



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
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
Получение компонентов моторных топлив каталитической переработкой дизельной фракции, растительного масла и их смесей

УДК 665.753.4.097

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ12	Соснина Дарья Вячеславовна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Киргина Мария Владимировна	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОХИ ИШПР	Богданов Илья Александрович	—		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына Зоя Васильевна	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОХИ ИШПР	Ивашкина Елена Николаевна	Д.Т.Н.		

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

«Химическая технология топлива и газа»

(направление подготовки 18.04.01 «Химическая технология»)

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, выработать командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок
ОПК(У)-2	Способен использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты
ОПК(У)-3	Способен разрабатывать нормы выработки, технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии, контролировать параметры технологического процесса, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ОПК(У)-4	Способен находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен к совершенствованию технологического процесса — разработке мероприятий по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов производства
ПК(У)-2	Способен оценивать эффективность новых технологий, модернизировать существующие технологии и внедрять технические решения в производство
ПК(У)-3	Способен осуществлять экспертный анализ технологий и управление технологическими процессами промышленной подготовки и переработки нефти и газа
ПК(У)-4	Способен проводить аналитический и метрологический контроль производства для обеспечения качества и безопасности выпускаемой продукции, хода технологического процесса, охраны окружающей среды
ПК(У)-5	Способен осуществлять выбор и эксплуатацию технологического оборудования для подготовки и переработки нефти и газа
ПК(У)-6	Способен использовать пакеты прикладных программ при мониторинге действующего процесса, выполнении проектных и/или исследовательских работ



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
Специальность 18.04.01 Химическая технология
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Ивашкина Е.Н.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Выпускной квалификационной работы магистра (ВКР бакалавра/ ВКР специалиста/ ВКР магистра)
--

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ12	Сосниной Дарье Вячеславовне

Тема работы:

Получение компонентов моторных топлив каталитической переработкой дизельной фракции, растительного масла и их смесей	
Утверждена приказом директора ИШПР (дата, номер)	от 30.01.2023 г. № 30-97/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2023 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Образец прямогонной дизельной фракции, образец рапсового масла.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<p>1 Литературный обзор</p> <p>1.1 Моторные топлива: состав, свойства, марки</p> <p>1.2 Катализаторы для получения моторных топлив</p> <p>1.3 Технологии получения моторных топлив переработкой на цеолитных катализаторах</p> <p>1.4 Технологии переработки растительного сырья, смесей нефтяного и растительного сырья на цеолитных катализаторах</p> <p>1.5 Гидропереработка растительного сырья</p> <p>2 Объекты и методы исследования</p> <p>2.1 Объекты исследования</p> <p>2.2 Методика каталитической переработки</p> <p>2.3 Методики определения состава и свойств исследуемых образцов</p> <p>3 Расчеты и аналитика</p> <p>3.1 Результаты определения состава и свойств сырья</p>

	<p>3.2 Результаты переработки прямогонной дизельной фракции на цеолитном катализаторе</p> <p>3.3 Результаты переработки смесей прямогонная дизельная фракция/растительное масло на цеолитном катализаторе</p> <p>4 Результаты исследования</p> <p>4.1 Закономерности превращения веществ при переработке прямогонной дизельной фракции на цеолитном катализаторе</p> <p>4.2 Закономерности превращения веществ при совместной переработке смесей прямогонной дизельной фракции и растительного масла на цеолитном катализаторе</p> <p>4.3 Рекомендации по получению компонентов моторных топлив</p> <p>5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> <p>6 Социальная ответственность</p>
--	--

Перечень графического материала

Нет

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	к.э.н., доцент ОСГН ШБИП Криницына З.В.
«Социальная ответственность»	к.т.н., доцент ООД ШБИП Сечин А.А.

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

Objects and methods of research

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2023 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Киргина М.В.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ12	Соснина Дарья Вячеславовна		



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
Уровень образования Магистратура
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии
Период выполнения 2022/2023 учебный год

Форма представления работы:

Выпускная квалификационная работа магистра (ВКР бакалавра/ ВКР специалиста/ ВКР магистра)
--

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающегося:

Группа	ФИО
2ДМ12	Сосниной Дарьи Вячеславовны

Тема работы:

Получение компонентов моторных топлив каталитической переработкой дизельной фракции, растительного масла и их смесей

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2023 г.
--	---------------

Дата Контроля	Название раздела (модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2023 г.	Введение	10
15.03.2023 г.	Литературный обзор: моторные топлива, катализаторы для получения моторных топлив, технологии получения моторных топлив переработкой на цеолитных катализаторах; технологии переработки растительного сырья, смесей нефтяного и растительного сырья на цеолитных катализаторах.	15
01.04.2023 г.	Объекты и методы исследования: объекты исследования; методика каталитической переработки; методики определения состава и свойств исследуемых образцов (вязкости и плотности, массовой доли серы, низкотемпературных свойств, фракционного и группового состава, цетанового индекса).	15
15.04.2023 г.	Расчеты и аналитика: результаты определения состава и свойств сырья; результаты переработки прямогонной дизельной фракции на цеолитном катализаторе; результаты переработки смесей прямогонная дизельная фракция/рапсовое масло на цеолитном катализаторе.	20

01.05.2023 г.	Результаты исследования: закономерности превращения веществ при переработке прямогонной дизельной фракции на цеолитном катализаторе; закономерности превращения веществ при совместной переработке прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе; рекомендации по получению компонентов моторных топлив.	20
20.05.2023 г.	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». Раздел «Социальная ответственность».	10
25.05.2023 г.	Выводы	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Киргина Мария Владимировна	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОХИ ИШПР	Богданов Илья Александрович	—		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОХИ ИШПР	Ивашкина Елена Николаевна	Д.Т.Н.		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ12	Соснина Дарья Вячеславовна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа 2ДМ12	ФИО Сосниной Дарье Вячеславовне
-----------------	------------------------------------

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	ОХИ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников «НИ ТПУ»: оклад доцента – 35120 руб., оклад исполнителя равен минимальному размеру оклада (1 квалифицированный уровень) – 12130 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	– районный коэффициент – 1,3; – накладные расходы – 16 %; – норма амортизации 25 %.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	В соответствии с налоговым кодексом Российской Федерации отчисления во внебюджетные фонды – 30 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, оценка готовности проекта к коммерциализации.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение основных этапов работ; определение трудоемкости работ; разработка графика Ганта. Определение затрат на проектирование (смета затрат).
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка эффективности проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2023
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		01.02.2023

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ12	Соснина Дарья Вячеславовна		01.02.2023

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
2ДМ12		Сосниной Дарье Вячеславовне	
Школа		Отделение (НОЦ)	
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	18.04.01 «Химическая технология»

Тема ВКР:

Получение компонентов моторных топлив каталитической переработкой дизельной фракции, растительного масла и их смесей	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <p>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</p> <p>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p><i>Объект исследования</i> – растительное масло, нефтяная дизельная фракция, смеси нефтяной дизельной фракции и растительного масла (10 и 25 % об. масла), продукты переработки нефтяной дизельной фракции и смесей нефтяной дизельной фракции и растительного масла на цеолитном катализаторе.</p> <p><i>Область применения</i> – нефтеперерабатывающая промышленность, топлива для транспорта и техники в условиях крайнего севера.</p> <p><i>Рабочая зона</i> – химическая 134 лаборатория и химическая 129 лаборатория 2 корпуса отделения химической инженерии Томского политехнического университета.</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны</i> – аппарат для определения фракционного состава АРН-ЛАБ-11, криостат жидкостный температурный КРИО-Т-05-01, установка для определения ПТФ, вискозиметр Штабингера SVM3000, Спектроскан S.</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне</i> – определение фракционного состава исследуемых образцов, определение низкотемпературных характеристик, определение плотности и вязкости, определение массовой доли серы.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</p> <p>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>– 1.1 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 16.12.2019).</p> <p>– 1.2 ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p> <p>– 1.3 ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.</p> <p>– 1.4 ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).</p>

<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>2.1 В исследовательской лаборатории существует вероятность воздействия следующих вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – наличие вредных веществ; – отклонение показателей микроклимата; – недостаточное освещение рабочей зоны; – повышенный уровень шума; – поражение электрическим током; – возникновение пожара. <p>2.2 В исследовательской лаборатории при проведении работ присутствуют вредные вещества:</p> <ul style="list-style-type: none"> – этиловый спирт; – анилин; – бензин; – пары дизельной фракции. <p>2.3 Опасные производственные факторы в исследовательской лаборатории:</p> <ul style="list-style-type: none"> – горючесть, взрывоопасность и токсичность веществ; – превышение предельно допустимой концентрации токсичных веществ в воздухе рабочей зоны. <p>2.4 Расчет системы воздухообмена.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</p>	<ul style="list-style-type: none"> – 3.1 Воздействие на литосферу – загрязнение почвы нефтяными фракциями. – 3.2 Воздействие на гидросферу – разлив нефтяных фракций на поверхности водоемов. 3.3 Воздействие на атмосферу – испарение нефтяных фракций.
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации:</p>	<p>4.1 Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – природные катастрофы; – пожары; – взрывы; – разлив химических реагентов и нефтепродуктов. <p>4.2 Наиболее типичная ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – пожар.
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		01.02.2023

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ12	Соснина Дарья Вячеславовна		01.02.2023

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 138 страниц, 15 рисунков, 60 таблиц, 53 источника и 2 приложения.

Ключевые слова: прямогонная дизельная фракция, рапсовое масло, каталитическая переработка, цеолитный катализатор, топливные фракции.

Работа представлена введением, 6 разделами и выводами, приведен список использованных источников.

Объект исследования – прямогонная дизельная фракция, рапсовое масло, смеси прямогонной дизельной фракции и рапсового масла, а также продукты их переработки на цеолитном катализаторе.

Предмет исследования – состав и свойства сырья и продуктов каталитической переработки, а также закономерности превращения веществ, входящих в состав прямогонной дизельной фракции и рапсового масла, при переработке на цеолитном катализаторе.

Цель работы – получение компонентов моторных топлив при совместной переработке смесей прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе.

В ходе работы определены состав и свойства образцов прямогонной дизельной фракции, рапсового масла и их смесей; осуществлена переработка образцов на цеолитном катализаторе; определены состав и свойства полученных продуктов; выявлены закономерности превращения веществ при переработке на цеолитном катализаторе; предложены рекомендации по получению компонентов моторных топлив.

Экономическая значимость работы заключается в возможности использования разработанной технологии для производства низкозастывающих топлив, расширения сырьевого пула для производства моторных топлив за счет вовлечения возобновляемого сырья, а также возможности получения компонентов различных моторных топлив.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	14
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	18
1.1 Моторные топлива: состав, свойства, марки	18
1.1.1 Автомобильные бензины	18
1.1.2 Дизельные топлива	23
1.1.3 Реактивные топлива	26
1.2 Катализаторы для получения моторных топлив	28
1.2.1 Цеолитные катализаторы	28
1.2.2 Катализаторы гидроочистки	31
1.3 Технологии получения моторных топлив переработкой на цеолитных катализаторах	34
1.4 Технологии переработки растительного сырья, смесей нефтяного и растительного сырья на цеолитных катализаторах	36
1.5 Гидропереработка растительного сырья	38
2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	40
2.1 Объекты исследования	40
2.2 Методика каталитической переработки	41
2.3 Методики определения состава и свойств исследуемых образцов	45
2.3.1 Методика определения вязкости и плотности	45
2.3.2 Методика определения серы	46
2.3.3 Методика определения температуры помутнения, начала кристаллизации и застывания	47
2.3.4 Методика определения предельной температуры фильтруемости	49
2.3.5 Методика определения фракционного состава	50
2.3.6 Методика определения группового состава	50
2.3.7 Методика определения цетанового индекса	53
3 РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА	54
3.1 Результаты определения состава и свойств сырья	54
3.2 Результаты переработки прямогонной дизельной фракции на цеолитном катализаторе	56

3.3 Результаты переработки смесей прямогонная дизельная фракция/рапсовое масло на цеолитном катализаторе	57
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	60
4.1 Закономерности превращения веществ при переработке прямогонной дизельной фракции на цеолитном катализаторе	60
4.2 Закономерности превращения веществ при совместной переработке прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе	63
4.3 Рекомендации по получению компонентов моторных топлив	67
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	70
5.1 Предпроектный анализ	70
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	70
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений	72
5.1.3 SWOT-анализ	73
5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	75
5.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	77
5.2 Инициация проекта	77
5.3 Планирование управления научно-техническим проектом	80
5.3.1 Иерархическая структура работ проекта	80
5.3.2 План проекта	80
5.4 Бюджет научного исследования	81
5.4.1 Расчет материальных затрат исследования	82
5.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование	83
5.4.3 Основная заработная плата исполнителей проекта	84
5.4.4 Дополнительная заработная плата исполнительской темы	86
5.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды	87
5.4.6 Накладные расходы	88
5.4.7 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта	88
5.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	89
5.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования	89

5.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	94
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	97
6.1 Введение	97
6.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	97
6.2.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	98
6.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	99
6.3 Производственная безопасность	100
6.3.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	100
6.3.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки на производстве	102
6.4 Экологическая безопасность	106
6.4.1 Воздействие на атмосферу	107
6.4.2 Воздействие на гидросферу.....	107
6.4.3 Воздействие на литосферу.....	108
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	108
6.5.1 Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения.....	108
ВЫВОДЫ	111
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА	114
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	115
ПРИЛОЖЕНИЕ А	123
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	137

ВВЕДЕНИЕ

Развитие мировой экономики в настоящее время приводит к значительному росту спроса на природные полезные ископаемые, которые, в частности, являются сырьём для производства моторных топлив. Наряду с увеличением потребления природных полезных ископаемых наблюдается истощение их запасов. Добываемые нефти, как правило, относятся к категории тяжелых, что влечет за собой увеличение капитальных и эксплуатационных затрат при их добыче и переработке. Возникает необходимость поиска новых возобновляемых источников энергии, переработка которых позволит получать углеводороды, по своему составу и свойствам близкие углеводородам нефтяного происхождения.

Кроме того, географическое положение большей части территории Российской Федерации обуславливает необходимость получения именно низкозастывающих топлив для обеспечения бесперебойной работы различных видов техники и транспорта в условиях низких температур.

Возможным решением существующих проблем может стать совместная переработка прямогонных дизельных фракций и растительных масел на цеолитном катализаторе, которая позволит получать низкозастывающие компоненты моторных топлив, сократить зависимость от невозобновляемого сырья за счет вовлечения в переработку растительных масел и увеличить объемы производства моторных топлив.

Таким образом, **целью работы** является получение компонентов моторных топлив при совместной переработке смесей прямогонной дизельной фракции и растительного масла на цеолитном катализаторе.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Экспериментально определить и проанализировать состав и свойства прямогонной дизельной фракции, рапсового масла, смесей

прямогонной дизельной фракции и рапсового с содержанием масла 10 и 25 % об.

2. Осуществить переработку на цеолитном катализаторе прямогонной дизельной фракции и совместную переработку прямогонной дизельной фракции и рапсового масла с долей масла в смесях 10 и 25 % об.

3. Экспериментально определить состав и свойства полученных продуктов каталитической переработки.

4. Выявить закономерности превращения веществ при переработке прямогонной дизельной фракции на цеолитном катализаторе.

5. Выявить закономерности превращения веществ при совместной переработке прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе.

6. Выработать рекомендации по получению компонентов моторных топлив разделением продуктов каталитической переработки смесей прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе.

Объектом исследования в работе являются прямогонная дизельная фракция, рапсовое масло, смеси прямогонной дизельной фракции и рапсового масла с различным содержанием масла, продукты их переработки на цеолитном катализаторе, а также топливные фракции, полученные в результате разделения продуктов каталитической переработки.

Предмет исследования – состав и свойства сырья и продуктов каталитической переработки, а также закономерности превращения веществ, входящих в состав прямогонной дизельной фракции и рапсового масла, при переработке на цеолитном катализаторе.

Научная новизна работы:

1. Установлено, что в результате совместной переработки прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном

катализаторе наблюдается значительное улучшение базовых физико-химических и низкотемпературных свойств полученных продуктов, которое обусловлено закономерностями изменения группового углеводородного состава.

2. Выявлены закономерности превращения веществ при совместной переработке прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе.

3. Показано, что увеличение доли рапсового масла, вовлекаемого в переработку на цеолитном катализаторе, приводит к увеличению суммарной доли непредельных углеводородов, что, в свою очередь, приводит к увеличению плотности продукта и снижению цетанового индекса.

Практическая значимость работы:

Установлено, что продукты совместной переработки прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе по физико-химическим (за исключением кинематической вязкости) и низкотемпературным свойствам удовлетворяют требованиям, предъявляемым для арктической марки дизельных топлив.

Показана целесообразность вовлечения растительного масла в каталитическую переработку с целью повышения объемов производства моторных топлив из возобновляемого сырья.

Предложены рекомендации по получению компонентов моторных топлив, в частности бензина, керосина и дизельного топлива, разделением полученных продуктов совместной переработки прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе.

Апробация работы:

Основные положения работы были представлены на XXII, XXIII и XXIV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке» имени

выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера (получены Диплом и Диплом II степени), на XXV Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», на Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Новые технологии – нефтегазовому региону», в работе VI школы Молодых ученых «Новые каталитические процессы глубокой переработки углеводородного сырья и биомассы», а также в работе 1-й научной школы молодых ученых в рамках XV конференции «Актуальные задачи нефтегазохимического комплекса».

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Моторные топлива: состав, свойства, марки

Моторные топлива представляют собой горючие жидкие или газообразные вещества, получаемые в результате переработки нефти и нефтепродуктов и применяемые в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания.

По назначению моторные топлива различаются на топлива для двигателей с принудительным искровым зажиганием (бензин), для авиационных газотурбинных двигателей (реактивные топлива), для двигателей с воспламенением от сжатия (дизельные топлива).

1.1.1 Автомобильные бензины

Бензин является самым распространенным автомобильным топливом. Прямогонный бензин (прямогонная бензиновая фракция) представляет собой продукт ректификации нефти с пределами выкипания до 180 °С. Основными углеводородами, входящими в состав прямогонного бензина, являются парафиновые углеводороды нормального строения (н-парафины) с количеством атомов углерода C₅-C₉ (не менее 29 % мас.). Также в состав прямогонного бензина входят изопарафиновые (до 36 % мас.), нафтеновые (до 33 % мас.), ароматические (до 9 % мас.) и непредельные (до 1,5 % мас.) углеводороды.

Товарный бензин представляет собой компаундированную смесь различных соединений и продуктов, получаемых в процессе нефтепереработки. К основным компонентам товарных бензинов относятся бензины каталитического крекинга, риформинга, изомеризации, гидропроцессов [1].

Процесс каталитического риформинга является ведущим процессом при производстве товарных бензинов и позволяет получать высокооктановые компоненты из прямогонной бензиновой фракции с

пределами выкипания 85-180 °С путем превращения низкооктановых парафинов в высокооктановые ароматические углеводороды при высоких температурах.

В процессе каталитического крекинга получают высокооктановые компоненты бензина из вакуумных газойлей и их смесей с мазутом. Однако получаемые компоненты содержат высокий процент ароматических и олефиновых углеводородов.

Процесс изомеризации позволяет повышать октановое число прямогонных бензинов путем превращения парафинов нормального строения в их изомеры, которые характеризуются более высокими октановыми числами.

Немаловажной частью товарных бензинов является также алкилат, который получают в результате реакций алкилирования углеводородов C₃-C₄. Введение кислородсодержащих соединений в состав бензинов позволяет повысить их детонационную стойкость за счет снижения теплоты сгорания.

Бензины, применяемые на территории Российской Федерации в качестве моторного топлива на транспортных средствах с бензиновыми двигателями, должны соответствовать по эксплуатационным и физико-химическим свойствам требованиям стандартов [2-3].

Основным эксплуатационным свойством бензинов является их детонационная стойкость [4]. Детонационная стойкость характеризует способность топлива противостоять самовоспламенению при сжатии. При самовоспламенении топлива значительно увеличивается фронт распространения пламени от 1500 до 2500 м/с и в результате резкого перепада давления возникает детонационная волна, которая нарушает режим работы двигателя, что приводит к перерасходу топлива, уменьшению мощности, перегреву двигателя, к прогару поршней и выхлопных клапанов. Высокая детонационная стойкость топлива

обеспечивает его нормальное сгорание на всех режимах эксплуатации двигателя при принудительном воспламенении от свечи, при этом фронт распространения пламени достигает от 10 до 25 м/с.

На рисунке 1.1 наглядно представлены нормальный процесс горения топлива в двигателе с принудительным искровым зажиганием и процесс, характеризующийся самовоспламенением топлива.

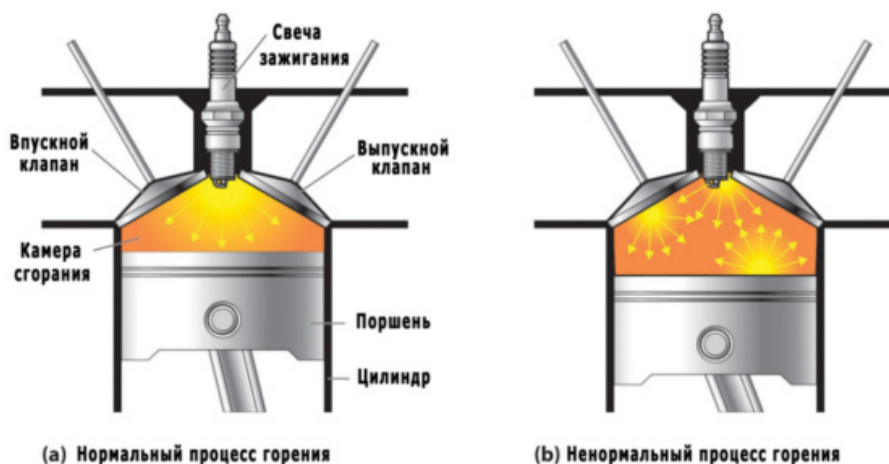


Рисунок 1.1 – Процессы горения топлива в двигателе с принудительным искровым зажиганием

Показателем детонационной стойкости автомобильных бензинов является октановое число. Октановое число (ОЧ) характеризует устойчивость топлива к самоокислению и численно равно содержанию изооктана (ОЧ = 100 пунктов) в эталонной смеси с нормальным гептаном (ОЧ = 0 пунктов), которая по детонационной стойкости эквивалентна испытываемому топливу.

Октановое число определяется двумя методами: моторным и исследовательским.

Октановое число по моторному методу (ОЧМ) определяется по [5] и характеризует детонационную стойкость бензинов на режимах, которые характерны для работы автомобильных двигателей в жестких условиях эксплуатации (полная нагрузка на двигатель). Октановое число по исследовательскому методу (ОЧИ) определяется в соответствии с [6] и

характеризует детонационную стойкость бензинов на режимах работы двигателя, соответствующих менее жестким условиям эксплуатации (при частичной нагрузке на двигатель).

В соответствии с [2] выделяют следующие марки автомобильных бензинов с октановым числом, определенным по исследовательскому методу: АИ-80, АИ-92, АИ-95, АИ-98.

Детонационная стойкость и показатель ОЧ также зависят от химического состава бензинов. Так детонационная стойкость снижается в ряду: ароматические (обладают наибольшей детонационной стойкостью), изопарафиновые, олефиновые, нафтеновые и парафиновые углеводороды нормального строения (обладают наименьшей детонационной стойкостью).

Продукты сгорания некоторых соединений, входящих в состав бензина, приводят к нагарообразованию, а также образованию токсичных продуктов в составе отработанных газов, что негативно сказывается на состоянии окружающей среды. В [3] введены экологические классы (К2, К3, К4, К5) бензинов, в соответствии с которыми установлены предельно допустимые содержания в бензинах ароматических и олефиновых углеводородов, бензола, серы, свинца и других соединений (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Экологические классы бензинов [3]

Характеристики автомобильного бензина	Значение для класса			
	К2	К3	К4	К5
Массовая доля серы, мг/кг, не более	500	150	50	10
Объемная доля бензола, %, не более	5	1		
Массовая доля кислорода, %, не более	–	2,7		
Объемная доля углеводородов, %, не более:				
ароматических	–	42	35	
олефиновых	–	18		
Октановое число:				
по исследовательскому методу, не менее	80			
по моторному методу, не менее	76			
Концентрация железа, мг/дм ³ , не более	–			
Концентрация марганца, мг/дм ³ , не более	–			
Концентрация свинца, мг/дм ³ , не более	5			
Объемная доля монометиланилина, %, не более	1,3	1,0	отсутствие	

Продолжение таблицы 1.1

Характеристики автомобильного бензина	Значение для класса			
	К2	К3	К4	К5
Объемная доля оксигенатов, %, не более:				
метанола	–		1	
этанола	–		5	
изопропанола	–		10	
третбутанола	–		7	
изобутанола	–		10	
эфиров, содержащих 5 или более атомов углерода в молекуле	–		15	
других оксигенатов (с температурой конца кипения не выше 210 °С)	–		10	

Ещё одним важным эксплуатационным свойством бензинов, которое характеризует процесс перехода топлива из жидкого состояния в газообразное (парообразное), является испаряемость. Испаряемость оказывает большое влияние на пусковые свойства, образование паровых пробок и физическую стабильность топлива при хранении.

Испаряемость характеризуется такими физико-химическими свойствами, как давление насыщенных паров (ДНП) и фракционный состав. По испаряемости бензины подразделяются на следующие классы [2]: А и В – летние топлива; С, D, E и F – зимние топлива; C1, D1, E1 и F1 – межсезонные топлива. В таблице 1.2 представлены нормированные значения характеристик испаряемости для различных классов бензинов [2].

Таблица 1.2 – Испаряемость бензинов [2]

Наименование показателя	Значение для класса					
	А	В	С и C1	D и D1	E и E1	F и F1
Давление насыщенных паров бензина, кПа:						
в летний период	35-80					
в зимний и межсезонный период	35-100					
Фракционный состав:						
объемная доля испарившегося бензина, %, при температуре:						
70 °С	15-48	–				
100 °С	40-70	–				
150 °С	75	15-50				
конец кипения, °С, не выше	215,0	–				
объемная доля остатка в колбе, %, не более	2,0	–				
Максимальный индекс паровой пробки	–	Для C1, D1, E1, F1				

1.1.2 Дизельные топлива

Дизельное топливо представляет собой нефтепродукт, который используется для обеспечения работы двигателей внутреннего сгорания, работающих от принудительного сжатия. Оно, как правило, состоит из средних дистиллятных фракций нефти, перегоняющихся в пределах выкипания 180 (220)-360 °С, а также легких газойлей каталитического крекинга и гидрокрекинга.

В соответствии с [7] по физико-химическим свойствам, эксплуатационным характеристикам и условиям применения выделяют следующие марки дизельных топлив: летнее (Л), межсезонное (Е), зимнее (З) и арктическое (А) дизельное топливо.

Основными характеристиками, определяющими качество дизельного топлива, являются [8]: цетановое число, фракционный состав, вязкость, плотность, низкотемпературные свойства, температура вспышки, содержание сернистых соединений.

В таблице 1.3 представлены основные характеристики качества дизельного топлива для различных марок по [7].

Таблица 1.3 – Характеристики дизельного топлива [7]

Характеристика	Значение для марки			
	Л	Е	З	А
Цетановое число, не менее	45			
Фракционный состав:				
50 % об. перегоняется при температуре, °С, не выше	280			255
95 % об. перегоняется при температуре, °С, не выше	360		340	360
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	3,0-6,0		1,8-5,0	1,5-4,0
Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С, не ниже: для дизелей общего назначения	40		30	
Массовая доля серы, мг/кг, не более	2000			
Плотность при 15 °С, кг/м ³ , не более	863,4		843,4	833,5
Предельная температура фильтруемости, °С, не выше	-5	-15	-25 -35	-45

Цетановое число характеризует воспламеняемость дизельного топлива и определяет промежуток времени от момента впрыска топлива в

цилиндр до начала его горения. Цетановое число численно равно содержанию цетана в эталонной смеси с α -метилнафталином, которая по самовоспламеняемости эквивалентна топливу, испаряемому при нормальных условиях. Чем выше цетановое число, тем меньше задержка и тем плавнее происходит процесс горения топливной смеси.

На эксплуатационные характеристики дизельного топлива значительное влияние также оказывает его фракционный состав. Чем больше легкокипящих фракций в составе дизельного топлива, тем выше давление, при котором происходит сгорание топлива. Повышение давления сопровождается характерными стуками в топливных цилиндрах и приводит к жесткой работе двигателя. Содержание большого количества тяжелых фракций в составе дизельного топлива является причиной неполного сгорания топлива, вследствие которого возникает повышенное дымление и образуется нагар.

Вязкость и плотность дизельного топлива определяют процессы испарения и смесеобразования, а также обеспечивают нормальную подачу топлива через топливные фильтры и его распыление в камере сгорания.

При увеличении вязкости и плотности увеличивается размер капель топлива и ухудшается его распыливание и испарение. При этом увеличивается время сгорания топлива, снижается полнота сгорания и экономичность двигателя, возникает дымление.

Чрезмерное снижение вязкости и плотности приводит к нарушению однородности топливно-воздушной смеси, поскольку из-за минимальных размеров капель топлива происходит его неравномерное смешение с воздухом.

К низкотемпературным свойствам дизельного топлива относятся температура помутнения, предельная температура фильтруемости и температура застывания.

Температура помутнения ($T_{п}$) характеризует начальную стадию кристаллизации парафиновых углеводородов, которая изменяет прозрачность испытуемого топлива.

Предельная температура фильтруемости (ПТФ) определяет максимально низкую температуру, при которой топливо сохраняет свою способность прокачиваться через топливный фильтр.

Температура застывания ($T_{з}$) – это температура, при которой топливо полностью теряет свою подвижность в условиях испытания.

Температура вспышки – температура, при нагревании до которой пары дизельного топлива образуют с воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени. Температура вспышки дизельного топлива характеризует его огнеопасность и содержание легкокипящих фракций.

Экологическая чистота дизельного топлива характеризуется, как правило, содержанием серы, а также различных ароматических соединений. При высоком содержании серы увеличиваются выбросы ее оксидов в атмосферу, а полициклические ароматические соединения обладают высокой токсичностью.

Кроме того, высокое содержание серы приводит к увеличению продуктов сгорания топлива, которые формируют отложения на внутренних частях двигателей и ускоряют их износ. Сернистые соединения, входящие в состав дизельного топлива, вступают в реакции с водяными парами, продукты которых создают мощный коррозионный эффект.

Требования по содержанию серы и полициклических ароматических углеводородов в дизельных топливах регламентируются [3] и представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Экологические классы дизельных топлив

Характеристики дизельного топлива	Значение для класса			
	K2	K3	K4	K5
Массовая доля серы, мг/кг, не более	500	350	50	10
Массовая доля полициклических ароматических углеводородов, %, не более	–	11	11	8

1.1.3 Реактивные топлива

Реактивное топливо (керосин) представляет собой жидкую смесь углеводородов (от C₁₂ до C₁₅), выкипающих при температурах 140-240 °С и получаемых в результате прямой перегонки или ректификации нефти. По внешнему виду керосин – прозрачная или светло-желтая, слегка маслянистая жидкость, обладающая специфическим запахом [1].

В состав керосина входят н-парафины (от 20 до 60 % мас.), нафтены (от 20 до 50 % мас.), бициклические ароматические углеводороды (от 5 до 25 % мас.), непредельные углеводороды (до 2 % мас.), а также примеси соединений серы, азота и кислорода [1].

Содержание в составе керосина ароматических углеводородов значительно ниже, чем парафинов и нафтен, что обусловлено их негативным влиянием на эксплуатационные характеристики топлива. Так ароматические углеводороды обладают более низкой теплотой сгорания, по сравнению с другими классами углеводородов, что приводит к образованию нагара на деталях двигателей.

Керосин нашел свое применение во многих отраслях, на наибольшую ценность приобрел как авиационное топливо. Так называемый авиационный керосин применяется в качестве горючего для авиационных турбореактивных, турбовентиляторных и турбовинтовых двигателей.

Требования, предъявляемые к качеству авиационного керосина, регламентированы в [9].

Основными показателями качества авиационного керосина являются теплота сгорания, давление насыщенных паров, кинематическая вязкость и

плотность, температура вспышки, температура начала кристаллизации, содержание ароматических углеводородов, серы [10].

Теплота сгорания показывает, какое количество внутренней энергии выделяются при сгорании 1 кг вещества. Теплота сгорания важна только для авиационного керосина и зависит от содержания в топливе водорода. Так, чем больше теплота сгорания керосина, тем меньше его расход и, соответственно, больше дальность полета техники на одной заправке.

Для керосина, в отличие от бензина и дизельного топлива, также важным показателем является температура начала кристаллизации, при которой появляются первые кристаллы углеводородов. Эта температура определяет возможность использования топлива на больших высотах при низких температурах.

Как и для других видов топлив, низкотемпературные свойства керосина, плотность и вязкость характеризуют его способность прокачиваться через топливные фильтры.

Фракционный состав керосина позволяет определить возможность образования паровых пробок, характеризует пусковые характеристики топлива, а также его пожароопасность. Для полетов на высоте большое значение имеет температура начала кипения топлива. Так, при низком её значении возникает кавитация, которая в свою очередь приводит к остановке подачи топлива и отказу в работе двигателя.

В настоящее время для авиации выпускается пять основных марок авиационного топлива: ТС-1, Т-1, Т-1С, Т-2 и РТ. Наиболее распространенными на территории России являются топливо ТС-1 и топливо РТ.

Основные требования, предъявляемые к качеству различных марок авиационного керосина в соответствии с [9], представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Характеристики керосина

Характеристики дизельного топлива	Значение для марки				
	ТС-1	Т-1С	Т-1	Т-2	РТ
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не менее	775,0	800,0		755,0	775,0
Фракционный состав:					
а) температура начала перегонки, °С:					
не ниже	–	–	60	135	
не выше	150	150	–	155	
б) 10 % об. перегоняется при температуре, °С, не выше	165	175	145	175	
в) 50 % об. перегоняется при температуре, °С, не выше	195	225	195	225	
г) 90 % об. перегоняется при температуре, °С, не выше	230	270	250	270	
д) 98 % об. перегоняется при температуре, °С, не выше	250	280			
Кинематическая вязкость, мм ² /с, при температуре:					
20 °С, не менее	1,25	1,50	1,05	1,25	
-40 °С, не более	8	16	6	16	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг, не менее	42900	42900	43100	43120	
Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С, не ниже	28	30	–	28	
Температура начала кристаллизации, °С, не выше	-60	-60	-60	-60	
Массовая доля ароматических углеводородов, %, не более	22	20	22	22	
Массовая доля общей серы, %, не более	0,20	0,10	0,25	0,10	

1.2 Катализаторы для получения моторных топлив

1.2.1 Цеолитные катализаторы

Природные цеолиты – кристаллические алюмосиликаты, содержащие оксиды щелочных и щелочноземельных металлов, и отличающиеся строго регулярной структурой пор, которые при нормальных условиях заполнены водой. При нагревании цеолитов происходит выделение водяного пара, но их структура при этом не меняется.

Кристаллическая структура цеолитов, их химическая и термическая стабильность, а также наличие пор обусловили предпосылки для использования цеолитов в качестве адсорбентов, молекулярных сит и катализаторов [11]. Однако природные цеолиты обладают сравнительно малым адсорбционным объемом, поскольку адсорбируют только малые по

размерам молекулы, такие как молекулы воды и кислорода, а также не превосходят по своим характеристикам аморфные алюмосиликатные катализаторы для различных процессов. Единственное применение, которое изначально нашли природные цеолиты – ионный обмен в водной среде, обеспечиваемый наличием в составе цеолитов катионов. Другими словами, природные цеолиты использовали лишь для снижения жесткости воды [12].

Потенциал цеолитов был оправдан с появлением синтетических (модифицированных) цеолитов, которые в настоящее время нашли широкое применение в химической промышленности.

Катализаторы на основе синтетических цеолитов представляют собой термически стабильные и устойчивые по отношению к контактными ядам катализаторы, которые применяются для проведения реакций органического и неорганического синтеза, протекающих внутри полостей или в устьях пор.

Синтетические цеолиты имеют вид каркаса, построенного из бесконечной одно-, двух- или трехмерной сетки тетраэдров SiO_4 и AlO_5 , связанных общими атомами кислорода, и пронизанного полостями и каналами (рисунок 1.2). Матрица цеолитного катализатора, в которой распределен и закреплен кристаллический цеолит, также может состоять из Al_2O_3 , SiO_2 , глины или аморфного алюмосиликата.

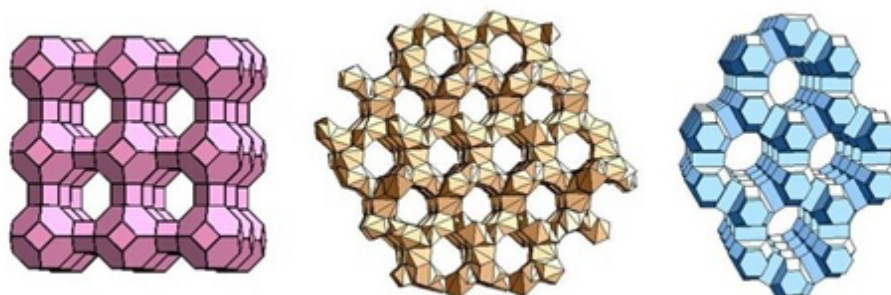


Рисунок 1.2 – Каркасные структуры цеолитов

Различают моно- и бифункциональные цеолитные катализаторы. Монофункциональные катализаторы содержат брэнстедовские и льюисовские центры. Их каталитическое действие основано на способности образовывать карбониевые ионы, за счет чего они ускоряют реакции крекинга, изомеризации, диспропорционирования, переноса водорода и др.

Бифункциональные кислотные катализаторы, помимо кислотных центров, содержат также катионы металлов VI и VII групп. Эти катионы определяют способность катализаторов ускорять окислительно-восстановительные реакции.

Активность и стабильность цеолитных катализаторов определяется соотношением атомов Si/Al (силикатный модуль) в кристаллическом каркасе цеолита, размерами и строением полостей, каналов цеолита и матрицы, наличием катионов [13]. В таблице 1.6 представлены типы цеолитов и соответствующие им силикатные модули.

Таблица 1.6 – Типы цеолитов

Силикатный модуль	Тип цеолита
1,8-2,0	A
2,3-3,0	X
3,0-6,0	Y
6,0-7,0	эрионит
8,3-10,7	морденит
10,0-35,0	L

Среди синтетических цеолитов наиболее распространенными являются цеолиты типов A, X, Y и ZSM [14].

Цеолиты типа A представляют собой низкокремнистые формы, которые разрушаются в кислой среде.

Для цеолитов типа X характерны широкие входные окна, которые обеспечивают возможность адсорбции различных типов углеводородов, органических соединений серы, меркаптанов, галогензамещенных углеводородов.

Наиболее распространенными катализаторами на основе цеолитов являются металлзамещенные Y-цеолиты в кислотной и основной форме, алюмофосфаты (APO-5 и APO-8) и алюмосиликаты (ZSM-5, ZSM-8, ZSM-11).

Металлзамещенные Y-цеолиты и алюмосиликаты типа ZSM-5 нашли широкое применение в качестве активных компонентов катализаторов в процессах крекинга, глубокого крекинга тяжелого сырья, гидродепарафинизации, гидрокрекинга [15].

Особенности строения высококремнеземных цеолитов обуславливают их избирательную адсорбцию к углеводородам, обеспечивая при этом доступ в основном парафиновым углеводородам нормального и слаборазветвленного строения. Цеолиты типа ZSM-5 характеризуются моноразмерными кристаллами цеолита с хорошо развитой внешней поверхностью, обедненной атомами алюминия [16]. Данная структура позволяет значительно понизить крекирующую активность катализаторов на основе данных цеолитов, уменьшить их закоксовывание при переработке сырья широкого фракционного состава, в том числе и для тяжелых углеводородов, для которых внутренний объем цеолитных каналов практически недоступен.

1.2.2 Катализаторы гидроочистки

Процесс гидроочистки заключается в химическом превращении органических веществ нефтяных фракций в присутствии водорода при высоком давлении и температуре.

Гидроочистка направлена на снижение содержания сернистых, азотистых, кислородных, металлоорганических и непредельных органических соединений, которые оказывают негативное влияние на качество товарных нефтепродуктов и на состояние окружающей среды [17].

В основном гидроочистке подвергаются бензиновые, керосиновые, дизельные фракции нефти, а также масляные фракции и вакуумный газойль.

В таблице 1.7 представлены технологические параметры процесса гидроочистки для различных нефтяных фракций [17].

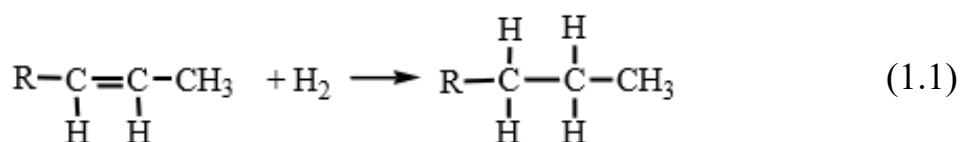
Таблица 1.7 – Технологические параметры процесса гидроочистки
(ВСГ – водородсодержащий газ)

Фракция нефти	Давление, МПа	Температура, °С	Содержание водорода в ВСГ, %	Кратность циркуляции водорода, м ³ /м ³	Катализатор
Бензиновая фракция	1,8-2,0	350-420	75	180-300	Ni-Mo
Керосиновая фракция	1,5-2,2	300-400	75	180-250	Co-Mo
Дизельная фракция	1,8-2,0	350-420	75	180-300	Ni-Mo

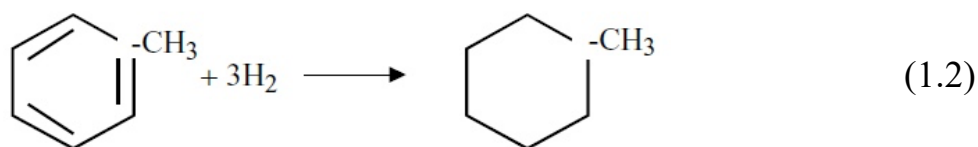
По сравнению с другими гидрогенизационными процессами, процесс гидроочистки проводится в сравнительно более мягких условиях, которые позволяют осуществлять превращения неуглеводородных компонентов.

В процессе гидроочистки протекают следующие химические реакции, характерные для углеводородных компонентов [18]:

- **насыщение непредельных углеводородов** – органические соединения, содержащие двойные связи, превращаются в их насыщенные гомологи.

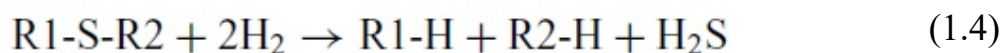
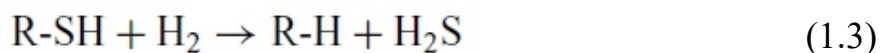


- **насыщение ароматических колец** или **гидродеароматизация** – ароматические соединения превращаются в нафтены.

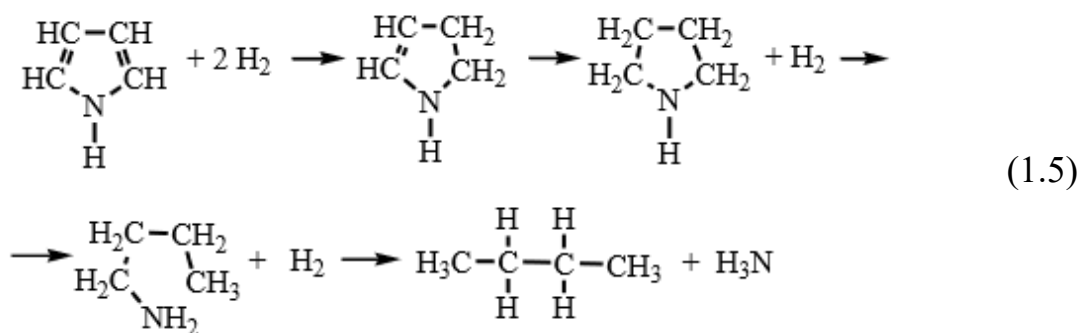


Для неуглеводородных компонентов протекают следующие химические реакции:

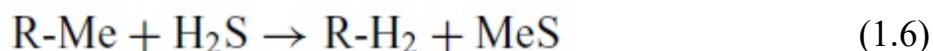
- **гидрогенолиз сернистых соединений** или **гидробессеривание** – органические соединения серы превращаются в водород.



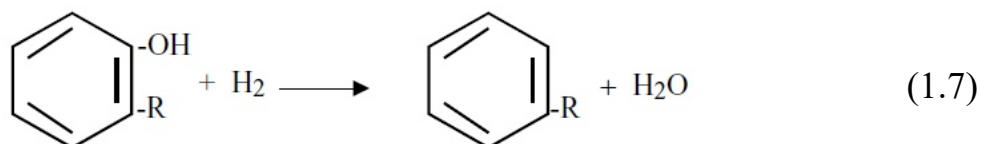
- **гидрогенолиз азотсодержащих соединений** или **гидродеазотирование** – органические азотные соединения превращаются в аммиак.



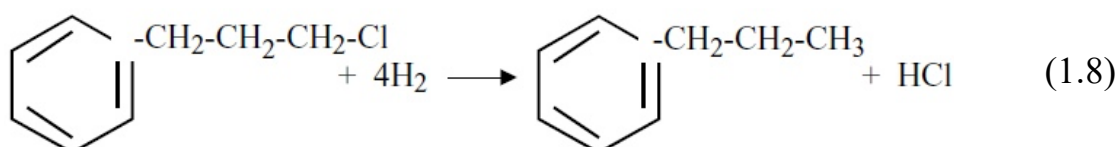
- **гидрометаллизация** – металлоорганические соединения превращаются в соответствующие сульфиды металлов.



- **гидрогенолиз кислородсодержащих соединений** – органические соединения кислорода превращаются в воду.



- **удаление галогенидов** – органические галогениды превращаются в галогениды водорода.



При гидроочистке применяют стационарные катализаторы такие как алюмокобальтмолибденовый (АКМ), алюмоникельмолибденовый (АНМ), алюмоникельмолибденкремниевый (АНМС), которые обладают высокой механической прочностью, устойчивостью к ядам и сохраняют активность в течение длительного времени.

Данные катализаторы представляют собой сложную систему, состоящую из активного компонента и промотора, равномерно распределенного по поверхности носителя. Носитель представляет собой оксид алюминия (Al_2O_3). Активным компонентом в катализаторах гидроочистки, как правило, является сульфид молибдена. В качестве промотора, который увеличивает активность активного компонента катализатора практически в 100 раз, используется кобальт (Co-Mo) либо никель (Ni-Mo).

1.3 Технологии получения моторных топлив переработкой на цеолитных катализаторах

В настоящее время все большее распространение для получения моторных топлив и их компонентов находят процессы каталитической переработки сырья на различных цеолитсодержащих катализаторах.

Основными преимуществами данных катализаторов являются их относительная дешевизна, экологичность, высокая термическая и химическая стабильность, возможность изменения свойств путем модификации, продолжительность работы, а также возможность их регенерации путем выжигания кокса.

Широкое применение цеолитные катализаторы нашли в качестве катализаторов облагораживания прямогонных бензиновых фракций. В работе [19] осуществлена переработка фракций н.к.-120 °С, н.к.-160 °С и н.к.-200 °С с пониженным содержанием серы на цеолитсодержащем катализаторе в H-форме марки ЦВК-ТМ-1327. Результаты проведенных

авторами исследований показали, что в результате каталитической переработки бензиновых фракций с различными пределами выкипания наблюдается значительное увеличение октанового числа, обусловленное реакциями изомеризации и алкилирования, протекающими на активных центрах катализатора.

В [20] показано, что в результате превращения прямогонной бензиновой фракции на модифицированном цеолите типа ультрасил возможно получать компонент бензинов с выходом 78,2 % мас. и ОЧИ 87 пунктов, что на 29 пунктов больше ОЧИ прямогонной фракции.

Результаты исследования, представленные в [21] показали, что при переработке низкосортной бензиновой фракции на цеолитном катализаторе, модифицированном редкоземельными элементами с добавками металлов II группы был получен высокооктановый экологически чистый бензин, который по составу удовлетворяет требованиям европейских стандартов.

Однако применение цеолитных катализаторов не ограничивается лишь процессами облагораживания бензинов. Авторами [22] был исследован процесс облагораживания «черных соляров» на деалюминированном термолитообработкой цеолите типа Y в условиях варьирования температуры процесса от 100 до 350 °C с шагом 50 °C. В работе установлено, что максимальный выход продуктов облагораживания «черного соляра» при минимальном коксообразовании и полном отсутствии отходящих газов достигается при температуре 300 °C. Полученные продукты также характеризуются облегченным фракционным составом, улучшенными низкотемпературными характеристиками и высоким цетановым числом.

В [23] показано, что безводородная переработка прямогонных дизельных фракций на цеолитном катализаторе типа ZSM-5 позволяет получать топлива, которые по физико-химическим и низкотемпературным

свойствам удовлетворяют требованиям для арктических марок дизельных топлив.

1.4 Технологии переработки растительного сырья, смесей нефтяного и растительного сырья на цеолитных катализаторах

Ввиду постоянного развития мировой экономики, которое сопровождается, в частности, увеличением потребления моторных топлив, наблюдается сокращение запасов природных полезных ископаемых. Возникает необходимость поиска новых, возобновляемых источников энергии, переработка которых позволит получать углеводороды, по своим свойствам и составу близкие углеводородам нефтяного происхождения.

Одним из перспективных направлений является переработка смесей нефтяного и растительного сырья на цеолитных катализаторах.

В работе [24] установлено, что присутствие растительного масла в смеси с вакуумным газойлем, при каталитической переработке на бицеолитном катализаторе увеличивает конверсию и выход бензиновой фракции и легких олефинов. Однако, также в работе показано, что при добавлении масла с высоким индексом непредельности (свыше 5 % мас.) наблюдается повышение образования коксовых отложений на катализаторе, а также снижение выхода целевых продуктов крекинга.

Авторы работы [25] исследовали процесс совместной переработки прямогонной дизельной фракции с 10 % об. подсолнечного масла, который был реализован на лабораторной каталитической установке при давлении 0,35 МПа, температуре 375 и 475 °С, объемной скорости подачи сырья 0, ч⁻¹. В работе показано, что совместная переработка дизельной фракции и растительного, позволяет получать продукты, соответствующие по своим низкотемпературным характеристикам требованиям для арктической (при 375 °С) и зимней (при 475 °С) марок дизельного топлива.

Многие зарубежные исследования направлены на производство углеводородов путем каталитической переработки только лишь возобновляемого сырья.

В работе [26] было изучено влияние моно- (SrO) и биметаллических (Cu-SrO) катализаторов на различных носителях (ZSM-5, Y-цеолит, активированный уголь, Al₂O₃ и ZrO₂) на состав продуктов, полученных при переработке смеси биомассы и отработанного растительного масла. Оксид стронция (SrO) создал дополнительные основные центры на носителях катализатора, что увеличило выход углеводородов за счет превращения кетонов, альдегидов и жирных кислот в моноароматические соединения. Катализатор типа Cu-SrO/ZSM-5 способствует вторичным реакциям крекинга и ароматизации и увеличивает выход углеводородов до 70,06 %. Также исследуемые биметаллические катализаторы показали высокую селективность по отношению к соединениям бензинового ряда. При переработке смеси биомассы и отработанного растительного масла выход углеводородов C₈-C₁₄ на катализаторе Cu-SrO/ZSM-5 составил 87,28 %, Cu-SrO/Y – 46,72 %, Cu-SrO/Al₂O₃ – 44,79 %, Cu-SrO/ZrO₂ – 33,94 %, Cu-SrO/активированный уголь – 27,34 %.

Авторы [27] исследовали возможность получения биотоплива из масла кизила на цеолитных катализаторах структурного типа ZSM-5, модифицированных 5 и 10 % Cu. Было установлено, что структура модифицированного катализатора существенно не изменилась, однако увеличилось число общих кислотных центров. Биотопливо, полученное в результате переработки на модифицированном катализаторе ZSM-5, состояло в основном из углеводородов с небольшим содержанием кислот, спиртов, сложных эфиров и кетонов. Наибольший выход углеводородов (89,07 %) был получен в результате переработки масла кизила на катализаторе, модифицированном 10 % Cu.

В [28] представлен способ переработки непищевого подсолнечного масла для получения биореактивного топлива на катализаторе ZSM-5 в реакторе с неподвижным слоем катализатора. Максимальный выход продукта переработки (30,1 %), состоящего в основном из углеводородов ряда C₇-C₄₃ и оксигенатов, был достигнут при температуре процесса 550 °С.

1.5 Гидропереработка растительного сырья

Различные исследования показывают, что переработка растительного сырья на цеолитных катализаторах, позволяет получать углеводороды нефтяного происхождения, однако их выход сравнительно невелик. Возможным решением данной проблемы может стать переработка растительного сырья в присутствии водорода.

В [29] показано, что в результате гидрогенизационной переработки на Pt/V₂O₃-Al₂O₃ катализаторе подсолнечного масла в присутствии H₂ при температурах 350, 380 и 400 °С, давлении 4,0 МПа, массовой скорости подачи сырья 1,0 ч⁻¹ и объемном соотношении H₂: сырьё равном 1400 н.м³: м³ наблюдалась полная гидродеоксигенация масла, в результате которой выход целевого продукта переработки составил 86,9-83,6 % мас. Углеводородный состав полученного продукта представлен n-парафинами, изопарафинами, циклопарафинами и олефинами, а выход дизельной фракции с пределами выкипания 150-350 °С составил 84,4-80,5 % мас.

В [30] был исследован гидрокрекинг масла церберы мангас на Ni-Zn/HZSM-5 катализаторе в условиях варьирования температуры процесса от 350 до 400 °С с шагом 25 °С. Процесс осуществлялся в реакторе периодического действия под давлением 20 (±5) бар, после пропускания H₂ в течение 1 часа. В ходе исследования было установлено, что с повышением температуры реализации процесса в продуктах переработки снижалось содержание парафинов нормального строения и увеличивалось содержание нафтеновых и ароматических углеводородов. Также авторами было показано, что преобладающими соединениями в полученных в результате

гидрокрекинга продуктах являются пентадекан и гептадекан, которые являются основными соединениями нефтяных дизельных топлив.

Авторы [31] исследовали возможность получения низкозастывающих дизельных топлив в результате гидрокрекинга масла микроводорослей на лабораторном проточном реакторе с неподвижным слоем катализатора при давлении 100 атм., температуре 420 °С, объемной скорости подачи сырья 5 ч⁻¹ и объемной скорости подачи Н₂ 1,76 нл/мин. Продукты гидрокрекинга скваленов и изопреноидов, входящих в состав масла, по мнению авторов, содержат в основном изопарафиновые углеводороды, которые обеспечивают хорошие низкотемпературные свойства. Данное предположение находит свое подтверждение при определении низкотемпературных свойств дизельной фракции с температурой кипения 160-350 °С, полученной в результате разделения продукта гидрокрекинга масла микроводорослей. Так, ПТФ дизельной фракции составила -38 °С, а температура застывания – -57 °С.

2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Объекты исследования

Объектом исследования в работе является процесс получения компонентов моторных топлив при переработке прямогонной дизельной фракции и смесей прямогонная дизельная фракция/рапсовое масло на цеолитном катализаторе.

В качестве сырья для переработки на цеолитном катализаторе была использована прямогонная дизельная фракция, полученная при ректификации нефти на одном из месторождений Восточной Сибири, а также смеси прямогонная дизельная фракция/рапсовое масло с содержанием масла 10 и 25 % об.

Продукты переработки смесей прямогонная дизельная фракция/рапсовое масло дополнительно были разделены на фракции: бензиновая фракция с пределами выкипания н.к.-180 °С, керосиновая фракция – 140-240 °С, дизельная фракция – 180 °С-к.к. [32].

В таблице 2.1 представлены исследуемые образцы, а также аббревиатуры, присвоенные им.

Таблица 2.1 – Исследуемые образцы

Сырьё	Аббревиатура
Прямогонная дизельная фракция	С-1
Рапсовое масло	РМ
Смесь прямогонной дизельной фракции и 10 % об. рапсового масла	С-2
Смесь прямогонной дизельной фракции и 25 % об. рапсового масла	С-3
Продукт	Аббревиатура
Продукт переработки прямогонной дизельной фракции	П-1
Продукт переработки смеси прямогонной дизельной фракции и 10 % об. рапсового масла	П-2
Продукт переработки смеси прямогонной дизельной фракции и 25 % об. рапсового масла	П-3
Бензиновая фракция, полученная из продукта переработки смеси прямогонной дизельной фракции и 10 % об. рапсового масла	БФ(П-2)

Продолжение таблицы 2.1

Продукт	Аббревиатура
Керосиновая фракция, полученная из продукта переработки смеси прямогонной дизельной фракции и 10 % об. рапсового масла	КФ(П-2)
Дизельная фракция, полученная из продукта переработки смеси прямогонной дизельной фракции и 10 % об. рапсового масла	ДФ(П-2)
Бензиновая фракция, полученная из продукта переработки смеси прямогонной дизельной фракции и 25 % об. рапсового масла	БФ(П-3)
Керосиновая фракция, полученная из продукта переработки смеси прямогонной дизельной фракции и 25 % об. рапсового масла	КФ(П-3)
Дизельная фракция, полученная из продукта переработки смеси прямогонной дизельной фракции и 25 % об. рапсового масла	ДФ(П-3)

Переработка сырья осуществлялась на цеолитном катализаторе структурного типа ZSM-5 марки КН-30, предоставленном ПАО «Новосибирский завод химконцентратов». Основные характеристики и состав катализатора представлены в таблице 2.2 [33].

Таблица 2.2 – Характеристики и состав цеолитного катализатора

Структурный тип	ZSM-5
Массовая доля цеолита, не менее, %	80
Диаметр гранул, мм	3,0-4,3
Удельная поверхность, м ²	300
Срок пробега до регенерации, ч	150-300
Насыпная плотность, г/см ³	0,60-0,86
Массовая доля в порошке цеолита, %:	
SiO ₂	90,0-97,6
Al ₂ O ₃	1,4-2,7
Na ₂ O	не более 0,1
Fe ₂ O ₃	0,35-1,25

2.2 Методика каталитической переработки

Процесс каталитической переработки был реализован на лабораторной каталитической установке «САТАСОН», которая предназначена для исследования процессов, протекающих в условиях повышенного давления в проточном реакторе при максимальном давлении 90 бар и максимальной температуре 700 °С.

Технологическая схема установки «САТАСОН» представлена на рисунке 2.1.

Для продувки системы, разбавления реакционной смеси, а также проведения теста на герметичность в реакторный блок из баллона подается азот. Выполняя манипуляции путем механического воздействия на ручку регулятора выставляется необходимое давление. Заданное давление контролируется по манометрам, которые установлены в корпусе регулятора и через вентиль запорный подается в реакторную систему.

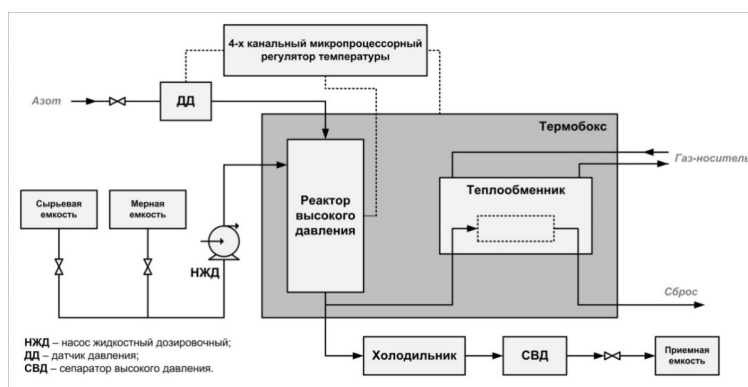


Рисунок 2.1 – Технологическая схема установки «САТАСОН»

На линии подачи газа установлен цифровой датчик давления, соединенный с прибором аварийной сигнализации и пружинным предохранительным клапаном. На датчике давления устанавливаются нижний и верхний предел давления, которые должны соответствовать рабочему давлению. Нижний предел устанавливаемого давления должен быть меньше рабочего давления на 10 %, а верхний предел больше на 10 % рабочего давления. В случае выхода давления за установленные границы внутренние контакты датчика давления замыкаются, что приводит к обесточиванию всей каталитической установки. Это позволяет предотвратить аварийную ситуацию. Предохранительный клапан также позволяет предотвращать аварийные ситуации в том случае, когда давление в реакторной системе превышает 100 бар.

Жидкий исходный реагент из мерной емкости подается в жидкостной насос. Мерная емкость объемом примерно 50 мл предназначена для

калибровки, проверки работоспособности жидкостного насоса и для проведения кратковременных экспериментов. Перед началом работы насоса рекомендуется удалить воздух из рабочей полости для исключения работы насоса на холостом ходу и дальнейшего его отказа. Процедуру обезвоздушивания необходимо проводить до тех пор, пока не будет достигнуто полное отсутствие воздуха в полости насоса. После проведения процедуры обезвоздушивания можно осуществлять подачу жидкого сырья в реакторную систему.

Реакторный блок состоит из реактора, электрической печи и системы обратных клапанов. Реактор представляет собой трубу из нержавеющей стали, с внутренним диаметром 12 мм, максимальным объемом загружаемого катализатора 10 см³. Обогрев реактора обеспечивает однозонная электрическая печь, позволяющая поддерживать температуру по слою катализатора с погрешностью ± 5 °С. Реакторный блок снабжен контролирующей термопарой, расположенной в слое катализатора. Регулирующая термопара устанавливается в печи реактора, через специальное отверстие в верхней части реактора, или в термопарном кармане, расположенном в испарителе реактора. Блок разделения продуктов состоит из проточного холодильника и сепаратора высокого давления.

Продукт, прошедший через слой катализатора в реакторном блоке, предварительно охлаждается в холодильнике, где происходит его частичная конденсация. Далее охлажденная смесь поступает в сепаратор. После разделения продуктов, в сепараторе высокого давления, конденсат сливается через регулирующий клапан в приемник конденсата. Газовые продукты выходят из сепаратора высокого давления через боковой штуцер, клапан запорный, редуктор обратного давления в систему аналитического контроля или, если анализ не требуется, в вытяжную вентиляцию. Для проведения хроматографических анализов парогазовой смеси

непосредственно из реактора в реакторной системе предусмотрены клапан запорный, предназначенный для открывания и запираания потока на анализ, клапан, регулирующий для регулирования потока через кран-дозатор. По ловушке-индикатору можно визуально контролировать количество смеси, проходящей через кран-дозатор.

Технические характеристики каталитической установки «САТАСОН» представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Технические характеристики установки «САТАСОН»

Параметр	Значение
Максимальное рабочее давление на установке, атм	90
Тип реактора	проточный
Диапазон температур реактора, °С	50-700
Размер зерен катализатора, мм	0,5-2,0
Внутренний диаметр реактора, мм	12,0
Диапазон регулирования расходов по водороду, н. мл/мин	10-500
Диапазон регулирования расходов по жидкости, н. мл/мин	0,01-9,99
Напряжение питания, В	220

Основными технологическим узлом установки является реактор с печью. Используемый реактор проточного типа позволяет работать в условиях повышенных давлений. Конструкция реактора представлена на рисунке 2.2.

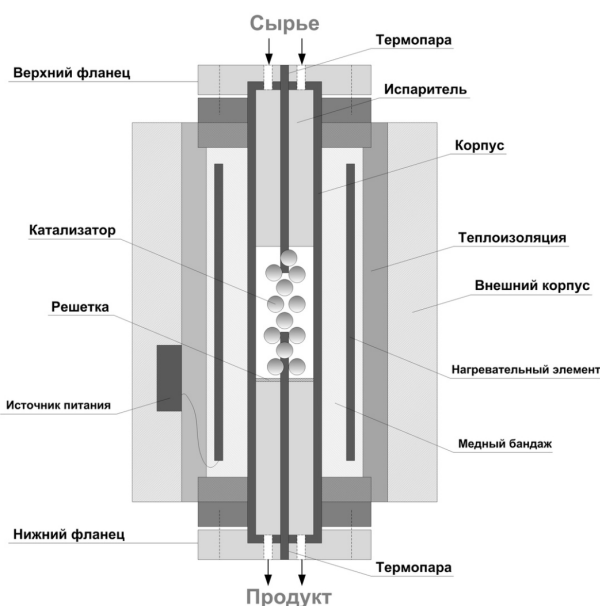


Рисунок 2.2 – Конструкция каталитического реактора установки «САТАСОН»

Верхний участок корпуса реактора равный 90 мм, используется для предварительного нагрева, испарения и подготовки исходной реакционной смеси. Для лучшей теплопередачи от стенки реактора к сырью в испарителе сделаны специальные каналы, увеличивающие поверхность теплообмена для испарения, подогрева и смешения исходных реагентов. В средней зоне реактора размещается катализатор. Загрузка осуществляется через верхний фланец реактора, выгрузка – через нижний.

Каталитическая переработка С-1 и С-2 проводилась при температуре 375 °С, давлении 0,35 МПа, скорости подачи сырья 0,5 ч⁻¹, а переработка С-3 при температуре 425 °С, давлении 0,35 МПа, скорости подачи сырья 0,5 ч⁻¹. Увеличение доли масла в смеси с прямогонной дизельной фракцией привело к необходимости повышения температуры реализации процесса, что обусловлено строением жирных кислот, входящих в состав рапсового масла.

2.3 Методики определения состава и свойств исследуемых образцов

2.3.1 Методика определения вязкости и плотности

Определение вязкости и плотности исследуемых образцов проводилось в соответствии с требованиями [34] и [35], соответственно, на вискозиметре Штабингера SVM 3000.

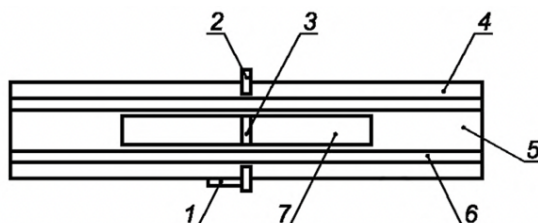


Рисунок 2.3 – Ячейка вискозиметра Штабингера:

- 1 – датчик на основе эффекта Холла; 2 – кольцо из мягкого железа; 3 – магнит;
4 – медный корпус; 5 – образец; 6 – трубка; 7 – ротор

Образец вводится в измерительную ячейку, которая поддерживает точно контролируемую и известную температуру. Измерительная ячейка представляет собой два вращающихся концентрических цилиндра и осциллирующую U-образную трубку (рисунок 2.3). Наружный цилиндр (трубка) ячейки приводится в движение электродвигателем с постоянной известной частотой. Внутренний цилиндр (ротор) на оси вращения удерживается центробежными силами образца, а в продольном положении – магнитом.

Определение динамической вязкости производится исходя из равновесной скорости вращения внутреннего цилиндра под действием напряжения сдвига исследуемого образца и индукционного тока.

Плотность определяется по резонансной частоте колебаний U-образной трубки.

Исходя из полученных значений динамической вязкости (μ) и плотности (ρ) производится расчет кинематической вязкости по формуле 2.1:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.1)$$

2.3.2 Методика определения серы

Массовая доля серы в исследуемых образцах определялась по методике, представленной в [36] на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном анализаторе Спектроскан S (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Спектроскан S

Исследуемый образец помещают в пучок рентгеновских лучей. Измеряется результирующее возбужденное характеристическое рентгеновское излучение. За результат испытания принимается измеренный сигнал счетчика импульсов, который сравнивается с сигналами, полученными при измерении калибровочных образцов. Концентрация серы в исследуемом образце рассчитывается автоматически.

2.3.3 Методика определения температуры помутнения, начала кристаллизации и застывания

В соответствии с [37] по методу А были определены температура начала кристаллизации и температура застывания, по методу Б – температура помутнения.

Проба исследуемого образца переносится в две пробирки с двойными стенками до кольцевой метки, каждая из которых плотно закрывается пробкой с термометром и металлической мешалкой (рисунок 2.5).

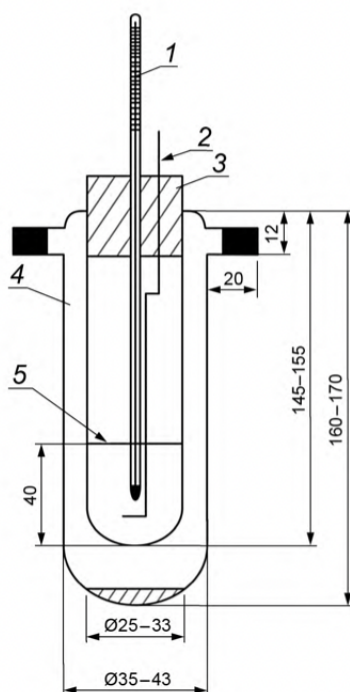


Рисунок 2.5 – Пробирка с двойными стенками и мешалкой:

1 – термометр; 2 – мешалка; 3 – пробка; 4 – пробирка; 5 – кольцевая метка

При определении температуры помутнения первую пробирку устанавливают в жидкостной низкотемпературный термостат, а вторую – контрольную – на штативе. Первую пробирку охлаждают в термостате, сравнивая прозрачность испытуемого образца при снижении температуры на каждый 1 °С с контрольной пробой, до тех пор пока в ней не появится муть. Температуру, при которой наблюдается образование мути, принимают за температуру помутнения исследуемого образца.

После определения температуры помутнения в той же пробирке, помещенной в низкотемпературный термостат, проводится определение температуры застывания топлива. Испытуемый образец продолжают охлаждать, фиксируя подвижность топлива под углом 45° при охлаждении на каждый 1 °С (рисунок 2.6). За температуру застывания принимают минимальную температуру, при которой топливо полностью теряет свою подвижность под углом 45° в течение минуты.

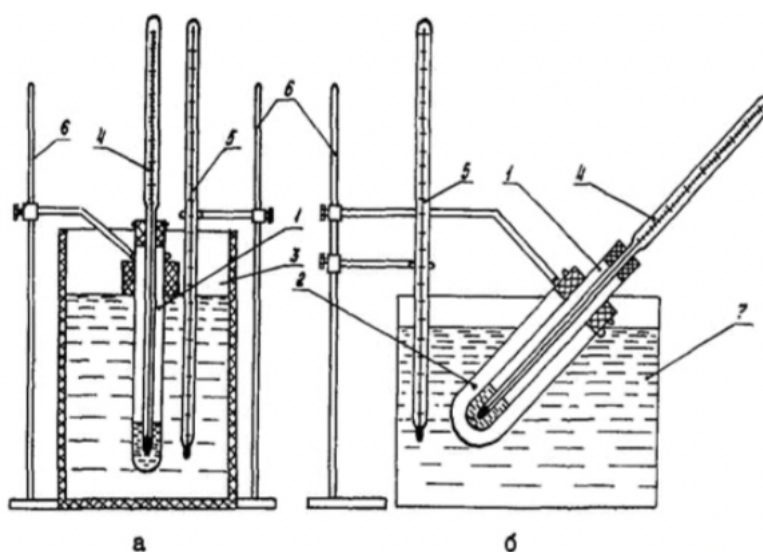


Рисунок 2.6 – Определение температуры застывания топлива

Температура начала кристаллизации для реактивных топлив определяется при последовательном охлаждении испытуемого образца с одновременным перемешиванием до тех пор, пока в топливе не появятся кристаллы, видимые невооруженным глазом.

2.3.4 Методика определения предельной температуры фильтруемости

Сущность метода определения предельной температуры фильтруемости по [38] заключается в определении способности исследуемого образца прокачиваться через металлический фильтр под вакуумом при последовательном снижении его температуры на 1 °С.



Рисунок 2.7 – Установка для определения предельной температуры фильтруемости

Испытание образца проводят до температуры, при которой кристаллы парафинов забивают топливный фильтр, а время наполнения пипетки превышает 1 °С в минуту либо топливо не стекает полностью в измерительный сосуд (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Пипетка установки определения предельной температуры фильтруемости

2.3.5 Методика определения фракционного состава

По методике, представленной в [39], был определен фракционный состав исследуемых образцов.

На рисунке 2.9 представлен прибор АРН-ЛАБ-03, используемый для определения фракционного состава в лабораторных условиях.



Рисунок 2.9 – Аппарат для разгонки нефтепродуктов

Сущность метода заключается в перегонке 100 см³ испытуемого образца при постоянных условиях, фиксировании температуры падения первой капли конденсата и температуры, соответствующей 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 95 % об. конденсата в приемном цилиндре.

2.3.6 Методика определения группового состава

Определение группового состава является сложным процессом и включает в себя следующие стадии [40]:

1. Разделение исследуемого образца на фракции н.к.-150 °С, 150-200 °С, 200-250 °С, 250-300 °С, 300 °С-к.к.;
2. Определение максимальной анилиновой точки для каждой фракции;
3. Адсорбция ароматических углеводородов на силикагеле;

4. Определение анилиновой точки для деароматизированной фракции методом равных объемов;

5. Расчет содержания парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов на основе полученных анилиновых точек.

Анилиновая точка – это температура, при которой наблюдается полное взаимное растворение анилина и испытуемой фракции нефтепродукта.

Сущность определения максимальной анилиновой точки заключается в смешении $1,0 \text{ см}^3$ исходной фракции и $0,2 \text{ см}^3$ анилина и определении температуры помутнения однородной смеси. Последовательное добавление анилина продолжают до тех пор, пока температура помутнения смеси не начнет снижаться. Максимальную температуру, при которой смесь фракции и анилина становится мутной, принимают за максимальную анилиновую точку.

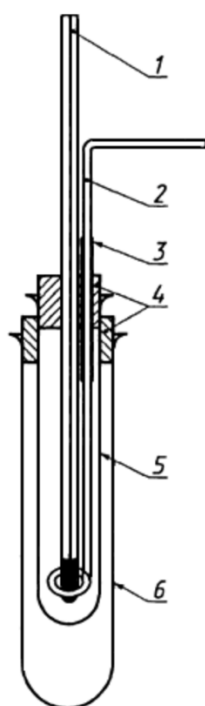


Рисунок 2.10 – Прибор для определения анилиновой точки:

- 1 – термометр; 2 – проволочная мешалка; 3 – стеклянная трубка; 4 – пробки;
5 – пробирка; 6 – рубашка

Адсорбцию ароматических углеводородов проводят в колонке, заполненной силикагелем, при использовании в качестве десорбирующей жидкости этиловый спирт. Деароматизированную фракцию отбирают с низа колонки в пробирки в количестве 0,5 см³ для первой пробирки и 0,3 см³ для последующих, определяя для каждой показатель преломления. При увеличении показателя преломления более чем на 0,0005, что показывает наличие во фракции ароматических углеводородов, адсорбцию прекращают.

Фракции, отличающиеся друг от друга по показателю преломления менее чем на 0,0005, сливают вместе и определяют для них анилиновую точку методом равных объемов.

За анилиновую точку методом равных объемов принимают температура помутнения смеси 1 см³ деароматизированной фракции и 1 см³ анилина.

По формуле 2.2 рассчитывают массовую долю ароматических соединений:

$$A = K \cdot (T - T_0) \quad (2.2)$$

где $(T - T_0)$ – депрессия анилиновой точки, зависящая от содержания ароматических соединений;

K – анилиновый коэффициент, соответствующий содержанию ароматических соединений, вызывающему понижению анилиновой точки деароматизированной фракции на 1 °С.

По формуле 2.3 рассчитывают массовую долю нафтеновых соединений:

$$N_1 = K_1 \cdot (T_1 - T) \quad (2.3)$$

где N_1 – содержание нафтенов в деароматизированной фракции, %;

K_1 – анилиновый коэффициент нафтеновых углеводородов;

T_1 – средняя максимальная анилиновая точка чистых парафиновых углеводородов.

Далее по формуле 2.4 производят пересчет содержания нафтеновых углеводородов в исходной фракции:

$$H = H_1 \cdot (100 - A)/100 \quad (2.4)$$

По формуле 2.5 определяют массовую долю парафиновых углеводородов:

$$П = 100 - (A + H) \quad (2.5)$$

2.3.7 Методика определения цетанового индекса

Цетановый индекс (ЦИ) исследуемых дизельных фракций продуктов переработки на цеолитном катализаторе был определен по методике, представленной в [41].

Сущность метода заключается в определении плотности при 15 °С, а также температуры выкипания 50 % об. испытуемого образца и расчете на основе полученных данных ЦИ по формуле 2.6.

$$\begin{aligned} \text{ЦИ} = & 454,74 - 1641,416 \cdot \rho_4^{15} + 774,74 \cdot (\rho_4^{15})^2 - 0,554 \cdot t \quad (2.6) \\ & + 97,803 \cdot (\lg t)^2 \end{aligned}$$

где ρ_4^{15} – плотность при 15 °С, г/см³;

t – температура кипения 50%-ной (по объему) фракции.

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Проблемы эффективного ресурсопотребления и ресурсосбережения являются наиболее актуальными в настоящее время. Практически каждый технологический процесс сопровождается потреблением первичных ресурсов, к которым относятся земля, вода, воздух, топливо (энергия), а также материальные и трудовые ресурсы. Важнейшим вопросом стратегического менеджмента является формирование и реализация стратегии ресурсосбережения на всех уровнях управления.

Оценка коммерческой ценности разработки – необходимое условие при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Данный раздел дипломной работы посвящен обоснованию целесообразности разработки процесса получения компонентов товарных топлив в результате каталитической переработки прямогонных дизельных фракций и растительных масел на цеолитном катализаторе.

Выполнение выпускной квалификационной работы проводилось в ИШПР НИ ТПУ ОХИ. Область применения – топливо для автотранспорта и различных видов техники, работающих в условиях низких температур.

5.1 Предпроектный анализ

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования




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

Продуктами исследования являются смеси прямогонной дизельной и рапсового масла с улучшенными низкотемпературными свойствами, а в качестве целевого рынка были представлены предприятия, на которых

будет осуществляться производство низкотемпературного топлива и его компонентов (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Сегментирование рынка

Размер НПЗ	Вид способов улучшения			
	НПЗ	Каталитическая депарафинизация	Каталитическая изомеризация	Каталитическая переработка на цеолитах
Крупное				
Среднее				
Маленькое				

 – Каталитическая депарафинизация
  – Каталитическая переработка на цеолитах
 – Каталитическая изомеризация

Как можно видеть из таблицы 5.1, из рассмотренных возможных способов переработки смесей прямогонных дизельных фракций и растительных масел с целью улучшения низкотемпературных свойств и возможности расширения сырьевого пула для производства топлив, каталитическую изомеризацию возможно реализовать только на крупных НПЗ, так как высокая стоимость используемых платиновых катализаторов экономически невыгодна для реализации на малотоннажном предприятии.

При использовании процесса каталитической депарафинизации необходимость в дорогостоящих катализаторах снижается, однако применение данного процесса не выгодно с экономической точки зрения для малых предприятий нефтеперерабатывающей промышленности.

Технология каталитической переработки смесевых дизельных топлив на цеолитах основана на использовании дешевых цеолитных катализаторов. Данную технологию можно внедрять как на существующие крупнотоннажные предприятия, так и на малые и средние по размерам НПЗ. Также, разработанную технологию возможно реализовывать на установках, которые уже имеются на предприятиях без конструктивных изменений. Таким образом, из рассмотренных процессов, наиболее рациональным для

переработки смесей прямогонных дизельных фракций и растительных масел каталитическая переработка на цеолитных катализаторах.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет оценить сильные и слабые стороны собственного проекта для обеспечения его успешной реализации на рынке.

Для проведения анализа конкурентных технических решений была составлена оценочная карта, в которой подобраны критерии для сравнения с учетом технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации рассматриваемых технологий получения низкозастывающих топлив (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Эффективность проекта	0,19	5	4	3	0,95	0,76	0,57
2.Удобство эксплуатации ^в	0,12	4	4	4	0,48	0,48	0,48
3.Энергосбережение	0,12	4	3	3	0,48	0,36	0,36
4.Безопасность	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
5.Экологичность	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
Экономические критерии оценки эффективности							
6.Перспективность рынка	0,10	5	4	3	0,5	0,4	0,3
7.Срок выхода на рынок	0,10	4	4	4	0,4	0,4	0,4
8.Наличие сертификации разработки	0,07	3	5	5	0,21	0,35	0,35
Итого	1	35	31	29	4,52	3,80	3,51

Как можно видеть, для каждого критерия оценки определяется вес. Суммарный вес всех критериев в сумме должен составлять 1. Технические и экономические критерии разрабатываемой и конкурентных технологий

оцениваются по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная позиция.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Итоговое значение показателя конкурентоспособности для разрабатываемой технологии составило 4,52, что говорит о перспективности проекта. Повысить конкурентоспособность научной разработки на рынке возможно при её сертифицировании. Также важно стремиться к сокращению сроков реализации проекта для доведения продукта до уровня, позволяющего выйти на рынок. Достигнуть поставленные цели возможно посредством большого количества лабораторных исследований, а также проведением пилотных испытаний на промышленных предприятиях.

5.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой многоэтапный инструмент стратегического анализа и планирования, который применяется для оценки явлений и факторов, оказывающих влияние на компанию или проект [42].

Первый этап включает в себя описание сильных и слабых сторон проекта, а также возможности и угрозы для реализации проекта.

На втором этапе выявляется соответствие сильных и слабых сторон проекта внешним условиям, которое позволяет определить необходимость стратегических изменений.

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Проведение эксперимента в лаборатории НИ ТПУ; 2. Мобильность рабочего места; 3. Новое направление исследования; 4. Глубокое изучение направления каждым участником, основанное на разделении обязанностей; 5. Возможность корректировки соотношения компонентов перерабатываемых смесей и параметров процесса. 	<p>Слабые стороны проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Недостаточное количество проведенных экспериментов; 2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров для работы с научной разработкой; 3. Отсутствие оборудования, необходимого для получения продукта и определения его свойств; 4. Погрешности при проведении исследований.
<p>Возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Использование инновационной структуры ТПУ; 2. Переход нефтеперерабатывающей отрасли на ресурсосберегающие и экологичные технологии; 3. Появление дополнительного спроса на продукт научных работ. 	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»</p> <p>Определение количества РМ, которое возможно вовлечь в смесь с прямогонной ДФ при каталитической переработке и выявление оптимальных условий процесса каталитической переработки.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Разработка научного исследования; 2. Помощь специалистов ТПУ в проведении исследований; 3. Использование оборудования ТПУ в проведении исследований; 4. Повышение квалификации кадров.
<p>Угрозы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие спроса на технологии производства; 2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции; 3. Опровержение полученных в ходе эксперимента результатов. 	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Сертификация продукции; 2. Изучение законодательной базы; 3. Продвижение программы с целью создания спроса на рынке. 	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Необходимо привлечение заказчиков; 2. Отсутствие спроса на разработки альтернативной энергетики вызвано недостаточным финансированием исследований со стороны государства.

Таким образом, проведенный SWOT-анализ позволил выявить сильные и слабые стороны проекта, а также угрозы и возможности при его реализации. Компенсировать слабые стороны проекта возможно за счет его возможностей, а также путем нейтрализации угроз с помощью сильных сторон проекта.

5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценка степени готовности проекта к коммерциализации осуществляется при заполнении соответствующего бланка, который содержит показатели степени проработанности проекта (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	5	5
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	3	3

Продолжение таблицы 5.4

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
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	5
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	5	5
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	62	62

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

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (5.2)$$

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

Согласно результатам, представленным в таблице 5.4, можно сделать вывод, разработка процесса получения компонентов моторных топлив при совместной переработке прямогонных дизельных фракций и растительных масел на цеолитных катализаторах является перспективной, поскольку суммарное количество баллов по всем направлениям составило 62.

Слабые стороны, выделенные в результате оценки проекта, показали, что для дальнейшего улучшения проработанности научного проекта

необходимо провести маркетинговые исследования рынков сбыта, разработать бизнес-план коммерциализации научной разработки, а также проработать вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок.

5.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Коммерциализацию результатов разработанного проекта по получению компонентов моторных топлив при совместной переработке прямогонных дизельных фракций и растительных масел на цеолитном катализаторе планируется осуществлять такими методами, как инжиниринг и передача интеллектуальной собственности.

Инжиниринг предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с разработкой технологии переработки смесей прямогонных дизельных фракций и растительных масел на цеолитном катализаторе, подбором оптимальных параметров для проведения процесса, разработке технологической схемы процесса а также лабораторных услуг, включающих проведение экспериментальных исследований по определению эксплуатационных характеристик сырья и продуктов каталитической переработки.

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

Данные методы коммерциализации будут наиболее продуктивными для реализации проекта.

5.2 Инициация проекта

Процессы инициации – процессы, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. Группа

процессов инициации позволяет определить изначальные цели и их содержание, а также зафиксировать изначальные финансовые ресурсы. Также определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ	Выпуск высококвалифицированных специалистов
Департамент нефтегазового комплекса	Получение компонентов моторных топлив в рамках выполнения стратегического плана развития РФ

В таблице 5.6 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 5.6 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Исследование процесса каталитической переработки дизельной фракции, растительного масла и их смесей на цеолитном катализаторе
Ожидаемые результаты проекта:	Получение компонентов моторных топлив с улучшенными физико-химическими и низкотемпературными свойствами
Критерии приемки результата проекта:	Представление сравнения результатов определения физико-химических и низкотемпературных свойств сырья и продуктов каталитической переработки
Требования к результату проекта:	Требование:
	Экспериментально определить состав и свойства прямогонной дизельной фракции, рапсового масла и их смесей
	Осуществить каталитическую переработку прямогонной дизельной фракции и смесей прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе
	Экспериментально определить состав и свойства продуктов каталитической переработки
	Разделить полученные продукты переработки на фракции, определить их свойства

В таблице 5.7 представлена организационная структура проекта, которая наглядно отражает роль каждого участника в реализации проекта, а также их функции и трудозатраты.

Таблица 5.7 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Киргина М.В., доцент ОХИ ИШПР ТПУ	Руководитель проекта	Составление и утверждение технического задания. Выбор темы исследования. Календарное планирование экспериментов. Оценка эффективности полученных результатов	600
2	Богданов И.А., ассистент ОХИ ИШПР ТПУ	Консультант по проекту	Проведение экспериментальной части исследования. Оценка эффективности полученных результатов	400
3	Соснина Д.В., магистрант ОХИ ИШПР ТПУ	Исполнитель по проекту	Поиск и изучение литературы по выбранной теме. Поиск методик, необходимых для проведения эксперимента. Проведение экспериментальной части исследования. Сравнение результатов, полученных в ходе экспериментов, выявление зависимостей. Оценка эффективности полученных результатов. Оформление ВКР.	1600
ИТОГО:				2600

В таблице 5.8 представлены ограничения проекта. Ограничения проекта представляют собой факторы, которые могут ограничить степень свободы участников проекта, а также те параметры проекта, которые не будут реализованы.

Таблица 5.8 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения / допущения
1. Бюджет проекта	387842,23
2. Источник финансирования	Грант РФФ № 23-23-00101
3. Сроки проекта	01.09.2021-31.05.2023
4. Дата утверждения плана управления проектом	01.09.2021
5. Дата завершения проекта	31.05.2023
6. Прочие ограничения и допущения*	Ограничение по времени использования каталитической установки.

5.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Процессы планирования – процессы, выполнение которых позволяет определить общее содержание работы, уточнить цели и разработать последовательность действий для достижения целей работы.

5.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) позволяет структурировать и определить детальное содержание всего проекта (Рисунок 5.1).

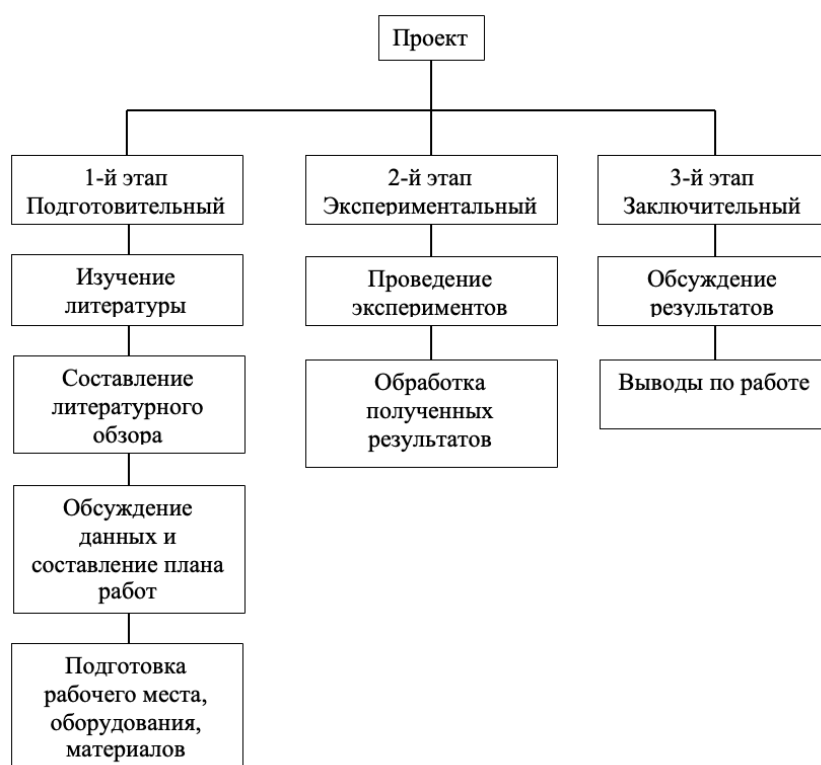


Рисунок 5.1 – Иерархическая структура работ проекта

5.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта был составлен календарный план проекта (таблица 5.9) и построен календарный график проекта (приложение Б).

Таблица 5.9 – Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Составление и утверждение технического задания	3	01.09.22	04.09.22	Киргина М.В.
Выбор направления исследования	3	05.09.22	08.09.22	Киргина М.В., Соснина Д.В.
Обзор современных исследований по выбранному направлению	50	09.09.22	24.10.22	Киргина М.В., Богданов И.А., Соснина Д.В.
Календарное планирование работ по теме	1	24.10.22	25.10.22	Киргина М.В., Богданов И.А., Соснина Д.В.
Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследования	20	26.10.22	14.11.22	Богданов И.А., Соснина Д.В.
Построение моделей и проведение экспериментов	90	15.11.22	15.02.23	Богданов И.А., Соснина Д.В.
Сопоставление результатов экспериментов с исследованиями	5	16.02.23	21.02.23	Киргина М.В., Соснина Д.В.
Оценка эффективности проведенных исследований	2	22.02.23	24.02.23	Киргина М.В.
Определение целесообразности проведения ВКР	5	25.02.23	02.03.23	Киргина М.В., Соснина Д.В.
Оформление ВКР	70	03.03.2023	12.05.23	Соснина Д.В.
Сдача работы на рецензию	15	13.05.2023	28.05.2023	Киргина М.В., Соснина Д.В.
Предзащита	1	30.05.2023	31.05.2023	Соснина Д.В.
Подготовка к защите дипломной работы	6	01.06.2023	07.06.2023	Соснина Д.В.
Защита дипломной работы	1	08.06.2023	08.06.2023	Соснина Д.В.

5.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета проекта должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его

выполнением. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- накладные расходы.

5.4.1 Расчет материальных затрат исследования

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле [42]:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}, \quad (5.3)$$

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы. Величина коэффициента (k_T) принимается как 15% от стоимости материала.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, представлены в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Материальные затраты проекта

Наименование	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Дизельное топливо	2 л	50	100
Масло растительное	1 л	80	80
Анилин	0,1 кг	220	220
Спирт этиловый	10 л	340	3400
Глицерин	1 л	200	200
Силикагель	5 кг	100	500
Термометр	4 шт.	1200	4800
Адсорбционная колонка	4 шт.	1200	4800
Пипетки градуированные на 1 см ³	10 шт.	45	450
Пробирки градуированные	80 шт.	20	1600
Цилиндры мерные на 100 см ³	5 шт.	200	1000
Стеклянные воронки	5 шт.	50	250
Колба Энглера	4 шт.	200	800
Пробирка с двойными стенками	2 шт.	1500	3000
Всего за материалы			21200
Транспортно-заготовительные расходы (5 %)			1060
Итого			22260

По данным из таблицы 5.10 можно судить о материальных затратах научно-исследовательской работы. Затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. в данной статье не учитываются, поскольку они включены в накладные расходы. Величина этих затрат учитывается как доля в коэффициенте накладных расходов.

5.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование

В данный раздел включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ в рамках конкретной тематики.

Все расчеты по приобретению спецоборудования, включая 15% на затраты по доставке и монтажу, представлены в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Термостат жидкостный низкотемпературный «КРИО-ВТ-05-01»	1	166,10	191,00
2	Плитка электрическая ВИТЕК	1	1,69	1,90
3	Аппарат для разгонки нефтепродуктов «АРНС-Э»	1	110,88	127,50
4	Аппарат для определения ПТФ	1	150,00	172,50
5	Вискозиметр-плотномер Штабингера SVM 3000	1	235,10	270,40
6	Плунжерный насос Eldex	1	300,00	345,00
Итого:				1108,3

Амортизация имеющегося оборудования рассчитывается по формуле:

$$\text{Амортизация оборудования} = \frac{\text{стоимость оборудования} \cdot \text{срок использования}}{\text{срок эксплуатации} \cdot 365}$$

Результаты расчета амортизации имеющегося оборудования представлены в таблице 5.12

Таблица 5.12 – Расчет амортизации имеющегося оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.	Срок эксплуатации оборудования, год	Срок использования, дни	Амортизация оборудования, тыс. руб.
1	Термостат жидкостный низкотемпературный «КРИО-ВТ-05-01»	191,00	10	20	1,05
2	Плитка электрическая ВИТЕК	1,90	5	10	0,01
3	Аппарат для разгонки нефтепродуктов «АРНС-Э»	127,50	10	20	0,70
4	Аппарат для определения ПТФ	172,50	5	20	1,89
5	Вискозиметр-плотномер Штабингера SVM 3000	270,40	5	10	1,48
6	Плунжерный насос Eldex	345,00	10	20	1,89
Итого:					7,02

5.4.3 Основная заработная плата исполнителей проекта

Заработная плата включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением исследования в рамках ВКР, (включая премии и доплаты) и дополнительную заработную плату. Также

включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада:

$$C_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (5.4)$$

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

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (5.5)$$

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

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (5.6)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

В таблице 5.13 приведен баланс рабочего времени каждого работника научно-технического исследования.

Таблица 5.13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер	Консультант
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней:			
– выходные;	44	48	48
– праздничные дни	14	14	14
Потери рабочего времени			
– отпуск	56	28	28
– невыходы по болезни	2	2	2
Действительный годовой фонд рабочего времени	249	273	273

В таблице 5.14 представлен расчет действительный рабочих дней.

Таблица 5.14 – Планирование работ

	Количество календарных дней	Количество рабочих дней
Научный руководитель	84	50
Инженер	267	181
Консультант	141	91

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p, \quad (5.7)$$

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

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

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2;

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

Оклад работников на 2023 год (в рублях) составляет:

1. Научный руководитель: 39300 руб.;
2. Студент: 26200 руб.
3. Консультант: 26200 руб.

Таблица 5.15 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_{mc} , руб.	k_{np}	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{раб}$, раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.	
Научный руководитель	39300	0,3	0,2	1,3	76635	3649,29	50	182464,29	
Инженер	26200	0,3	0,2	1,3	51090	2432,86	181	440347,14	
Консультант	26200	0,3	0,2	1,3	51090	2432,86	91	221390,00	
	Итого								844201,43

5.4.4 Дополнительная заработная плата исполнительской темы

Расчет дополнительной заработной платы проводится по следующей формуле [42]:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (5.8)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы принимаем 0,12 из диапазона 0,12-0,15;

- $Z_{доп}$ научного руководителя = 21895,71 руб.;
- $Z_{доп}$ студента = 52841,66 руб.;

- $Z_{доп}$ консультант = 26566,80 руб.;

В итоге заработная плата работников равна:

- Научного руководителя: $C_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп} = 182464,29 + 21895,71 = 204360,00$ руб.;
- Студента: $C_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп} = 440347,14 + 52841,66 = 493188,80$ руб.
- Консультанта: $C_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп} = 221390,00 + 26566,80 = 247956,80$ руб.

5.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (5.9)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, численно равный 30 %.

Информация об отчислениях во внебюджетные фонды представлена в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	182464,29	21895,71
Студент	440347,14	52841,66
Консультант	221390,00	26566,80
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,30	
Итого, руб.:	$Z_{внеб}$ руководителя = 61308,00; $Z_{внеб}$ студента = 147956,64; $Z_{внеб}$ консультанта = 74387,04	
В сумме, руб.:	283651,68	

5.4.6 Накладные расходы

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

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр}, \quad (5.10)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16 %. Результаты расчета представлены в таблице 5.17.

5.4.7 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат проводимой исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на исследовательский проект приведен в таблице 5.17.

Таблица 5.17 – Расчет бюджета затрат исследования

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты	22260	Пункт 5.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных работ (величина амортизации)	7020	Пункт 5.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	844201,43	Пункт 5.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	101304,17	Пункт 5.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	283651,68	Пункт 5.4.5
6. Накладные расходы	197788,37	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат	1433965,64	Сумма ст. 1-6

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

5.5.1 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 учитывается 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:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0 \quad (5.11)$$

где $ЧДП_{опt}$ – 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 является эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 5.18. При расчете рентабельность проекта составляла 20 %, норма амортизации – 10 %.

Себестоимость = 1433965,64 руб.

Выручка = Себестоимость*1,2 = 1720758,77 руб.

Операционные затраты, руб. = сырье + амортизация + ЗП(осн+доп) + соц.отч. + науч.ком + контр.расх + накл.расх = 35% от бюджета = 501887,98 руб.

Таблица 5.18 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	1720758,77	1720758,77	1720758,77	1720758,77
2	Итого приток, руб.	0	1720758,77	1720758,77	1720758,77	1720758,77
3	Инвестиционные издержки, руб.	-1433965,64	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб. (35% от бюджета)	0	501887,98	501887,98	501887,98	501887,98
5	Налогооблагаемая прибыль(1-4)	0	1218870,80	1218870,80	1218870,80	1218870,80
6	Налоги 20 %, руб. (5*20%)	0	243774,16	243774,16	243774,16	243774,16
7	Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	975096,64	975096,64	975096,64	975096,64
8	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.(чистая прибыль + амортизация)	-1433965,64	982116,64	982116,64	982116,64	982116,64
9	Коэффициент дисконтирования при $I = 20\%$ (КД)	1	0,833	0,694	0,578	0,482
10	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.(8*9)	-1433965,64	818103,16	681588,95	567663,42	473380,22
11	\sum ЧДД		2540735,74 руб.			
12	Итого NPV, руб.		1106770,10 руб.			

Коэффициент дисконтирования был рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1+i)^t} \quad (5.12)$$

где: i – ставка дисконтирования, 20 %;

t – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 1106770,10 рублей ($NPV > 0$), что говорит об эффективности разработанного проекта.

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

$$PI = (\sum_{t=1}^n \frac{ЧДД_t}{(1+i)^t}) / I_0 > 1 \quad (5.13)$$

где: ЧДД – чистый денежный поток, руб.;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

Таким образом, PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{2540735,74}{1433965,64} = 1,8 > 1 \quad (5.14)$$

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

Внутренняя ставка доходности (IRR) – значение ставки, при которой чистый дисконтированный доход проекта обращается в 0. 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 равны 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 5.19.

Таблица 5.19 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	- 1433965,64	982116,64	982116,64	982116,64	982116,64	
Коэффициент дисконтирования							
2	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	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	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	
	1,0	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
Дисконтированный денежный поток, руб.							
3	0,1	- 1433965,64	892744,03	811228,34	737569,60	670785,67	1678361,99
	0,2	- 1433965,64	818103,16	681588,95	567663,42	473380,22	1106770,11
	0,3	- 1433965,64	755247,70	581413,05	446863,07	343740,82	693299,00
	0,4	- 1433965,64	701231,28	500879,49	357490,46	255350,33	380985,91
	0,5	- 1433965,64	655071,80	436059,79	289724,41	194459,09	141349,45
	0,6	- 1433965,64	613822,90	383025,49	239636,46	150263,85	-47216,94
	0,7	- 1433965,64	577484,58	329009,07	199369,68	109997,06	-218105,24
	0,8	- 1433965,64	546056,85	303474,04	167941,95	93301,08	-323191,72
	0,9	- 1433965,64	516593,35	272046,31	143389,03	75622,98	-426313,97
	1,0	- 1433965,64	491058,32	245529,16	122764,58	60891,23	-513722,35

Из таблицы следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается и становится отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из таблицы получаем, что IRR составляет 0,59. При $IRR > i$, проект эффективен.

При этом запас экономической прочности проекта составил 39 %.

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 – времени, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 5.20).

Таблица 5.20 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ($i = 0,20$), руб.	-1433965,64	818103,16	681588,95	567663,42	473380,22
2	То же нарастающим итогом, руб.	-1433965,64	-615862,48	65726,47	633389,89	1106770,11
3	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{диск} = 1 + (615862,48/681588,95) = 1,90$ 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 5.21).

Таблица 5.21 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Отсутствие информации о возможности получения углеводов, близких по составу нефтяным углеводам из возобновляемого сырья	Получены данные о групповом составе продуктов переработки смесей прямогонных дизельных фракций и растительных масел
Недостаточное количество данных о возможности вовлечения растительных масел в каталитическую переработку без использования ВСГ	Осуществлена каталитическая переработка на цеолитном катализаторе смесей прямогонной дизельной фракции и растительного масла

Продолжение таблицы 5.21

ДО	ПОСЛЕ
Необходимость вовлечения расширения сырьевого пула для производства низкозастывающих топлив	Расширен сырьевой пул на 25 % для получения низкозастывающих топлив

5.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (5.15)$$

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

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

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

При расчетах получаем:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.р}} = \frac{1433965,64}{2705582} = 0,53$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{A1}} = \frac{1705582,78}{2705582} = 0,63$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{A2}} = \frac{2705582}{2705582} = 1,00$$

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

$$I_{ri} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (5.16)$$

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

i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

$$I_{p-исп.1} = 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 = 4,6$$

$$I_{p-аналог 1} = 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 = 4,0$$

$$I_{p-аналог 2} = 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 = 3,6$$

Расчет интегрального показателя проводился на основании данных, представленных в таблице 5.22.

Таблица 5.22 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует увеличению выхода целевых продуктов	0,2	5	5	4
2. Удобство в проведении исследования на практике в силу его простоты, не требующей специального обучения	0,15	5	4	4
3. Экономичность	0,2	4	3	3
4. Энергосбережение	0,2	4	4	3
5. Надежность	0,25	5	4	4
ИТОГО	1	23	20	18

Интегральный показатель эффективности данного варианта исполнения разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финр}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}, I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} \quad (5.17)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_p = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} \quad (5.18)$$

где: $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{\text{финр}}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{\text{финр}}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Ниже представлена таблица, определяющая эффективность проекта по сравнению с аналогами.

Таблица 5.23 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,53	0,63	1,00
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	4,0	3,6
3	Интегральный показатель эффективности	8,68	6,35	3,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	2,41	1,76	1,00

Выводы по разделу:

В данном разделе подробно разобран коммерческий потенциал данного исследования и его перспективы на рынке. Проведена оценка ресурсоэффективности проделанной работы. Описан и составлен план необходимого комплекса работ.

Также представлены результаты планирования исследовательской работы.

С позиции финансовой и ресурсной эффективности, данные показатели позволяют сделать вывод, о том, что выбранный вариант исполнения эффективен, поскольку чистая текущая стоимость (NPV) составила 1106770,10 рублей (NPV>0), индекс доходности PI = 1,8 (PI > 1), внутренняя ставка доходности IRR = 59 % (IRR > i), срок окупаемости PP_{дск} = 1,90 года.

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

6.1 Введение

Развитие мировой экономики приводит к значительному росту спроса на природные полезные ископаемые, которые, в частности, являются сырьем для производства моторных топлив. Однако наряду с увеличением потребления полезных ископаемых наблюдается истощение их запасов. Добываемые нефти, как правило, относятся к категории тяжелых нефтей, что значительно усложняет и удорожает их добычу и переработку. Возникает необходимость поиска новых возобновляемых источников энергии, из которых возможно получать углеводороды по своему составу и свойствам близкие углеводородам нефтяного происхождения.

Кроме того, географическое положение большей части территории Российской Федерации, а также активное освоение арктических территорий и северного морского пути обуславливает необходимость в производстве низкозастывающих топлив, в частности зимних и арктических дизельных топлив, которые обеспечат бесперебойную работу транспортных средств и различных видов техники в условиях низких температур.

Сущность данной работы – исследование процесса совместной переработки смесей дизельного топлива и растительного масла с целью получения низкозастывающих компонентов моторных топлив.

6.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В данном разделе рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства, а также их особенности, применимые к условиям выполнения научно-исследовательской работы по процессу совместной переработки на цеолитном катализаторе смесей прямогонной ДФ и растительного масла с целью получения компонентов моторных топлив.

6.2.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации, N 197-ФЗ каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ. Глава 21 работник, занятый на тяжелых работах, работах с

вредными или опасными и иными особыми условиями труда, имеет право получать повышенную ставку оплаты труда.

6.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочим местом выполнения исследования совместной переработки на цеолитном катализаторе смесей прямогонной дизельной фракции и растительного масла с целью получения низкозастывающих компонентов моторных топлив является химическая 129 и 134 лаборатория 2 корпуса отделения химической инженерии Томского политехнического университета. Лаборатория оборудована вентиляцией, водоснабжением и канализацией. Полы выполнены из жаростойкой и гидрофобной керамогранитной плитки. Лабораторный столы имеют гладкие поверхности из материалов, не сорбирующих вредные вещества, и легко поддаются очистке.

Работа с вредными и легколетучими веществами производится в вытяжных шкафах, обеспечивающих изоляцию работающих от опасной среды. Помещение хорошо освещено как дневным, так и искусственным светом.

В условиях химических лабораторий в задачи производственной санитарии входит предупреждение профессиональных отравлений, предотвращение воздействия на работающих ядовитых и раздражающих веществ, производственной пыли, шума и других вредных факторов, определение предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в воздухе производственных помещений, разработка и эксплуатация средств индивидуальной защиты, системы вентиляции, отопления и рационального освещения [43].

6.3 Производственная безопасность

6.3.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

При работе в лаборатории используются вредные вещества, ПДК в воздухе рабочей зоны, класс опасности и влияние на организм человека этих веществ указаны в таблице 6.1 [44-50].

Таблица 6.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Наличие вредных веществ (Таблица 6.2)		+	+	ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности
2.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
3.Недостаточное освещение рабочей зоны	+	+	+	ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений
4.Повышенный уровень шума		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
5.Поражение электрическим током		+	+	ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
6. Возникновение пожара		+	+	ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность»

Таблица 6.2 – Вредные вещества и их характеристика

Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Воздействие на организм
Дизельное топливо	300	4	Высокие концентрации паров алифатических предельных углеводородов действуют на центральную нервную систему человека и оказывают наркотическое воздействие при вдыхании. Дизельное топливо раздражает слизистые оболочки и кожу человека, вызывая их поражение и кожные заболевания. Длительный контакт с дизельным топливом приводит к изменению функции центральной нервной системы и повышает заболеваемость органов дыхания.
Этиловый спирт	1000	4	При остром отравлении этиловым спиртом отмечается рвота, замедление дыхания и сердечных сокращений, потеря сознания.
Анилин	0,1	2	Оказывает воздействие на центральную нервную систему, на кровь, обладает способностью проникать в организм через неповрежденную кожу, а также при вдыхании его паров.

Для снижения риска химического воздействия в лаборатории разрешается работать только в спецодежде.

Также в лаборатории запрещается хранить и принимать пищу либо использовать лабораторную посуду для хранения и приема пищи.

При работе с химическими реактивами в воздух попадают ядовитые пары, которые при превышении их ПДК приводят к острому отравлению организма человека. Исключить повышенную загазованность и возможность отравления возможно при ведении опасных химических экспериментов при включенной приточно-вытяжной вентиляции или в вытяжном шкафу.

6.3.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки на производстве

1) Отклонения показателей микроклимата

В процессе труда в производственном помещении человек находится под влиянием определенных метеорологических условий, или микроклимата – климата внутренней среды этих помещений.

Показателями, характеризующими микроклимат, являются температура воздуха, относительная влажность, скорость движения воздуха, а также интенсивность теплового облучения.

Метеорологические условия производственной среды регламентируются [45].

Температура воздуха в лаборатории поддерживается:

- 1) в холодный период 16-22 °С;
- 2) в теплый период 18-25 °С.

Влажность воздуха не должна превышать 40 – 60 %, скорость движения воздуха 0,2 м/с.

Создание необходимого микроклимата в лаборатории и предотвращение различного рода переохлаждений и перегреваний организма осуществляются посредством проведения различных защитных мероприятий. К таким мероприятиям относятся системы местного кондиционирования воздуха и отопления, применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), регламент времени работы и т. д.

В летний период проветривание помещений осуществляется с использованием вентиляторов. В зимнее время обогрев помещений производят центральным отоплением.

2) Недостаточное освещение рабочей зоны

Важное значение для создания благоприятных условий труда имеет рациональное освещение помещений и рабочих установок. В лаборатории применяется естественное и искусственное освещение. Недостаточное

освещение рабочего места затрудняет проведение работ, ведет к снижению производительности труда и может явиться причиной несчастных случаев.

Естественное освещение характеризуется изменяющейся освещенностью на рабочих местах в течение суток года, которое обуславливается световым климатом.

Искусственное освещение помогает избежать многих недостатков, характерных для естественного освещения, и обеспечить оптимальный световой режим.

В лаборатории, где проводилось исследование, используется комбинированная система освещения, то есть общее искусственное и местное освещение. Согласно [46] освещенность соответствует допустимым нормам.

Для обеспечения нормативной освещенности в помещениях осуществляется чистка стекол оконных рам и светильников, а также производится замена перегоревших световых приборов.

3) Повышенный уровень шума

Производственные процессы в химической лаборатории сопровождаются шумом.

Длительное воздействие шума оказывает раздражающее воздействие на работника, способствует возникновению психических и физиологических нарушений, а также приводит к снижению остроты слуха, повышению кровяного давления, утомлению центральной нервной системы, ослаблению внимания, увеличению количества ошибок в действиях рабочего, снижению производительности труда. Воздействие шума также является причиной возникновения профессиональных заболеваний.

Для химической лаборатории характерны следующие виды шумов:

– механический шум (при трении, биении узлов и деталей машин делительных воронок, механической мешалки);

– аэрогидродинамический шум (возникает в аппаратах при больших скоростях движения газа или жидкости и при резких направлениях их движения и давления).

По данным [47] в лабораторных помещениях максимальный уровень шума 75 дБа. В таблице 6.3 приведен допустимый уровень шума в лабораторных помещениях.

Таблица 6.3 – Допустимый уровень шума в лабораторных помещениях

	Уровни звукового давления, дБа, в октановых полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, дБа
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Лабораторные помещения	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

К мероприятиям, позволяющим минимизировать негативное воздействие шума относят:

- подбор рабочего оборудования, которое обладает меньшими шумовыми характеристиками;
- использование специальных технических средств, таких как защитные экраны, кожухи, звукопоглощающие покрытия и изоляция;
- ограничение продолжительности и интенсивности воздействия шума до приемлемого уровня риска;
- обязательное предоставление работникам средств индивидуальной защиты органов слуха.

В качестве средств индивидуальной защиты для органов слуха от шума и вибрации применяются наушники, беруши.

Наушники понижают негативное воздействие в диапазоне от 7 до 38 дБ с частотой от 125 до 8000 Гц.

Вкладыши (беруши) закрывают слуховой проход. Этот вид защиты дешев, компактен и применим ко многим ситуациям, но не всегда

результативен, так как снижает уровень негативного воздействия всего на 5-20 дБ.

4) Поражение электрическим током

Электробезопасность установки должна обеспечиваться в любых возможных нормальных и аварийных эксплуатационных ситуациях. Источниками электрической опасности являются: оголенные части проводов или отсутствие изоляции, отсутствие заземления, замыкания, статическое напряжение.

Электробезопасность обслуживающего персонала и посторонних лиц обеспечивается посредством выполнения следующих мероприятий: соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей путём ограждения токоведущих частей, применение блокировки аппаратов, предупреждающих надписей, применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений.

Для отключения электросетей на вводах должны быть рубильники или другие доступные устройства. Отключение всей сети, за исключением дежурного освещения, производится общим рубильником.

В целях предотвращения электротравматизма запрещается работать на неисправных электрических приборах и установках, перегружать электросеть, переносить и оставлять без надзора включенные электроприборы, загромождать подходы к электрическим устройствам.

5) Возникновение пожара

Все помещения химической лаборатории должны соответствовать требованиям пожарной безопасности и иметь средства пожаротушения согласно [50].

Лаборатория должна быть оснащена пожарными кранами с пожарными рукавами. В каждом рабочем помещении должны быть в наличии огнетушители и песок, а в помещениях с огнеопасными и

легковоспламеняющимися веществами – дополнительные средства пожаротушения.

В помещениях лаборатории и в непосредственной близости от них (в коридорах, под лестницами) запрещается хранить горючие материалы и устанавливать предметы, загромождающие проходы и доступ к средствам пожаротушения. Курить разрешается только в отведенном и оборудованном для этой цели месте. Без разрешения ответственного за противопожарные мероприятия запрещается установка лабораторных и нагревательных приборов, пуск их в эксплуатацию, переделка электропроводки.

Запрещается эксплуатация неисправных лабораторных и нагревательных приборов. После окончания работы необходимо отключить электроэнергию, закрыть газовые баллоны и воду во всех помещениях.

При возникновении пожара необходимо принять все меры по его локализации и тушению. Для этого должен быть обеспечен проход между лабораторными столами, выходы недопустимо загромождать различными предметами. При возникновении возгорания все сотрудники должны действовать четко, в соответствии с заранее разработанной программой согласно инструкции.

Для ликвидации небольших очагов пожара на территории объекта имеются первичные средства тушения пожара – огнетушители, ящики с песком, асбестовые одеяла (кошмы).

6.4 Экологическая безопасность

В настоящее время производственная деятельность человека связана с использованием природных ресурсов, которые охватывают большинство химических элементов.

Охрана окружающей среды является одной из наиболее актуальных проблем человечества.

Именно химические соединения представляют собой наиболее распространенные загрязнители среди существующих загрязнителей окружающей среды.

Существует два основных подхода к проблеме защиты окружающей среды:

- путем максимально эффективной очистки;
- путем создания замкнутой безотходной технологической системы.

Для лаборатории наиболее оптимален первый вариант защиты окружающей среды.

6.4.1 Воздействие на атмосферу

Так как в условиях лаборатории выбросы в атмосферу характеризуются незначительным содержанием вредных газов и паров, то для очистки достаточно использование адсорбционного фильтра. Для этого в лаборатории на выходе вентиляционных труб установлены перегородки, поверх которых уложен слой адсорбента. В качестве адсорбента наиболее часто используют активированный уголь. Воздушный поток, пройдя через слой адсорбента, очищается от вредных газов и паров [51].

6.4.2 Воздействие на гидросферу

Отработанные органические сливы собирают в специальную герметично закрытую тару, которая по мере заполнения отправляется на обезвреживание и утилизацию. Все выбросы в канализацию также необходимо подвергать обезвреживанию и очистке. Для этих целей все отработанные кислотные и щелочные сливы собираются в отдельную для каждого вида тару, затем подвергаются нейтрализации и только после этого они могут быть слиты в канализацию с их предварительным 10-кратным разбавлением водопроводной водой [52].

6.4.3 Воздействие на литосферу

Твердые отходы собираются в специальные сборники и транспортируются для утилизации. Наиболее опасными отходами для литосферы в условиях лаборатории являются отработанные люминесцентные лампы, относящиеся к 1 классу опасности. Их утилизация производится согласно [52].

6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Одним из важнейших факторов в безопасности жизнедеятельности людей является готовность к чрезвычайным ситуациям. Чрезвычайная ситуация представляет собой совокупность обстоятельств, которые сопровождаются разрушениями зданий, сооружений, материальных ценностей, поражением и гибелью людей.

6.5.1 Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения

Чрезвычайные ситуации (ЧС), которые могут быть инициированы объектом исследования подразделяют на [53]:

- ЧС, связанные с авариями (пожары, взрывы, выброс вредных веществ в окружающую среду);
- ЧС, связанные со стихийными бедствиями (землетрясения, наводнения, ураганы, смерчи, снежные бури, заносы, оползни, обвалы, эпидемии, лесные и торфяные пожары);
- ЧС конфликтного характера (вооруженные нападения; волнения в отдельных районах, вызванные выступлениями экстремистских групп; применение оружия массового поражения).

Наиболее вероятной ЧС при проведении исследований в рамках ВКР является возникновение пожара в 129 и 134 аудитории, 2 корпуса ТПУ. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами

предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные источники возникновения пожара:

- неисправность нагревательных элементов;
- несоблюдение мер предосторожности;
- работа с ЛВЖ.

Мероприятия по предотвращению чрезвычайных ситуаций представлены ниже согласно ГОСТ 22.0.04-97:

- Систематическая диагностика оборудования;
- Обслуживание и ремонт вентиляторов, вытяжных шкафов, осветительных приборов;
- Наличие современных сигнализаций и приборов контроля в помещении для исследования;
- Систематический инструктаж персонала;
- Планы поддержания рабочего состояния лаборатории после чрезвычайной ситуации или катастрофы;
- План реагирования в случае террористических действий.

Вывод:

Проанализировав условия труда на рабочем месте, где выполнялось исследование совместной переработки на цеолитном катализаторе смесей прямогонной дизельной фракции и растительного масла с целью получения низкозастывающих компонентов моторных топлив, можно сделать вывод, что исследовательская лаборатория, удовлетворяет предъявляемым требованиям и нормам. Соблюдение техники безопасности и правил работы в химической лаборатории не окажет влияния на здоровье работника при выполнении работ.

Микроклимат, освещение и уровень шума в химической лаборатории удовлетворяют требованиям, а воздействие вредных и опасных факторов сведено к минимуму.

При соблюдении описанных в работе правил утилизации отходов, деятельность в химической лаборатории не будет представлять опасности для экологической обстановки окружающей среды.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

№	Наименование работы, ее вид	Характер работы	Выходные данные	Объем, стр.	Соавторы
Публикации в ведущих научных изданиях, входящих в базы Scopus или Web of Science: 2					
1	The use of Biodiesel as a Blend Component of Commercial Diesel Fuels	Печатная	Chemistry for Sustainable Development, 2020, Vol. 28, № 2, pp. 128-137.	10	Belozertseva N.E. Bogdanov I.A. Torchakova O.M. Belinskaya N.S. Kirgina M.V.
2	Investigation of co-processing of the straight-run diesel fraction and sunflower oil over a zeolite catalyst of ZSM-5 type	Печатная	Chemistry for Sustainable Development, 2022, Vol. 30, № 4, pp. 419-425.	7	Sosnina D.V. Belozertseva N.E. Altynov A.A. Bogdanov I.A. Kirgina M.V.
Публикации в ведущих рецензируемых научных Российских и зарубежных журналах и изданиях, входящих в перечень ВАК: 3					
1	Исследование влияния параметров синтеза биодизельного топлива реакций переэтерификации на выход и ключевые характеристики продукта	Печатная	Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института, 2021, № 56, с. 23-29.	7	Белозерцева Н.Е. Богданов И.А. Бальжанова А.Т. Киргина М.В.
2	Использование биодизеля в качестве смесового компонента товарных дизельных топлив	Печатная	Химия в интересах устойчивого развития, 2020, Т. 28, № 2, с. 131-140.	10	Белозерцева Н.Е. Богданов И.А. Бальжанова А.Т. Торчакова О.М. Белинская Н.С. Киргина М.В.
3	Получение компонентов моторных топлив переработкой смесей прямогонной дизельной фракции и подсолнечного масла на цеолитном катализаторе	Печатная	Мир нефтепродуктов, 2023, № 1, с. 50-55.	6	Соснина Д.В. Алтынов А.А. Богданов И.А. Киргина М.В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Neftegas.RU. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <https://magazine.neftegaz.ru>, Доступ свободный. – Дата обращения: 01.03.2023 г.

2. ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/563/56325.pdf>, Доступ свободный. – Дата обращения: 09.03.2023 г.

3. ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту (с изменениями на 19 декабря 2019 года)» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902307833>, Доступ свободный. – Дата обращения: 05.03.2023 г.

4. NEWCHEMISTRY.ru. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=912, Доступ свободный. – Дата обращения: 05.03.2023 г.

5. ГОСТ 511-2015 «Топливо для двигателей. Моторный метод определения октанового числа» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/612/61277.pdf>, Доступ свободный. – Дата обращения: 09.03.2023 г.

6. ГОСТ 8226-2015 «Топливо для двигателей. Исследовательский метод определения октанового числа» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293757/4293757792.pdf>, Доступ свободный. – Дата обращения: 09.03.2023 г.

7. ГОСТ 305-2013 «Топливо дизельное Технические условия» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL:

<https://docs.cntd.ru/document/1200107826>, Доступ свободный. – Дата обращения: 10.03.2023 г.

8. Нектон Сиа [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: https://necten-sea.ru/articles/dizelnye_topлива/, Доступ свободный. – Дата обращения: 10.03.2023 г.

9. ГОСТ 10227-2013 «Межгосударственный стандарт. Топлива для реактивных двигателей. Технические условия» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293774/4293774595.htm>, Доступ свободный. – Дата обращения: 10.03.2023 г.

10. МосНефтеТранс. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: https://www.mos-nt.ru/info/articles/kerosin?ELEMENT_ID=4574, Доступ свободный. – Дата обращения: 10.03.2023 г.

11. Елисеева, И.С. Становление и развитие производства синтетических цеолитов: автореф. дис. на соиск. степ.канд. тех. наук. / Елисеева Ирина Сергеевна; Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа, 2003. 24 с.

12. РеалСорб [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <https://realsorb.com/tseolity---kipyaschie-kamni>, Доступ свободный. – Дата обращения: 20.03.2023 г.

13. ChemToday Химический портал [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <https://vk.com/@chemtoday-ceolity>, Доступ свободный. – Дата обращения: 20.03.2023 г.

14. SORBIS GROUP [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <https://sorbis-group.com/articles/tseolity.html>, Доступ свободный. – Дата обращения: 20.03.2023 г.

15. Белая, Л.А. Термостабильность цеолитов Y и ZSM-5 в матрицах различного состава / Л.А. Белая, В.П. Доронин, Т.П. Сорокина,

Т.И. Гуляева // Журнал прикладной химии. – 2009. – Т. 82, № 2. – С. 243-249.

16. Коробицына, Л.Л. Синтез и свойства сверх-высококремнеземных цеолитов типа ZSM-5 / Л.Л. Коробицына, Л.М. Величкина, А.В. Восмериков, В.И. Радомская, Е.С. Астапова, Н.В. Рябова, О.А. Агапьятова // Журнал неорганической химии. – 2008. – Т. 53, № 2. – С. 209-214.

17. Агибалова, Н.Н. Технология и установки переработки нефти и газа : учебное пособие / Н.Н. Агибалова. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 308 с. – Текст : непосредственный.

18. Солодова, Н.Л. Гидроочистка топлив : учебно-методическое пособие / Н.Л. Солодова, Н.А. Терентьева. – Казань : Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2008. – 63 с. – Текст : непосредственный.

19. Зеленская, Е.А. Исследование процесса облагораживания низкооктановых углеводородных фракций на органически модифицированных цеолитных катализаторах / Е.А. Зеленская, Ю.П. Ясьян, И.С. Завалиская, В.В. Илларионова // Экспозиция Нефть Газ. – 2011. – № 5/Н. – С. 48-49.

20. Мамедов, С.Э. Каталитические свойства биметаллических Zr-Zn-Содержащих ультрасилов в превращении прямогонной бензиновой фракции / С.Э. Мамедов, Н.Ф. Ахмедова, С.Э. Мирзалиева, А.З. Мамедова [и др.] // Башкирский химический журнал. – 2019. – Т. 26, № 1. – С. 54-58.

21. Туктин, Б.Т. Безводородное облагораживание низкосортных бензиновых фракций на модифицированных цеолитсодержащих катализаторах / Б.Т. Туктин, Л.Б. Шаповалова, А.А. Омарова, Г.Д. Закумбаева // Серия химии и технологии. – 2012. – № 5. – С. 60-66.

22. Махмудова, Л.Ш. облагораживание фракций «черного соляра» на деалюминированных цеолитах / Л.Ш. Махмудова, Х.Х. Ахмадова,

З.А. Абдулмежидова, Ж.Т. Хадисова // Интеграционные процессы в науке в современных условиях. – 2018. – С. 159-162.

23. Bogdanov, I Hydrogen-free upgrading on ZSM-5 type zeolite catalyst – efficient way to obtain low-freezing diesel fuel / I. Bogdanov, A.A. Altynov, M.V. Kirgina // South African journal of chemical engineering. – 2022. – Vol. 41. – P. 1-9.

24. Липин, П.В. Закономерности совместных превращений вакуумных газойлей с растительными маслами на бицеолитных катализаторах крекинга / П.В. Липин, О.В. Потапенко, Т.П. Сорокина, В.П. Доронин // Нефтехимия. – 2019. – Т. 59, № 4. – С. 367-377.

25. Sosnina, D.V. Investigation of co-processing of the straight-run diesel fraction and sunflower oil over a zeolite catalyst of ZSM-5 type / D.V. Sosnina, N.E. Belozertzeva, A.A. Altynov, I.A. Bogdanov, M.V. Kirgina // Chemistry for sustainable development. – 2022. – Vol. 30, No 4. – P. 408-414.

26. Dada, T.K. Probing the effect of Cu-SrO loading on catalyst supports (ZSM-5, Y-zeolite, activated carbon, Al₂O₃, and ZrO₂) for aromatics production during catalytic co-pyrolysis of biomass and waste cooking oil / T.K. Dada, A. Vuppaladadiyam, A.X. Duan, R. Kumar, E. Antunes // Bioresource Technology. – 2022. – Vol. 360. – 127515.

27. Li, C. Catalytic cracking of Swida wilsoniana oil for hydrocarbon biofuel over Cu-modified ZSM-5 zeolite / C. Li, J. Ma, Z. Xiao [et. al] // Fuel. – 2018. – Vol. 218. – P. 59-66.

28. Zhao, X. Catalytic cracking of non-edible sunflower oil over ZSM-5 for hydrocarbon bio-jet fuel / X. Zhao, L. Wei, J. Julson, Q. Qiao, A. Dubey, G. Anderson // New Biotechnology. – 2015. – Vol. 23, I. 2. – P. 300-312.

29. Чумаченко, Ю.А. Гидрокрекинг растительных масел на боратсодержащих катализаторах как перспективный способ получения высококачественных дизельных топлив / Ю.А. Чумаченко, А.В. Лавренов,

Е.А. Булучевский, Т.И. Гуляева, А.Б. Арбузов // Химия нефти и газа. – 2015. – С. 696-700.

30. Marlinda, L. Biofuel from hydrocracking of Cerbera manghas oil over Ni-Zn/HZSM-5 catalyst / L. Marlinda, D.H. Prajitno, A. Roesaydi [et. al] // Ecletica Quimica Journal. – 2022. – Vol. 47, No. 1. – P. 17-39.

31. Антонов, И.А. Гидрокрекинг изопреноидов масла микроводорослей с получением зимних и арктических микроводорослей / И.А. Антонов, М.С. Котелев, Д.С. Афонин, П.А. Гущин, Е.В. Иванов // Башкирский химический журнал. – 2012. – Т. 19, № 4. – С. 170-172.

32. Ахметов, С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учебное пособие для вузов / С.А. Ахметов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Недра, 2013. – 541 с.

33. ПАО «Новосибирский завод химических концентратов». Официальный сайт. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <http://www.nccr.ru>, Доступ свободный – Дата обращения: 15.09.2021 г.

34. ГОСТ 33-2016. Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости. – М.: Издательство стандартов, 2017. – 34 с.

35. EN ISO 12185:1996 «Crude petroleum and petroleum products – Determination of density – Oscillating U-tube method (Нефть сырая и нефтепродукты. Определение плотности. Осцилляционный метод в U-образной трубке)». [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL <https://www.standards.ru/document/3630660.aspx>, Доступ свободный – Дата обращения: 15.03.2023 г.

36. ГОСТ 32139-2013. Нефть и нефтепродукты. Определение содержания серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии (с Поправкой). – М.: Стандартинформ, 2014. – 18 с.

37. ГОСТ 5066-2018. Топлива моторные. Методы определения температур помутнения, начала кристаллизации и замерзания. – М.: Стандартиформ, 2019. – 7 с.

38. ГОСТ 22254-92. Топливо дизельное. Метод определения предельной температуры фильтруемости на холодном фильтре. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 15 с.

39. ГОСТ 2177-99. Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 23 с.

40. Определение группового и структурно-группового составов нефтяных фракции: Методические указания к лабораторной работе для студентов химико-технологического факультета / сост. О.С. Сухина, А.И. Левашова – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 22 с.

41. ГОСТ 27768-88 «Топливо дизельное. Определение цетанового индекса расчетным методом» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL <https://docs.cntd.ru/document/1200008532>, Доступ свободный – Дата обращения: 15.03.2023 г.

42. Гаврикова, Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев // Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2014. – 36 с.

43. Захаров Л.Н. Техника безопасности в химических лабораториях / Л.Н. Захаров. – Ленинград: Химия, 1991. – 336 с.

44. ГОСТ 12.1.007-76 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2)» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL <http://docs.cntd.ru/document/5200233>, Доступ свободный – Дата обращения: 04.04.2023.

45. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL <http://docs.cntd.ru/document/901704046>, Доступ свободный – Дата обращения: 04.04.2023.

46. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение (с Изменением № 1)» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL <http://docs.cntd.ru/document/871001026>, Доступ свободный – Дата обращения: 04.04.2023.

47. ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL <http://docs.cntd.ru/document/1200118606>, Доступ свободный – Дата обращения: 04.04.2023.

48. ГОСТ 12.1.002-84 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL <http://docs.cntd.ru/document/5200271>, Доступ свободный – Дата обращения: 04.04.2023.

49. ГОСТ Р 12.1.019-2009 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL <http://docs.cntd.ru/document/1200080203>, Доступ свободный – Дата обращения: 04.04.2023.

50. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением № 1)» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL <http://docs.cntd.ru/document/1200071156>, Доступ свободный – Дата обращения: 04.04.2023.

51. ГОСТ 17.2.3.02-78 «Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL <http://docs.cntd.ru/document/1200001355>, Доступ свободный – Дата обращения: 04.04.2023.

52. ГОСТ Р 52105-2003 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация и методы переработки ртутьсодержащих отходов. Основные положения» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL <http://docs.cntd.ru/document/1200032452/>, Доступ свободный – Дата обращения: 04.04.2023.

53. ГОСТ Р 22.0.02-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL <http://docs.cntd.ru/document/1200139176>, Доступ свободный – Дата обращения: 04.04.2023.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Part 2

Objects and methods of research

(Literature review)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ12	Соснина Дарья Вячеславовна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОХИ ИШПР	Киргина Мария Владимировна	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОИЯ	Уткина Анна Николаевна	к.филол.н.		

Томск – 2023

2.1 Object of research

The object of research in this work is the process of obtaining components of motor fuels during the processing of straight-run diesel fraction and mixtures of straight-run diesel fraction/rapeseed oil on a zeolite catalyst.

The raw material for processing on a zeolite catalyst was the straight-run diesel fraction obtained during the rectification of oil at one of the fields in Eastern Siberia, as well as a mixture of straight-run diesel fraction/rapeseed oil with an oil content of 10 and 25% vol.

The table 2.1 shows the raw materials and processed products on the zeolite catalyst, as well as the abbreviations assigned to them.

Table 2.1 – Raw materials and products of catalytic processing

Raw materials	Abbreviation
Straight-run diesel fraction	F-1
Rapeseed oil	RO
A mixture of straight-run diesel fraction and 10% vol. rapeseed oil	F-2
A mixture of straight-run diesel fraction and 25% vol. rapeseed oil	F-3
Product	Abbreviation
Straight-run diesel fraction	P-1
A mixture of straight-run diesel fraction and 10% vol. rapeseed oil	P-2
A mixture of straight-run diesel fraction and 25% vol. rapeseed oil	P-3
Gasoline fraction of the product of processing a mixture of straight-run diesel fraction and 10% vol. rapeseed oil	GF(P-2)
Kerosene fraction of the product of processing a mixture of straight-run diesel fraction and 10% vol. rapeseed oil	KF(P-2)
Diesel fraction of the product of processing a mixture of straight-run diesel fraction and 10% vol. rapeseed oil	DF(P-2)

Gasoline fraction of the product of processing a mixture of straight-run diesel fraction and 25% vol. rapeseed oil	GF(P-3)
Kerosene fraction of the product of processing a mixture of straight-run diesel fraction and 25% vol. rapeseed oil	KF(P-3)
Diesel fraction of the product of processing a mixture of straight-run diesel fraction and 25% vol. rapeseed oil	DF(P-3)

The products of processing of mixtures of straight-run diesel fraction / rapeseed oil were additionally divided into fractions: gasoline fraction with a boiling range of i.b.p.-180 ° C, kerosene fraction – 140-240 ° C, diesel fraction – 180-e.b.p. °C.

The processing of raw materials was carried out on a zeolite catalyst of the structural type ZSM-5 grade KN-30, provided by PJSC «Novosibirsk Plant of Chemical Concentrates». The main characteristics and composition of the catalyst are presented in the table 2.2 [33].

Table 2.2 – Characteristics and composition of the zeolite catalyst

Structural type	ZSM-5
Mass fraction of zeolite, at least, %	80
Pellet diameter, mm	3.0-4.3
Specific surface area, m ²	300
Mileage before regeneration, h	150-300
Bulk density, g/cm ³	0.60-0.86
Mass fraction in zeolite powde, %:	
SiO ₂	90.0-97.6
Al ₂ O ₃	1.4-2.7
Na ₂ O	no more 0.1
Fe ₂ O ₃	0.35-1.25

2.2 Method of catalytic processing

The process of catalytic processing was implemented on the laboratory catalytic plant "CATACON". This unit is designed for processes running under high pressure conditions in a flow reactor at a pressure not exceeding 90 bar and a temperature not exceeding 700 °C.

The technological scheme of the CATACON plant is shown in the figure 2.1.

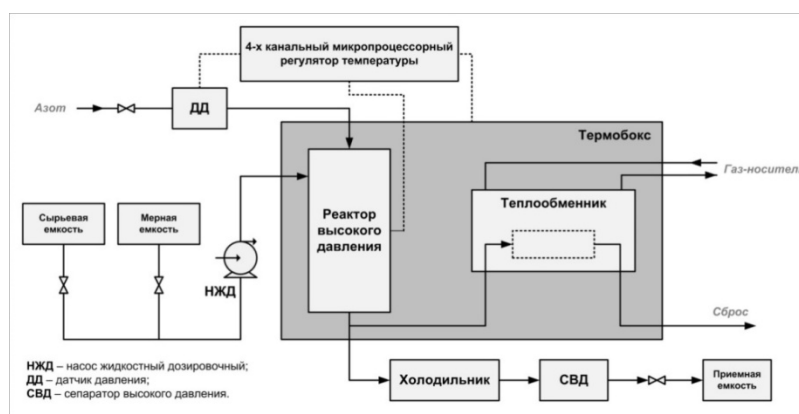


Figure 2.1 – Technological scheme of the plant "CATACON"

Nitrogen is supplied to the reactor block to purge the system, dilute the reaction mixture, and check the plant for leaks. Manually, the pressure regulator sets the pressure value necessary for the implementation of the process. The pressure is controlled by pressure gauges installed in the regulator housing and is supplied to the reactor system through a shut-off valve.

A digital pressure sensor is installed on the gas supply line, connected to an alarm device and a spring-loaded safety valve. The lower pressure limit (less than the working pressure by 10%) and the upper limit (more than the working pressure by 10%) are set on the pressure sensor, which must correspond to the working pressure. In the event that the pressure value exceeds the established limits, the entire catalytic installation is de-energized, which makes it possible to prevent an emergency situation.

Raw material from the measuring tank is fed into the liquid pump. The approx. 50 ml volumetric jar is designed for calibration, fluid pump performance

testing, and short-term experiments. Before starting the operation of the pump, it is necessary to carry out its complete deaeration in order to exclude the operation of the pump at idle and its possible failure. At the end of the deaeration of the pump, it is possible to supply raw materials to the reactor system.

The reactor system consists of a flow type reactor (figure 2.2), an electric furnace, and a check valve system.

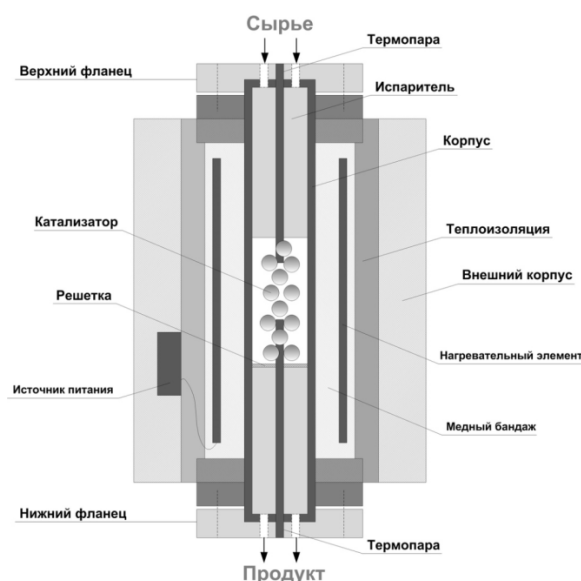


Figure 2.2 – The design of the catalytic reactor of the CATACON plant

The reactor is a stainless steel pipe with an inner diameter of 12 mm and a maximum catalyst loading volume of 10 cm³. The reactor is heated by a single-zone electric furnace, which makes it possible to maintain the temperature over the catalyst bed with an error of $\pm 5^{\circ}\text{C}$. The reactor block is equipped with a control thermocouple located in the catalyst bed. The control thermocouple is installed in the reactor furnace, through a special hole in the upper part of the reactor, or in a thermocouple pocket located in the reactor evaporator. The product separation unit consists of a once-through cooler and a high pressure separator.

The product that has passed through the catalyst bed is pre-cooled in the reactor block, where it is partially condensed. Next, the cooled mixture enters the separator. After separation of the products, in the high pressure separator, the condensate is drained through the control valve into the condensate receiver. Gas

products leave the high-pressure separator through a side fitting, a shut-off valve, a back pressure reducer into an analytical control system or into exhaust ventilation. To carry out chromatographic analyzes of the gas-vapor mixture directly from the reactor, the reactor system is provided with a shut-off valve designed to open and close the flow for analysis, a control valve to control the flow through the dosing valve. Using the indicator trap, you can visually control the amount of the mixture passing through the dosing tap.

The table 2.3 shows the technical characteristics of the catalytic plant "CATACON".

Table 2.3 – Technical characteristics of the installation "CATACON"

Parameter	Value
Maximum operating pressure on the uni, atm	90
Reactor type	flow
Reactor temperature range, °C	50-700
Catalyst grain size, mm	0.5-2.0
Reactor inner diameter, mm	12.0
Hydrogen flow control range, ml/min	10-500
Fluid flow control range, ml/min	0.01-9.99
Supply voltage, W	220

The refining process on a laboratory catalytic unit was preceded by calcining the catalyst for 8 h at a temperature of 500°C in a stream of nitrogen.

The catalytic processing of F-1 and F-2 was carried out at a temperature of 375°C, a pressure of 0.35 MPa, a feed rate of 0.5 h⁻¹, and the processing of F-3 at a temperature of 425°C, a pressure of 0.35 MPa, raw material feed rate 0.5 h⁻¹.

2.3 Methods for determining the composition and properties of test samples

2.3.1 Method for determining viscosity and density

The determination of the viscosity and density of the studied samples was carried out in accordance with the requirements of [34-35], respectively, on a Stabinger viscometer SVM 3000.

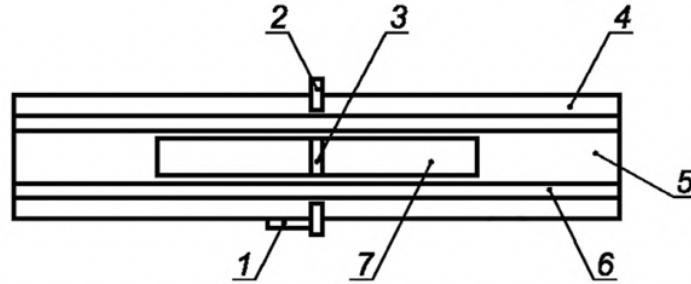


Figure 2.3 – Stabinger viscometer cell: 1 – hall effect sensor; 2 – soft iron ring; 3 – magnet; 4 – copper case; 5 – sample; 6 – a tube; 7 – rotor

The sample is introduced into the measuring cell, which maintains a precisely controlled and known temperature. The measuring cell consists of two rotating concentric cylinders and an oscillating U-tube (Figure 2.3). The outer cylinder (tube) of the cell is driven by an electric motor with a constant known frequency. The inner cylinder (rotor) on the axis of rotation is held by the centrifugal forces of the sample, and in the longitudinal position by a magnet.

The determination of dynamic viscosity is based on the equilibrium speed of rotation of the inner cylinder under the action of the shear stress of the test sample and the induction current.

The density is determined from the resonant frequency of the U-tube.

Based on the obtained values of dynamic viscosity (μ) and density (ρ), the kinematic viscosity is calculated according to formula 2.1:

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.1)$$

2.3.2 Sulfur determination method

The mass fraction of sulfur in the test samples was determined according to the method presented in [36] on an energy-dispersive X-ray fluorescence analyzer Spectroscan S (figure 2.4).



Figure 2.4 – Spectroscan S

The test sample is placed in an X-ray beam. The resulting excited characteristic X-ray radiation is measured. The measured signal of the pulse counter is taken as the test result, which is compared with the signals obtained by measuring the calibration samples. The sulfur concentration in the test sample is calculated automatically.

2.3.3 Method for determining the cloud point, the chilling point and pour point

In accordance with [37] according to method A, the chilling point and pour point were determined, according to method B - the cloud point.

The test sample is transferred into two double-walled test tubes up to the annular mark, each of which is tightly closed with a stopper with a thermometer and a metal stirrer (figure 2.5).

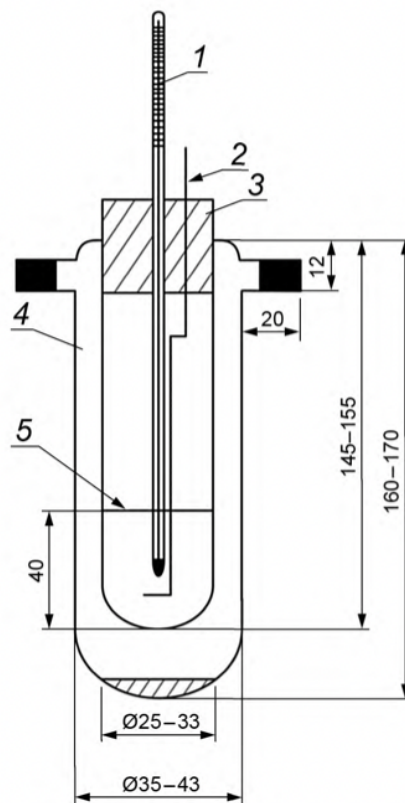


Figure 2.5 – Double-walled tube with stirrer: 1 – thermometer; 2 – mixer; 3 – cork; 4 – test tube; 5 – ring mark

When determining the cloud point, the first test tube is placed in a liquid low-temperature thermostat, and the second, the control tube, is placed on a stand. The first tube is cooled in a thermostat, comparing the transparency of the test sample with a decrease in temperature for every 1 °C with a control sample, until turbidity appears in it. The temperature at which turbidity is observed is taken as the cloud point of the test sample.

After determining the cloud point in the same test tube placed in a low-temperature thermostat, the pour point of the fuel is determined. The test sample is continued to be cooled, fixing the mobility of the fuel at an angle of 45° for every 1°C cooled (figure 2.6). The pour point is the minimum temperature at which the fuel completely loses its mobility at an angle of 45° within a minute.

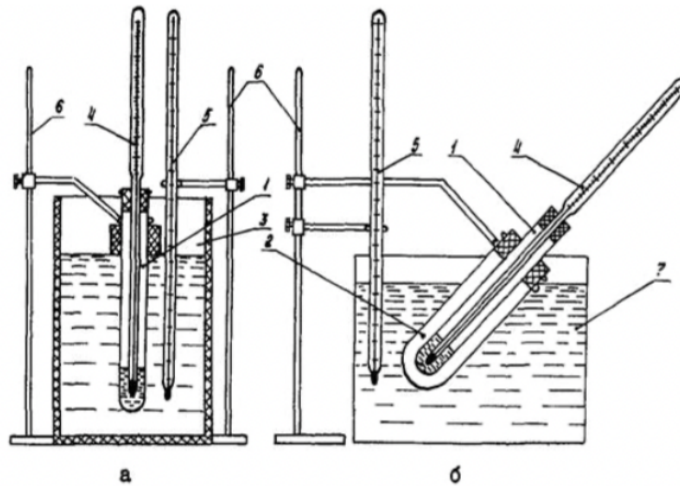


Figure 2.6 – Determination of the pour point of fuel

The chilling point for jet fuels is determined by sequentially cooling the test sample with simultaneous stirring until crystals visible to the naked eye appear in the fuel.

2.3.4 Method for determining the cold filter plugging point

The essence of the method for determining the cold filter plugging point according to [38] consists in determining the ability of the test sample to be pumped through a metal filter under vacuum with a gradual decrease in its temperature by 1 °C.



Figure 2.7 –Installation for determining the cold filter plugging point

The sample is tested to a temperature at which the paraffin crystals clog the fuel filter, and the pipette filling time exceeds 1 minute, or the fuel does not drain completely into the measuring vessel (figure 2.8).



Figure 2.8 – Pipette set to determine the cold filter plugging point

2.3.5 Method for determining the fractional composition

According to the methodology presented in [39], the fractional composition of the studied samples was determined.

The figure 2.9 shows a device used to determine the fractional composition in the laboratory.



Figure 2.9 – Apparatus for distillation of petroleum products

The essence of the method lies in the distillation of 100 cm³ of the test sample under constant conditions, fixing the falling temperature of the first drop of condensate and the temperature corresponding to 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 and 95% vol. condensate in the receiving cylinder.

2.3.6 Methodology for determining the group composition

As a result of determining the group composition of samples according to the method [40] the content of paraffinic, naphthenic and aromatic hydrocarbons in them was determined by the method of determining aniline points.

The aniline point is the temperature at which complete mutual dissolution of aniline and the tested oil fraction is observed.

Determining the group composition is a complex process and includes the following steps:

6. Separation of the test sample into fractions i.b.p.-150 °C, 150-200 °C, 200-250 °C, 250-300 °C, 300 °C-e.b.p.
7. Determination of the maximum aniline point for each fraction;
8. Adsorption of aromatic hydrocarbons on silica gel;
9. Determination of the aniline point for the dearomatized fraction by the equal volume method;
10. Calculation of the content of paraffinic, naphthenic and aromatic hydrocarbons based on the obtained aniline points.

The essence of determining the maximum aniline point is to mix 1 cm³ of the initial fraction and 0.2 cm³ of aniline and determine the cloud point of a homogeneous mixture. Sequential addition of aniline is continued until the cloud point of the mixture begins to decrease. The maximum temperature at which the mixture of fraction and aniline becomes cloudy is taken as the maximum aniline point.

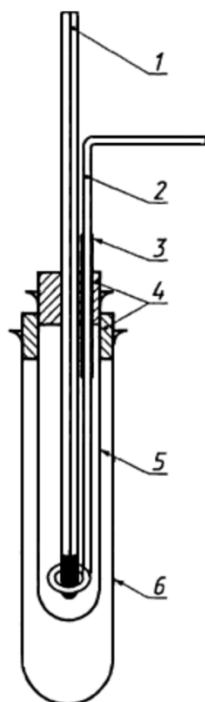


Figure 2.10 – Device for determining the aniline point: 1 – thermometer; 2 – wire stirrer; 3 – glass tube; 4 – corks; 5 – test tube; 6 - casing

The adsorption of aromatic hydrocarbons is carried out in a column filled with silica gel, using ethyl alcohol as the desorbing liquid. The dearomatized fraction is taken from the bottom of the column into test tubes in the amount of 0.5 cm³ for the first test tube and 0.3 cm³ for the subsequent ones, determining the refractive index for each. When the refractive index increases by more than 0.0005, which indicates the presence of aromatic hydrocarbons in the fraction, adsorption is stopped.

Fractions differing from each other in refractive index by less than 0.0005 are merged together and the aniline point for them is determined by the equal volume method.

The cloud point of a mixture of 1 cm³ of the dearomatized fraction and 1 cm³ of aniline is taken as the aniline point using the equal volume method.

According to formula 2.2, the mass fraction of aromatic compounds is calculated:

$$A = K \cdot (T - T_0) \quad (2.2)$$

where $(T - T_0)$ – is the depression of the aniline point, depending on the content of aromatic compounds;

K – is the aniline coefficient corresponding to the content of aromatic compounds, causing a decrease in the aniline point of the dearomatized fraction by 1 °C.

According to formula 2.3, the mass fraction of naphthenic compounds is calculated:

$$H_1 = K_1 \cdot (T_1 - T) \quad (2.3)$$

where H_1 – is the content of naphthenes in the dearomatized fraction, %;

K_1 – is the aniline ratio of naphthenic hydrocarbons;

T_1 – is the average maximum aniline point of pure paraffinic hydrocarbons.

Further, according to formula 2.4, the content of naphthenic hydrocarbons in the initial fraction is recalculated:

$$H = H_1 \cdot (100 - A)/100 \quad (2.4)$$

According to formula 2.5, the mass fraction of paraffinic hydrocarbons is determined:

$$\Pi = 100 - (A + H) \quad (2.5)$$

2.3.7 Method for determining the cetane index

The cetane index of the studied diesel fractions of the products of processing on a zeolite catalyst was determined by the method presented in [41].

The essence of the method is to determine the density at 15 °C, as well as the boiling point of 50% vol. of the test sample and calculation based on the obtained data of the cetane index according to the formula 2.6.

$$\begin{aligned} \text{ЦИ} = & 454,74 - 1641,416 \cdot \rho_4^{15} + 774,74 \cdot (\rho_4^{15})^2 - 0,554 \cdot t \\ & + 97,803 \cdot (\text{lgt})^2 \end{aligned} \quad (2.6)$$

where ρ_4^{15} – is the density at 15 °C, g/cm³;

t – is the boiling point of 50% (by volume) fraction.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1 – Календарный план-график проекта

№ работ	Вид работ	Исполнители	Длительность, дни	2022 год				2023 год						
				Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	3											
2	Выбор направления исследований	Руководитель	3											
		Студент	3											
3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	Руководитель	50											
		Студент	50											
		Консультант	50											
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	1											
		Студент	1											
		Консультант	1											
5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	Студент	20											
		Консультант	20											
6	Построение моделей и проведение экспериментов	Студент	90											
		Консультант	90											
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель	5											
		Студент	5											
8	Оценка эффективности проведенных исследований	Руководитель	2											

Продолжение таблицы Б.1

9	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель	5												
		Студент	5												
10	Оформление отчета по НИР	Студент	70												
11	Сдача работы на рецензию	Руководитель	15												
		Студент	15												
12	Предзащита	Студент	1												
13	Подготовка к защите дипломной работы	Студент	6												
14	Защита дипломной работы	Студент	1												

– Руководитель
 – Студент
 – Консультант