the enterprises of OOO Surgutgazprom ZSK and OAO Angarsk Oil Refinery, respectively. In work [11], the authors compare the SGK-1 and SGK-5 catalysts with the foreign catalyst HYDEX-G and conclude that domestic catalysts are no worse than foreign catalysts.

A series of DEP catalysts is known (DEP-3, DEP-9, DEP-23), developed by specialists of «AZKiOS» JSC. These catalysts (table 1.5) are distinguished by high selectivity and activity in hydrodewaxing reactions compared to the SGK-5 catalyst.

Table 1.5 Technological characteristics of catalysts of the DEP series [15]

Parameters	Catalysts		
	DEP-3	DEP-9	DEP-23
Pressure, MPa	3,0		
Temperature, °C	from 330 to 360	from 330 to 360	from 300 to 310
liquid hourly space velocity feedstock, h ⁻¹	1,0-2,0	1,0-2,0	3,0
Hydrogen circulation rate, nm ³ /m ³	1000		
Feedstock: fraction, °C	200-355		
Target product yield, % wt.	from 88 to 90	from 88 to 89	from 89 to 90
Cold filtering plugging point, °C	from -30 to -38	from -38 to -42	from -41 to -43

Catalysts of the DEP series do not have industrial experience of use, however, the work [15] presents a technology by which, using the hydrotreatment process, it is possible to obtain diesel fuel of class 3, type III.

In addition to those presented, there are many other catalysts, but most of them are in the early stages of research in laboratory facilities.