

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  
 ООП Химическая технология топлива и газа  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА

Тема работы
<b>Исследование влияния содержания ароматических и парафиновых углеводородов в составе дизельного топлива на эффективность действия депрессорных присадок</b>

УДК 665.753.4.038.64

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Морозова Яна Павловна		

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
Инженер-исследователь 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	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.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, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОХИ ИШПР	Ивашкина Елена Николаевна	Д.Т.Н.		

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

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

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
2ДМ02	Морозовой Яне Павловне

Тема работы:

<b>Исследование влияния содержания ароматических и парафиновых углеводородов в составе дизельного топлива на эффективность действия депрессорных присадок</b>	
Утверждена приказом директора ИШПР (дата, номер)	от 28.01.2022 г. № 28-93/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2022 г.

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b>	Образцы прямогонного дизельного топлива, депрессорная присадка, индивидуальные (ароматические и парафиновые) углеводороды.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1 Литературный обзор 1.1 Дизельное топливо 1.2 Депрессорные присадки для дизельного топлива 1.3 Влияние состава дизельного топлива на эффективность действия депрессорных присадок 2 Объект и методы исследования 2.1 Объект исследования 2.2 Методы исследования состава и характеристик дизельных топлив 3 Расчеты и аналитика 3.1 Результаты определения состава и характеристики образцов дизельного топлива 3.2 Результаты определения низкотемпературных свойств смесей дизельное топливо/депрессорная

	присадка 3.3 Результаты определения низкотемпературных свойств смесей дизельное топливо/депрессорная присадка/индивидуальные углеводороды 4. Результаты исследования 4.1 Анализ влияния добавления индивидуальных углеводородов на эффективность действия депрессорных присадок 4.2 Анализ влияния концентрации добавляемых ароматических углеводородов на эффективность действия депрессорной присадки 4.3 Анализ влияния длины углеводородной цепи добавляемых n-парафиновых углеводородов на эффективность действия депрессорных присадок 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6 Социальная ответственность
--	--

<b>Перечень графического материала</b>	Нет
--	-----

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	к.э.н., доцент ОСГН ШБИП Рыжакина Т.Г.
«Социальная ответственность»	к.т.н., доцент ООД ШБИП Сечин А.А.

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

«Investigation of the influence of the content of aromatic and paraffinic hydrocarbons in the composition of diesel fuel on the effectiveness of depressant additives»

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	10.02.2022 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
2ДМ02	Морозова Яна Павловна		

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 Весенний семестр 2021/2022 учебного года

Форма представления работы:

<b>Выпускная квалификационная работа магистра</b> (ВКР бакалавра/ ВКР специалиста/ ВКР магистра)
---

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающегося:

Группа	ФИО
2ДМ02	Морозовой Яны Павловны

Тема работы:

<b>Исследование влияния содержания ароматических и парафиновых углеводородов в составе дизельного топлива на эффективность действия депрессорных присадок</b>
---

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2022 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2022 г.	Введение	10
15.03.2022 г.	Литературный обзор: дизельное топливо, депрессорные присадки для дизельного топлива, влияние состава дизельного топлива на эффективность действия депрессорных присадок (механизм действия депрессорных присадок, влияние фракционного и группового составов дизельного топлива, индивидуальных углеводородов на эффективность действия депрессорных присадок).	15
01.04.2022 г.	Объект и методы исследования: объект исследования; методы исследования состава и характеристик дизельных топлив (плотности и вязкости, содержания серы, фракционного состава, цетанового индекса, температур помутнения и застывания, предельной температуры фильтруемости).	15
15.04.2022 г.	Расчеты и аналитика: результаты определения состава и характеристики образцов дизельного топлива, результаты определения низкотемпературных свойств смесей дизельное топливо/депрессорная присадка, результаты определения низкотемпературных свойств смесей дизельное топливо/депрессорная присадка/индивидуальные углеводороды.	20

01.05.2022 г.	Результаты исследования: анализ влияния добавления индивидуальных углеводородов на эффективность действия депрессорных присадок, анализ влияния концентрации добавляемых ароматических углеводородов на эффективность действия депрессорной присадки, анализ влияния длины углеводородной цепи добавляемых n-парафиновых углеводородов на эффективность действия депрессорных присадок.	20
20.06.2022 г.	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». Раздел «Социальная ответственность».	10
01.06.2022 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
Инженер-исследователь 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
2ДМ02	Морозова Яна Павловна		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2ДМ02	Морозовой Яне Павловне

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение</b>	<b>Отделение химической инженерии</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Химическая технология

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
Исследование влияния содержания ароматических и парафиновых углеводородов в составе дизельного топлива на эффективность действия депрессорных присадок	Работа с научной литературой, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив разработки проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Планирование и формирование бюджета разработки	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение бюджета научного исследования
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности разработки	Проведение оценки экономической эффективности, ресурсоэффективности и сравнительной эффективности различных вариантов исполнения
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения и бюджет проекта 4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности разработки	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.03.2021
---	------------

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2ДМ02	Морозова Яна Павловна		01.02.2022

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>		
2ДМ02	Морозовой Яне Павловне		
<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОХИ</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/ специальность</b>	18.04.01 Химическая технология топлива и газа

Тема ВКР:

Исследование влияния содержания ароматических и парафиновых углеводородов в составе дизельного топлива на эффективность действия депрессорных присадок	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><i>Объект исследования:</i> образцы прямогонного дизельного топлива, депрессорная присадка, индивидуальные углеводороды</p> <p><i>Область применения:</i> нефтеперерабатывающая промышленность</p> <p><i>Рабочая зона:</i> лаборатория. Химическая 134 лаборатория 2 корпуса Отделения химической инженерии Томского политехнического университета</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> криостат жидкостный температурный КРИО-Т-05-01, установка для определения ПТФ</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> определение: определение низкотемпературных свойств</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 16.12.2019). ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> <li>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</li> </ul>	<p><b>Вредные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отклонение показателей микроклимата;</li> <li>2. Недостаточная освещенность;</li> <li>3. Повышенный уровень шума.</li> </ol> <p><b>Опасные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Горючесть, взрывоопасность и</li> </ol>



	токсичность применяемых веществ; 2. Короткое замыкание. <b>Расчет:</b> расчет системы воздухообмена.
<b>3. Экологическая безопасность <u>при эксплуатации</u></b>	<b>Воздействие на литосферу:</b> загрязнение почвы нефтяными фракциями; <b>Воздействие на гидросферу:</b> разлив дизельного топлива на воде; <b>Воздействие на атмосферу:</b> пары дизельного топлива .
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при эксплуатации</u></b>	<b>Возможные ЧС:</b> Природные катастрофы (землетрясения, паводки, заморозки и т.д.) Пожар; Взрыв; Разлив реагентов и нефтепродуктов. <b>Наиболее типичная ЧС:</b> пожар.
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Морозова Яна Павловна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 140 страниц, 31 рисунок, 62 таблицы и 82 источника.

Ключевые слова: дизельное топливо, депрессорная присадка, индивидуальные углеводороды, ароматические углеводороды, н-парафины, низкотемпературные свойства.

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

Объектом исследования являются образцы прямогонного дизельного топлива, депрессорная присадка, индивидуальные (ароматические и н-парафиновые) углеводороды, а также их смеси. Предмет исследования – низкотемпературные характеристики смесей образцов прямогонного дизельного топлива, депрессорной присадки и индивидуальных углеводородов; эффективность действия депрессорной присадки.

Цель работы – исследование влияния содержания ароматических и парафиновых углеводородов в составе дизельного топлива на эффективность действия депрессорных присадок.

В ходе работы были определены и проанализированы характеристики образцов прямогонного дизельного топлива с добавлением депрессорной присадки и индивидуальных углеводородов; выявлены закономерности влияния концентрации добавляемых ароматических и н-парафиновых углеводородов, а также длины углеводородной цепи добавляемых н-парафинов на эффективность действия депрессорной присадки.

Экономическая эффективность/значимость работы: выявленные закономерности и выработанные на их основе рекомендации позволят эффективно выбирать депрессорные присадки и их оптимальные концентрации с учетом влияния состава топлива, а также повысят возможности по получению низкозастывающих марок дизельного топлива.

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	14
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	19
1.1 Дизельное топливо .....	19
1.1.1 Состав дизельного топлива .....	19
1.1.2 Свойства дизельного топлива .....	20
1.2 Депрессорные присадки для дизельного топлива .....	26
1.2.1 Механизм действия депрессорных присадок .....	28
1.3 Влияние состава дизельного топлива на эффективность действия депрессорных присадок .....	29
1.3.1 Влияние фракционного состава .....	29
1.3.2 Влияние углеводородного состава .....	30
1.3.3 Влияние индивидуальных веществ.....	32
2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	35
2.1 Объект исследования .....	35
2.1.1 Маркировка и приготовление смесей.....	35
2.2 Методы исследования состава и характеристик дизельных топлив .....	37
2.2.1 Методика определения плотности и вязкости.....	37
2.2.2 Методика определения содержания серы .....	37
2.2.3 Методика определения цетанового индекса.....	38
2.2.4 Методика определения фракционного состава .....	39
2.2.5 Методика определения группового состава .....	40
2.2.6 Методика определения температур помутнения и застывания .....	40
2.2.7 Методика определения предельной температуры фильтруемости .....	41
3 РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА.....	43
3.1 Результаты определения состава и характеристики образцов дизельного топлива.....	43
3.2 Результаты определения низкотемпературных свойств смесей дизельное топливо/депрессорная присадка.....	45

3.3 Результаты определения низкотемпературных свойств смесей дизельное топливо/депрессорная присадка/индивидуальные углеводороды.....	46
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	50
4.1 Анализ влияния добавления индивидуальных углеводородов на эффективность действия депрессорных присадок.....	50
4.2 Анализ влияния концентрации добавляемых ароматических углеводородов на эффективность действия депрессорной присадки.....	53
4.3 Анализ влияния длины углеводородной цепи добавляемых n-парафиновых углеводородов на эффективность действия депрессорной присадки.....	57
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	64
5.1 Предпроектный анализ.....	65
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	65
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	66
5.1.3 SWOT-анализ.....	67
5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	69
5.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	71
5.2 Инициация проекта.....	72
5.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	74
5.3.1 Иерархическая структура работ проекта.....	74
5.3.2 План проект.....	75
5.4 Бюджет научного исследования.....	77
5.4.1 Организационная структура проекта.....	83
5.4.2 План управления коммуникациями проекта.....	84
5.4.3 Реестр рисков проекта.....	84
5.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности.....	85
5.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования.....	85

5.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	90
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	93
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	93
6.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	93
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	94
6.2 Производственная безопасность .....	95
6.3 Расчёт системы воздухообмена в помещении химической лаборатории	100
6.4 Экологическая безопасность .....	102
6.4.1 Воздействие на литосферу.....	102
6.4.2 Воздействие на гидросферу.....	103
6.4.3 Воздействие на атмосферу .....	103
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	103
ВЫВОДЫ .....	106
Список публикаций студента .....	110
Список использованных источников.....	116
Приложение А.....	126

## ВВЕДЕНИЕ

Применение дизельного топлива практически во всех отраслях деятельности человека обуславливает ежегодный рост объемов его потребления. На территории Российской Федерации наибольшим спросом пользуются зимняя и арктическая марки топлива, что связано с суровыми климатическими условиями в большинстве регионов.

Для достижения низкотемпературных свойств, соответствующих требованиям стандартов, наиболее эффективно и рентабельно вводить в дизельное топливо присадки, улучшающие данные характеристики. Важно отметить, что специфический механизм взаимодействия депрессорных присадок с углеводородами, входящими в состав дизельного топлива не исключает случаи, при которых присадки не приносят необходимого улучшения низкотемпературных свойств. Однако возможна и обратная ситуация, когда наличие определенных углеводородов в составе дизельного топлива усиливает эффективность действия депрессорной присадки.

Для выявления количественных закономерностей влияния состава дизельного топлива на эффективность действия депрессорных присадок необходимо выяснить, как каждый индивидуальный углеводород в составе топлива влияет на эффективность действия присадок. Проведение такого исследования для каждого индивидуального углеводорода в составе дизельного топлива практически невозможно, т.к. многие углеводороды не могут быть выделены в чистом виде, особенно высокомолекулярные. Однако возможно проведение исследования для типовых представителей групп углеводородов различной структуры.

Существующие исследования показывают, что наибольшее влияние на эффективность действия депрессорных присадок оказывает содержание в составе дизельного топлива ароматических и нормальных парафиновых углеводородов. Исследование модельных смесей с использованием чистых веществ, отличающихся по структуре и свойствам, позволит выявить

закономерности влияния типовых углеводородов в составе топлива на эффективность действия присадок, что является актуальным и позволит расширить представления о влиянии состава дизельного топлива на эффективность действия депрессоров.

Таким образом, **целью работы** является исследование влияния содержания ароматических и парафиновых углеводородов в составе дизельного топлива на эффективность действия депрессорных присадок.

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

1. Определить и проанализировать состав и характеристики образцов прямогонного дизельного топлива, полученных разгонкой нефти с месторождений Западной Сибири. Оценить соответствие образцов требованиям стандартов.

2. Приготовить смеси образцов прямогонного дизельного топлива с депрессорной присадкой, а также с добавлением различных концентраций (1, 3, 5, 10 % об.) индивидуальных ароматических (толуол, тетралин) и нормальных парафиновых углеводородов (цетан, гептадекан, генайкозан, докозан).

3. Определить и проанализировать низкотемпературные свойства приготовленных смесей, оценить соответствие требованиям стандартов. Оценить эффективность действия депрессорной присадки.

4. Выявить закономерности влияния добавления индивидуальных ароматических и нормальных парафиновых углеводородов на эффективность действия депрессорной присадки.

5. Выявить закономерности влияния концентрации добавляемых индивидуальных углеводородов на эффективность действия депрессорной присадки.

6. Выявить закономерности влияния длины углеводородной цепи добавляемых индивидуальных нормальных парафиновых углеводородов на эффективность действия депрессорной присадки.

7. Выявить закономерности влияния углеводородного состава дизельного топлива на эффективность действия депрессорных присадок.

**Объектом исследования** в данной работе являются образцы прямогонного дизельного топлива, депрессорная присадка, индивидуальные (ароматические и н-парафиновые) углеводороды, а также их смеси.

**Предметом исследования** являются низкотемпературные характеристики смесей образцов прямогонного дизельного топлива, депрессорной присадки и индивидуальных углеводородов; эффективность действия депрессорной присадки.

#### **Научная новизна работы:**

1. Установлено, что добавление ароматических углеводородов (толуола, тетралина) в небольших концентрациях (1-3 % об.) приводит к снижению эффективности действия депрессорной присадки в отношении предельной температуры фильтруемости и температуры застывания. Показано, что добавление тетралина оказывает более выраженный негативный эффект на эффективность действия депрессора чем добавление толуола. При увеличении концентрации добавляемых ароматических углеводородов до 10 % об. негативный эффект снижается и переходит в положительный.

2. Показано, что добавление тяжелых н-парафинов (геныкозана, докозана) в небольших концентрациях (1-3 % об.), а также легких н-парафинов (цетана и гептадеана) в концентрациях 5-10 % об. позволяет повысить эффективность действия депрессорной присадки в отношении предельной температуры фильтруемости. При увеличении концентрации добавляемых тяжелых н-парафинов до 5-10 % об. положительный эффект снижается и переходит в негативный.

3. Установлено, что с увеличением длины углеводородной цепи, концентрация добавляемого н-парафина, позволяющая добиться наибольшего усиления эффективности действия депрессорной присадки в отношении предельной температуры фильтруемости, снижается.



4. Показано, что высокое содержание ароматических и легких н-парафиновых углеводородов в составе дизельного топлива, будет снижать эффективность действия добавляемых депрессорных присадок.

5. Установлено, что добавление небольших концентраций более тяжелых н-парафинов позволит повысить эффективность действия депрессоров. При этом, показано, что чем тяжелее и высокопарафинистее дизельное топливо, тем более тяжелый н-парафин и большая его концентрация потребуется для усиления эффективности действия депрессорной присадки.

#### **Практическая значимость работы:**

1. Показано, что использование исследуемых образцов прямогонного дизельного топлива в зимних и арктических условиях возможно только в случае применения депрессорных присадок.

2. Установлено, что добавление депрессорной присадки позволяет улучшить (снизить) все низкотемпературные свойства образцов дизельного топлива, однако не позволяет получить топливо более низкозастывающих марок. Актуален поиск способов повышения эффективности действия депрессорной присадки.

3. Показано, что добавление 5-10 % об. толуола, 5-10 % об. гептадекана и 1-3 % об. генайкозана к смеси образца дизельного топлива №1 с депрессорной присадкой позволяет получить летнее топливо, которое без добавления индивидуальных углеводородов не соответствовало требованиям стандартов. Добавление 10 % об. тетралина к смеси образца дизельного топлива №2 с депрессорной присадкой позволяет получить межсезонное топливо, которое без добавления индивидуальных углеводородов соответствовало летней марке.

Выявленные закономерности позволяют оценивать влияние состава дизельного топлива на эффективность действия депрессорных присадок при их выборе и определении оптимальной концентрации. Выработанные рекомендации по добавлению тяжелых н-парафинов позволят усиливать эффект, оказываемый депрессорными присадками, что повысит возможности по производству низкозастывающих марок дизельного топлива.

### **Апробация работы:**

Основные положения работы были представлены на 8-ми Международных и Всероссийских конференциях. Работа отмечена Дипломом I степени на Международной научной конференции «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, экологии и химии с использованием современных образовательных технологий», февраль 2022 г., г. Алматы, Республика Казахстан; Дипломом победителя на Конкурсе молодежных проектов в рамках Всероссийского фестиваля науки НАУКА0+, октябрь 2021 г., г. Томск, а также Дипломом Финалиста на Всероссийском инженерном конкурсе 2022 г. По теме работы опубликовано 25 статей, в том числе 3 статьи в журналах из списка ВАК, 2 статьи в зарубежных изданиях, индексируемых базами Scopus и Web of Science (Q1 и Q2).

# 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Дизельное топливо

Дизельное топливо (ДТ) на сегодняшний день является одним из самых востребованных видов топлива, что объясняет рост его производства и применения. Согласно данным, приведенным на официальном сайте Росстата [1], объем производства ДТ за 2018-2021 гг. увеличился с 77,473 млн. тонн до 80,322 млн. тонн (Рисунок 1.1). ДТ представляет собой жидкое топливо, которое применяется в дизельных двигателях внутреннего сгорания [2].

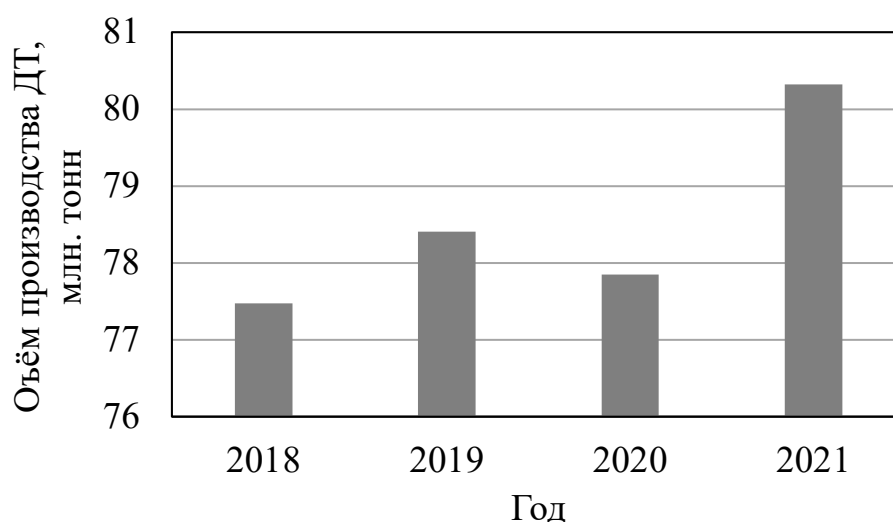


Рисунок 1.1 – Объемы производства ДТ в период с 2018 по 2021 г. [3-6]

### 1.1.1 Состав дизельного топлива

Товарное ДТ представляет собой смесь среднестиллятных нефтяных фракций (пределы выкипания 140-360 °С), газойлей гидрокрекинга, а также легких газойлей термического и каталитического крекинга [7].

В состав ДТ входят:

- нормальные парафиновые (н-парафиновые) углеводороды;
- изопарафиновые углеводороды;
- нафтеновые углеводороды;
- ароматические углеводороды (моно-, би-, три-, полициклические, производные тиофена и др.) [8];

– гетероатомные соединения.

Значение самовоспламеняемости представленных групп углеводородов убывает в ряду: н-парафиновые – нафтеновые – изопарафиновые. Наилучшими низкотемпературными характеристиками обладают изопарафиновые и нафтеновые углеводороды. Вследствие низкой растворимости в углеводородах других классов, н-парафиновые углеводороды обладают плохими низкотемпературными характеристиками, что приводит к быстрому образованию кристаллов н-парафинов и как следствие забиванию топливных фильтров и низкой прокачиваемости трубопроводов.

### 1.1.2 Свойства дизельного топлива

В зависимости от условий применения согласно [9], выделяют следующие марки товарного ДТ:

- Л – летнее;
- Е – межсезонное;
- З – зимнее;
- А – арктическое.

Также согласно [11], существуют экологические классы ДТ: К2, К3, К4 и К5. Данные классы устанавливаются с целью обеспечения защиты здоровья человека и окружающей среды.

Фракционный состав, цетановое число, вязкость, плотность, содержание серы и низкотемпературные свойства являются основными физико-химическими свойствами и эксплуатационными характеристиками ДТ, которые определяют его качество [2].

Фракционный состав служит показателем полноты сгорания топлива и характеристикой его испаряемости [11]. Определение фракционного состава производят по температурам выкипания 10, 50, 90 и 95 % об. топлива [12]. Значение температуры выкипания 10 % об. ( $T_{10\%}$ ) показывает наличие легких фракций в составе топлива. Значение  $T_{50\%}$  определяет пусковые свойства топлива (приемистость), т.к. по увеличению или уменьшению данного

показателя можно судить об испаряемости топлива в камере сгорания. О содержании в составе топлива тяжелых фракций или о потенциальном нагарообразовании можно судить по значениям  $T_{90\%}$  и  $T_{95\%}$ . Для корректной работы двигателя данные показатели нормируются для разных марок и экологических классов топлива (Таблицы 1.1 и 1.2).

Таблица 1.1 – Требования, предъявляемые к фракционному составу для различных марок ДТ [9]

Наименование показателя	Значение для марки			
	Л	Е	З	А
50 % об. перегоняется при температуре, °С, не выше	280	280	280	255
95 % об. перегоняется при температуре, °С не выше	360	360	360	360

Таблица 1.2 – Требования, предъявляемые к фракционному составу для различных экологических классов ДТ [10]

Наименование показателя	Значение для класса			
	К1	К2	К3	К4
95 % об. перегоняется при температуре, °С не выше	360	360	360	360

Показателем воспламеняемости топлива является цетановое число (ЦЧ). Численно значение ЦЧ равно процентному содержанию цетана в смеси с  $\alpha$ -метилнафталином, т.к. данная смесь в стандартном двигателе эквивалентна по воспламеняемости испытываемому топливу [13]. При увеличении ЦЧ происходит более быстрая воспламеняемость смеси и, как следствие, более быстрый запуск двигателя [14]. Как было сказано ранее, различные группы углеводородов обладают различными значениями ЦЧ. Таким образом, содержание в составе топлива высокомолекулярных *n*-парафиновых углеводородов и ароматических углеводородов с боковыми парафиновыми цепями, приводит к повышению ЦЧ. Однако ароматические углеводороды без боковых цепей, непредельные и нафтеновые углеводороды в составе топлива приводят к снижению ЦЧ. Значение ЦЧ согласно требованиям [9] не должно

быть меньше 45 пунктов. Согласно [10], предъявляются различные требования к ЦЧ летнего, зимнего и арктического ДТ (Таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Требования, предъявляемые к ЦЧ для различных экологических классов ДТ [10]

Наименование показателя	Значение для класса			
	К1	К2	К3	К4
ЦЧ для летнего ДТ, не менее	45	51	51	51
ЦЧ для зимнего и арктического ДТ, не менее	Не определяется	47	47	47

Для более легкого определения самовоспламеняемости был введен дополнительный показатель – цетановый индекс (ЦИ). В отличие от экспериментального определения ЦЧ согласно [15], ЦИ можно установить расчетно. Также ЦИ используют в качестве подтверждения ранее установленных значений ЦЧ.

Не менее важны плотность и вязкость ДТ, т.к. данные показатели влияют на процессы испарения и смесеобразования топлива в камере сгорания [16]. Вязкость делится на динамическую и кинематическую. Значения кинематической вязкости нормируются согласно [9] (Таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Требования, предъявляемые к вязкости для различных марок ДТ [9]

Наименование показателя	Значение для марки			
	Л	Е	З	А
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	3,0-6,0	3,0-6,0	1,8-5,0	1,5-4,0

Значение вязкости ДТ определяет процесс распыливания топлива в камере сгорания [17]. Значение вязкости не должно быть слишком высоким. Высокие показатели вязкости приводят к увеличению расхода топлива и возрастанию дымности отработавших газов, а низкие – к ухудшению смазочных свойств топлива и увлечению изнашивания насосов [18]. Углеводородный состав также влияет на вязкость топлива. Так, например, содержание алифатических углеводородов в составе топлива приводит к

снижению вязкости, а содержание ароматических и нафтеновых – к повышению.

Плотность, в свою очередь, влияет на процесс смесеобразования. При низких значениях плотности уменьшается длина впрыскиваемой топливной струи, что приводит к ухудшению смесеобразования. Высокие значения плотности, наоборот, увеличивают длину топливной струи, что увеличивает дымность. Значения плотности нормируются согласно [9] (Таблица 1.5).

Таблица 1.5 – Требования, предъявляемые к плотности для различных марок ДТ [9]

Наименование показателя	Значение для марки			
	Л	Е	З	А
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup> , не более	863,4	863,4	843,4	833,5

Содержание серы (общая сера, меркаптановая сера, сероводород) в составе ДТ оказывает коррозионное действие на металлы, что в дальнейшем сокращает срок службы оборудования. Также большое содержание серы в топливе негативно влияет на здоровье человека и окружающую среду. В Таблицах 1.6 и 1.7 представлены нормы содержания серы и ее соединений в составе ДТ, согласно требованиям [9] и [10].

Таблица 1.6 – Требования, предъявляемые к содержанию сернистых соединений для различных марок ДТ [9]

Наименование показателя	Значение для марки			
	Л	Е	З	А
Массовая доля серы, мг/кг, не более	2000			
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,01			
Массовая доля сероводорода, %	Отсутствие			
Испытание на медной пластинке	Выдерживает. Класс 1			

Таблица 1.7 – Требования, предъявляемые к содержанию серы для различных экологических классов ДТ [10]

Наименование показателя	Единица измерения	Норма в отношении класса			
		К2	К3	К4	К5
Массовая доля серы, не более	мг/кг	500	350	50	10

Одними из самых важных эксплуатационных характеристик ДТ являются низкотемпературные свойства. Низкотемпературные свойства определяют способность топлива бесперебойно поступать в двигатель из топливного бака. Движение ДТ в топливной системе обусловлено подвижностью топлива. При низких температурах подвижность топлива снижается и оно начинает плохо прокачиваться через трубопроводы и фильтры, что происходит вследствие кристаллизации парафиновых углеводородов, содержащихся в его составе. Как обозначалось ранее, н-парафины обладают плохими низкотемпературными свойствами, т.е. высокими температурами плавления. К низкотемпературным свойствам относят три показателя: температура помутнения (Тп), предельная температура фильтруемости (ПТФ) и температура застывания (Тз).

Тп характеризует изменение фазового состава топлива, а именно образование не только жидкой фазы топлива, но и твердой. Помутнение проявляется в изменение внешнего вида топлива с прозрачного к мутному. При понижении температуры начинается кристаллизация н-парафинов, входящих в состав топлива, однако на данном этапе кристаллы пока небольших размеров, что еще позволяет топливу прокачиваться через фильтры, образуя на них лишь тонкую пленку н-парафинов.

При дальнейшем снижении температуры увеличивается количество твердой фазы, что объясняется ростом и ассоциацией кристаллов н-парафинов и образованием каркасных структур. Снижается текучесть топлива, что не дает ему дальше проходить через топливные фильтры. Температура, при которой топливо перестает проходить через фильтры, носит название ПТФ.

При еще большем понижении температуры топливо окончательно теряет свою подвижность, каркасные структуры становятся все более разветвленными,



происходит увеличение длины парафиновых цепочек и топливо застывает. Температуру, при которой наблюдается данное явление, называют Тз.

О возможности использования топлива при низких температурах судят по ПТФ. Показатель ПТФ очень важен, в связи с чем, лежит в основе разделения товарного топлива на марки. В Таблицах 1.8 и 1.9 представлены требования, предъявляемые к ПТФ для различных марок и экологических классов ДТ.

Таблица 1.8 – Требования, предъявляемые к ПТФ для различных марок ДТ [9]

Наименование показателя	Значение для марки			
	Л	Е	З	А
ПТФ, °С, не выше	-5	-15	-25...-35	-45

Таблица 1.9 – Требования, предъявляемые к ПТФ для различных экологических классов ДТ [10]

Наименование показателя	Значение для класса			
	К2	К3	К4	К5
ПТФ, °С, не выше:				
Летнее ДТ	Не определяется			
Межсезонное ДТ	-15			
Зимнее ДТ	-20			
Арктическое ДТ	-38			

На ухудшение низкотемпературных свойств оказывает влияние суммарное содержание и распределение н-парафинов в составе ДТ (Таблица 1.10). Так, в работе [19] авторы пришли к выводу, что с увеличением общего содержания н-парафиновых углеводородов в ДТ, увеличением доли н-парафиновых углеводородов с числом атомов углерода 22 и более ( $C_{22и>}$ ) относительно н-парафинов с числом атомов углерода от 16 до 21 ( $C_{16-21}$ ) и утяжелением фракционного состава, низкотемпературные свойства ДТ ухудшаются. Также стоит отметить изменение анилиновой точки, так как при её снижении (увеличении содержания ароматических углеводородов) наблюдается снижение Тз.

Таблица 1.10 – Физико-химические характеристики свойств ДТ

Образец ДТ	Тз, °С	Суммарное содержание н-парафинов, % мас.			Анилиновая точка, °С
		C <sub>12-15</sub>	C <sub>16-21</sub>	C <sub>22и&gt;</sub>	
1	-16	58,79	35,10	6,11	66,5
2	-15	55,27	41,34	3,39	63,8
3	-14	38,00	53,50	8,50	67,5
4	-10	45,91	48,33	5,76	67,5
5	-6	24,76	64,89	10,35	69,5
6	+2	5,76	78,17	16,07	76,5

Улучшения низкотемпературных свойств ДТ можно добиться несколькими путями. Так, в работах [20-23] предложены следующие способы:

- ограничивать содержание н-парафинов в тяжелой части топлива за счет снижения температуры конца кипения;
- увеличивать содержание н-парафинов C<sub>6</sub>-C<sub>14</sub> в топливе за счет смешения его с более легкой фракцией;
- проводить каталитическую переработку топлива (депарафинизацию);
- вводить депрессорные присадки.

На сегодняшний день отдают предпочтение последнему методу из перечисленных.

## 1.2 Депрессорные присадки для дизельного топлива

Депрессорные присадки (депрессоры) – это добавки к ДТ, которые служат для снижения (улучшения) его низкотемпературных свойств. Основная часть таких присадок применяется на нефтеперерабатывающих заводах при производстве товарных топлив, однако на сегодняшний день также распространено применение депрессорных присадок напрямую потребителем для самостоятельного улучшения низкотемпературных свойств используемого топлива.

Длительное хранение топлива приводит к его расслоению, т.к. мелкие кристаллы н-парафинов оседают и образуют мутный слой. Верхний слой

топлива становится светлым и обедненным n-парафинами. Данная проблема решается комбинированным добавлением депрессорных и диспергирующих присадок, также называемых антиосадителями. Полученная композиция носит название депрессорно-диспергирующих присадок. На данный момент практически все коммерческие депрессорные присадки идут в смеси с диспергирующими.

Депрессорные присадки имеют разнообразный состав, однако выделяют две основные группы: гибридные, основанные на модифицированных наночастицах и полимерные. Представителями гибридных депрессоров служат органически модифицированные наноглина, нанооксид кремния и оксид графена. В основе полимерных присадок могут быть производные метакриловой кислоты, олефинов, малеинового ангидрида и азотсодержащие соединения с винильной группой. Стоит отметить возможность различных комбинаций перечисленных мономеров [24]. В группе полимерных депрессоров особо выделяют сополимеры этилена с винилацетатом, т.к. их использование в составе коммерческих продуктов наиболее распространено.

Авторами работ [25-28] произведено сравнение основных депрессорных присадок. Так, ассортимент депрессоров в России базируется на 4 основных составах:

- концентраты сополимера этилена с винилацетатом в ксилоле (ВЭС-238);
- полиалкилакрилат, получаемый путём радиационной полимеризации раствора эфиров метакриловой кислоты и спиртов фракции C<sub>10</sub>-C<sub>12</sub> в толуоле (ЭДЕП-Т);
- раствор в углеводородах ДТ сополимера полиалкилметакрилата, получаемого из высших жирных спиртов, с винилацетатом (ПДП);
- низкомолекулярный сополимер этилена с α-олефинами (ДАКС-Д).

Сравнивая эффективность всех представленных выше депрессоров, автор работы [25] показал, что значения полученных Тп, ПТФ и Тз после добавления присадок в топливо отличаются друг от друга незначительно. Данный вывод

говорит о возможности применения присадок различного состава и способа получения.

### **1.2.1 Механизм действия депрессорных присадок**

При снижении температуры н-парафины, содержащиеся в составе ДТ, легко кристаллизуются. Стоит отметить, что показатель  $T_p$  ДТ практически не подвергается воздействию депрессорных присадок. Неспособность депрессора оказать влияние на  $T_p$  топлива связана с возможностью депрессора препятствовать только росту кристаллов н-парафинов, без возможности предотвратить образование начальных центров кристаллизации. При дальнейшем снижении температуры кристаллы н-парафинов растут и образуют пространственные структуры, вследствие чего ДТ теряет способность проходить через топливные фильтры. Именно в этот момент начинают действовать депрессоры и, как сказано ранее, препятствуют росту кристаллов н-парафинов, взаимодействуя с их поверхностью.

На сегодняшний день механизм взаимодействия депрессоров и углеводородов, входящих в состав ДТ, до конца не изучен, однако существует несколько господствующих теорий. Согласно [25, 29], наиболее распространенной является теория адсорбционного механизма. Согласно данному механизму молекулы присадки адсорбируются на поверхности кристаллов н-парафинов. Дальнейший рост и ассоциация с другими кристаллами предотвращается за счет сил межмолекулярного отталкивания между полярными частями присадки и кристаллами н-парафинов, т.к. неполярные части молекул депрессора обращены в среду, а полярные сорбированы на поверхности кристаллов [30].

Также широкой популярностью пользуется теория сокристаллизации, однако применима данная теория только в случае содержания в составе присадки алкильных групп, которые схожи по длине с н-парафинами в составе ДТ [31, 32]. При кристаллизации происходит встраивание депрессора (алкильных групп) в молекулы н-парафинов, далее идет кристаллизация уже

модифицированных n-парафинов. Предотвращение укрупнения полученных кристаллов происходит за счет сил отталкивания, которые возникают из-за полярной части молекул депрессора, не встроившейся в молекулы n-парафинов [24, 33].

Также существует теория нуклеационного механизма, суть которой состоит в том, чтобы вводить в топливо искусственные центры кристаллизации [34]. Из-за увеличения количества центров кристаллизации на введенных частицах кристаллизуются n-парафины. Происходит изменение формы и структуры образующихся кристаллов и как следствие уменьшение их размеров. Например, при введении в топливо такой добавки, как асфальтены, не происходит образование пространственных структур n-парафинов. Кристаллы n-парафинов в таком случае представлены в виде отдельных сферических частиц, что дает возможность топливу оставаться подвижным при понижении температуры [35].

Для определения оптимального пути подбора или разработки присадки необходимо понимать механизм действия депрессора. Как было сказано ранее, действительный механизм действия присадки окончательно не определен, однако не исключено, что в сравнительно небольших концентрациях присадки, действующие по механизму сокристаллизации менее эффективны по сравнению с действующими по механизму адсорбции депрессора на кристалле n-парафина.

### **1.3 Влияние состава дизельного топлива на эффективность действия депрессорных присадок**

#### **1.3.1 Влияние фракционного состава**

Эффективность действия депрессорной присадки зависит от фракционного состава топлива. Известно, что приёмистость топлива к депрессорам увеличивается с расширением его фракционного состава [36]. Так, авторами работы [37] установлено, что для топлива с температурой начала

кипения – 168 °С и температурой выкипания 96 % об. – 356 °С ПТФ при добавлении депрессорной присадки снижается с -7 до -13 °С, а Тз с -16 до -30 °С. Для топлива с более узким фракционным составом (температура начала кипения – 217 °С, температура выкипания 96 % об. – 360 °С) Тз снижается с -14 до -24 °С, а ПТФ не изменяется, что говорит о большей эффективности депрессорной присадки в отношении топлива с более широким фракционным составом.

Также существуют исследования изменение эффективности действия депрессорных присадок при расширении фракционного состава ДТ путем добавления к нему узких дизельных фракций. Авторами работ [38-42] установлено, что добавление узких фракций с температурами выкипания 180-240 °С и 240-300 °С приводит к снижению эффективности действия присадки, однако добавление тяжелой дизельной фракции в количестве 5 % об. от общего объема смеси, приводит к повышению эффективности действия депрессора.

### **1.3.2 Влияние углеводородного состава**

Групповой углеводородный состав топлива также оказывает существенное влияние на эффективность действия депрессоров, так авторы работы [28] установили, что н-парафины имеют наибольшую восприимчивость к депрессорам. Меньшей восприимчивостью обладают ароматические углеводороды, а самой низкой – изопарафины и нафтены, что видно на Рисунке 1.2 [25]. Детализированный групповой углеводородный состав топлив, который отражает молекулярно-массовое распределение н-парафинов, соотношение моно-, би- и полициклических ароматических углеводородов также влияет на эффективность действия депрессоров [43]. Авторами [44, 45] установлено, что такие группы углеводородов, как н-парафиновые и ароматические оказывают наибольшее влияние на эффективность действия депрессорных присадок.

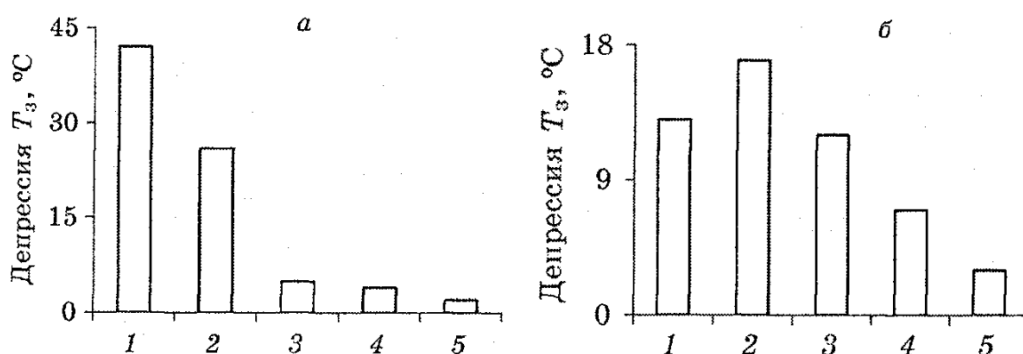


Рисунок 1.2 – Депрессия  $T_z$  при введении 0,1 % присадки ВЭС-238 во фракции углеводородов, выделенных из летних ДТ, приготовленных из Сахалинской (а) и Ураловолжской (б) нефтей:

1 – парафино-нафтеновая фракция; 2 – ароматическая (моноциклические углеводороды) фракция; 3 – фракция би- и трициклических ароматических углеводородов; 4 – фракция тетрациклических ароматических углеводородов; 5 – изопарафино-нафтеновая фракция

Наибольшее влияние н-парафиновых углеводородов объясняется механизмом действия депрессорных присадок, ведь присадки могут оказывать влияние только на образовавшиеся кристаллы. С учетом неудовлетворительных низкотемпературных свойств н-парафинов, избыточное количество н-парафинов в составе топлива приводит к снижению эффективности действия присадки, существует оптимальная концентрация н-парафинов, при которой действие депрессоров проявляется наилучшим образом. Так, авторы [46] установили влияние концентрации н-парафинов на депрессию  $T_z$  при введении присадки ПМА-Д (Рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Зависимость депрессии  $T_z$  модельных смесей от концентрации н-парафинов при введении 0,1 % присадки ПМА-Д

По влиянию ароматических углеводородов установлено, что большей восприимчивостью к депрессорам обладают те углеводороды, которые содержат боковые парафиновые цепи. Восприимчивость данных углеводородов снижается при увеличении числа колец и уменьшении длины боковых цепей. Однако восприимчивость ароматических углеводородов может быть выше восприимчивости н-парафинов, при условии оптимального строения молекулы первых, что видно на Рисунке 1.2, а.

Таким образом, можно сказать, что основными группами углеводородов, оказывающими влияние на эффективность действия депрессора, являются н-парафиновые и ароматические. Данный вывод подтверждается работами [44, 45].

### 1.3.3 Влияние индивидуальных веществ

Различия в составе топлива оказывают влияние на действие присадок, что подтверждается работой [47]. Так, содержание н-парафинов в легком (Таблица 1.11) и тяжелом (Таблица 1.12) компонентах ДТ по-разному влияет на действие депрессорной присадки.

Таблица 1.11 – Содержание н-парафинов в легком компоненте ДТ [47]

Компонент	Содержание, %
C <sub>11</sub>	0,39667
C <sub>12</sub>	6,66732
C <sub>13</sub>	15,44736
C <sub>14</sub>	23,13747
C <sub>15</sub>	26,62862
C <sub>16</sub>	18,80975
C <sub>17</sub>	8,91279



Таблица 1.12 – Содержание n-парафинов в тяжелом компоненте ДТ [47]

Компонент	Содержание, %
C <sub>15</sub>	3,11702
C <sub>16</sub>	11,47884
C <sub>17</sub>	25,77596
C <sub>18</sub>	23,33010
C <sub>19</sub>	7,82237
C <sub>20</sub>	11,60354
C <sub>21</sub>	7,73453
C <sub>22</sub>	4,70969
C <sub>23</sub>	4,42794

При добавлении присадки в образец легкого компонента ДТ наблюдается снижение  $T_z$  с  $-31$  до  $-47$  °С, в образец тяжелого ДТ – с  $-3$  °С до  $-38$  °С. Исходя из полученных результатов видно, что депрессия  $T_z$  больше для тяжелого образца ДТ, что говорит о большей эффективности действия присадки в топливах с содержанием более тяжелых n-парафиновых углеводородов.

Молекулярная масса, длина нормальной парафиновой цепи до разветвления, молекулярно-массовое распределение также являются важными характеристиками. Автор работы [48] пришел к выводу, что снижению ПТФ способствует увеличение концентрации в составе ДТ парафинов C<sub>6</sub>-C<sub>14</sub>, а увеличение концентрации более тяжелых парафинов, таких как C<sub>15</sub>-C<sub>19</sub> и C<sub>20</sub>-C<sub>24</sub> приводит к повышению ПТФ. Однако при добавлении присадки наблюдается снижение ПТФ на  $15-20$  °С при увеличении концентрации всех парафинов из представленных (Рисунок 1.4). Стоит отметить, что роль еще более тяжелых парафинов, таких как C<sub>26</sub> и выше, противоречива, т.к. с одной стороны данные углеводороды могут выступить первичными центрами кристаллизации и легко образуют кристаллы, которые быстро укрупняясь, забивают топливные фильтры. С другой стороны, без образующихся кристаллов присадка не способна начать действовать.

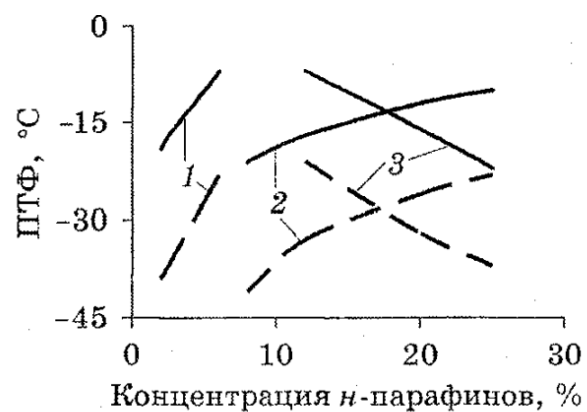


Рисунок 1.4 – Влияние длины цепи n-парафинов на низкотемпературные свойства ДТ без присадки (сплошная линия) и с 0,05 % присадки Keroflux-5486 (пунктир):  
 1 – фракция парафинов C<sub>6</sub>-C<sub>14</sub>; 2 – фракция парафинов C<sub>15</sub>-C<sub>19</sub>;  
 3 – фракция парафинов C<sub>20</sub>-C<sub>25</sub>

## 2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Объект исследования

В качестве объекта исследования в работе выступили два образца прямогонного ДТ, полученные разгонкой нефти с месторождений Западной Сибири, депрессорная присадка (Ad) и различные индивидуальные углеводороды (ИУ). Для проведения исследования были выбраны две группы углеводородов: ароматические и н-парафиновые. Представителями ароматических углеводородов послужили моноциклический ароматический углеводород – метилбензол (толуол) с химической формулой  $C_6H_5-CH_3$  и бициклический моноароматический углеводород – 1,2,3,4-тетрагидронафталин (тетралин) с химической формулой  $C_{10}H_{12}$ , а представителями н-парафиновых углеводородов послужили н-гексадекан (цетан) с формулой  $C_{16}H_{34}$ , гептадекан с формулой  $C_{17}H_{36}$ , генейкозан с формулой  $C_{21}H_{44}$  и докозан с формулой  $C_{22}H_{46}$ .

#### 2.1.1 Маркировка и приготовление смесей

Наименования ИУ были промаркированы: толуол обозначили буквой Т, тетралин – ТЛ, цетан – Ц, гептадекан – ГД, генейкозан – ГЗ и докозан – Д.

С использованием образца прямогонного ДТ, депрессорной присадки и ИУ были приготовлены следующие смеси:

- смесь прямогонных ДТ и депрессорной присадки ( $ДТ_{1,2}+Ad$ );
- смеси прямогонных ДТ и толуола в различных концентрациях с добавлением депрессорной присадки ( $ДТ_{1,2}+1\% Т+Ad$ ,  $ДТ_{1,2}+3\% Т+Ad$ ,  $ДТ_{1,2}+5\% Т+Ad$ ,  $ДТ_{1,2}+10\% Т+Ad$ );
- смеси прямогонных ДТ и гептадекана в различных концентрациях с добавлением депрессорной присадки ( $ДТ_{1,2}+1\% ТЛ+Ad$ ,  $ДТ_{1,2}+3\% ТЛ+Ad$ ,  $ДТ_{1,2}+5\% ТЛ+Ad$ ,  $ДТ_{1,2}+10\% ТЛ+Ad$ );
- смеси прямогонных ДТ и цетана в различных концентрациях с добавлением депрессорной присадки ( $ДТ_{1,2}+1\% Ц+Ad$ ,  $ДТ_{1,2}+3\% Ц+Ad$ ,  $ДТ_{1,2}+5\% Ц+Ad$ ,  $ДТ_{1,2}+10\% Ц+Ad$ );

– смеси прямогонных ДТ и гептадекана в различных концентрациях с добавлением депрессорной присадки (ДТ<sub>1,2</sub>+1 % ГД+Ad, ДТ<sub>1,2</sub>+3 % ГД+Ad, ДТ<sub>1,2</sub>+5 % ГД+Ad, ДТ<sub>1,2</sub>+10 % ГД+Ad);

– смеси прямогонных ДТ и цетана в различных концентрациях с добавлением депрессорной присадки (ДТ<sub>1,2</sub>+1 % ГЗ+Ad, ДТ<sub>1,2</sub>+3 % ГЗ+Ad, ДТ<sub>1,2</sub>+5 % ГЗ+Ad, ДТ<sub>1,2</sub>+10 % ГЗ+Ad);

– смеси прямогонных ДТ и гептадекана в различных концентрациях с добавлением депрессорной присадки (ДТ<sub>1,2</sub>+1 % Д+Ad, ДТ<sub>1,2</sub>+3 % Д+Ad, ДТ<sub>1,2</sub>+5 % Д+Ad, ДТ<sub>1,2</sub>+10 % Д+Ad);

В Таблице 2.1 представлены используемые содержания ДТ и ИУ в полученных смесях.

Таблица 2.1 – Рецептуры приготовления смесей

Смесь	Содержание ДТ, мл	Содержание ИУ, мл
ДТ+1 % ИУ	99,0	1,0
ДТ+3 % ИУ	97,0	3,0
ДТ+5 % ИУ	95,0	5,0
ДТ+10 % ИУ	90,0	10,0

Добавление депрессорной присадки производилось в концентрации, рекомендованной производителем. Согласно рекомендациям производителя, для снижения Тз на 10 °С необходимо на 50 л топлива добавить 300 мл присадки [49]. Характеристики депрессорной присадки представлены в Таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Характеристики депрессорной присадки

Название	Состав присадки	Используемая концентрация присадки, на 100 мл ДТ, мл
Carlube	Углеводородные растворители, моющие средства, добавки	0,6

## 2.2 Методы исследования состава и характеристик дизельных топлив

### 2.2.1 Методика определения плотности и вязкости

Согласно методикам, представленным в [50] и [51] были определены такие характеристики ДТ, как плотность, динамическая вязкость и кинематическая вязкость. С использованием вискозиметра Штабингера SVM3000 Anton Paar (Рисунок 2.1) производилось измерение плотности и вязкости образцов при температурах 15 °С и 20 °С соответственно.



Рисунок 2.1 – Вискозиметр Штабингера SVM3000 (Anton Paar) [52]

Во встроенную измерительную ячейку помещался одноразовый шприц, наполненный исследуемым образцом. Залитый внутрь ячейки образец попадал во внешний цилиндр двигателя, который также содержит полый титановый ротор. При включении двигателя производилось измерение разности скоростей вращения цилиндра и ротора, вследствие чего определенные характеристики вязкостей и плотности выводились на табло аппарата [52].

### 2.2.2 Методика определения содержания серы

Согласно методике, представленной в [53] производилось определение содержания серы в исследуемых образцах ДТ. С использованием анализатора рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного «СПЕКТРОСКАН S» (Рисунок 2.2), происходило облучение двух параллельных проб

анализируемого образца ДТ путем помещения образца в пучок лучей, испускаемых источником рентгеновского излучения. Далее после воздействия данных лучей наблюдалась флуоресценция, т.е. вторичное излучение и испускался квант энергии, который отражает элементный состав [54]. Т.к. о наличии и количественном содержании серы в образце судят по содержанию во вторичном спектре излучения конкретных линий и их яркости, то полученные характеристики излучения исследуемого образца сравнивались с характеристиками, полученными при измерении заранее подготовленных контрольного образца и холостой пробы. Далее полученное значение содержания серы выводилось на табло аппарата.



Рисунок 2.2 – Анализатор рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный «СПЕКТРОСКАН S» [55]

### 2.2.3 Методика определения цетанового индекса

Согласно методике, представленной в [56] был рассчитан ЦИ образцов ДТ. Были использованы следующие формулы:

$$\begin{aligned}
 \text{ЦИ} = & 45,2 + 0,0892 \cdot T_{10N} + (0,131 + 0,901 \cdot B) \cdot T_{50N} \\
 & + (0,0523 - 0,42 \cdot B) \cdot T_{90N} \\
 & + [0,00049 \cdot (T_{10N}^2 - T_{90N}^2)]107B + 60B^2
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

$$T_{10N} = T_{10\%} - 215;$$

$$T_{50N} = T_{50\%} - 260;$$

$$T_{90N} = T_{90\%} - 310;$$

$$B = [\exp \exp (-0,0035 \cdot D_N) ] - 1$$

$$D_N = D - 850$$

где ЦИ – цетановый индекс, пункты;  $T_{10\%}$ ,  $T_{50\%}$ ,  $T_{90\%}$  – температура кипения 10%, 50%, 90%-ной (по объему) фракции, °С;  $D$  – плотность топлива при 15 °С, кг/м<sup>3</sup>.

#### 2.2.4 Методика определения фракционного состава

Согласно методике, представленной в [57] был определен фракционный состав исследуемых образцов ДТ. Производилась разгонка топлива на аппарате АРНС-Э (Рисунок 2.3), т.е. нагрев исследуемого образца при постепенном повышении температуры, его испарение, охлаждение в холодильнике и отбор получившегося конденсата. Исследуемый образец отбирается в количестве 100 мл и помещается в колбу для перегонки. Колба помещается в аппарат для разгонки и происходит равномерный нагрев так, чтобы отогнанный конденсат отбирался в мерную колбу со скоростью 1 капля в секунду или 4-5 мл/мин. Эксперимент проводится до тех пор, пока не начнет протекать крекинг образца (термическое разложение) или не выпарится все жидкость со дна колбы.



Рисунок 2.3 – Аппарат для разгонки нефти и нефтепродуктов АРНС-Э [58]

### **2.2.5 Методика определения группового состава**

Согласно [59] на основе анилинового метода был определен групповой состав ДТ. Метод основан на определении анилиновой точки – температуры, которая соответствует полному взаимному растворению анилина и нефтепродукта, при их смешении и нагревании. Анилиновая точка определялась двумя методами: равных объемов и максимальных анилиновых точек. Первый метод заключается в определении температуры полного растворения друг в друге равных объемов анилина и исследуемого образца ДТ, используя деароматизированную фракцию. Вторым методом основан на определении анилиновых точек несколькими измерениями температур растворения узких фракций ДТ в возрастающих количествах анилина. Далее рассчитывалась массовая доля ароматических углеводородов в исходной фракции и массовая доля нафтенов в деароматизированной фракции, исходя из анилиновых точек. После удаления ароматических углеводородов, согласно анилиновым коэффициентам, производился пересчет массовой доли нафтенов в исходной фракции, а затем рассчитывалась массовая доля парафинов в исходной фракции.

### **2.2.6 Методика определения температур помутнения и застывания**

Согласно методикам, представленным в [60] и [61] были определены соответственно  $T_p$  и  $T_z$ . Сущность определения состояла в погружении пробирки с двойными стенками (Рисунок 2.4), наполненной исследуемым образцом, в жидкостный низкотемпературный термостат КРИО-Т-05-01 (Рисунок 2.5) и постепенном охлаждении. Через 1-2 °С пробирку вынимали из криостата и сравнивали с заранее заготовленным исследуемым образцом топлива при комнатной температуре. При видимом помутнении топлива относительно эталона отмечали  $T_p$ . При дальнейшем снижении температуры топливо застывало и отмечали  $T_z$ , таким образом, чтобы при наклоне пробирки на 45° и удерживании ее в таком положении в течение минуты мениск образца не смещался.





Рисунок 2.4 – Пробирка с двойными стенками [62]



Рисунок 2.5 – Криостат жидкостный температурный КРИО-Т-05-01 [63]

### **2.2.7 Методика определения предельной температуры фильтруемости**

Согласно методике, представленной в [64] была определена предельная температура фильтруемости (ПТФ) исследуемых образцов. В термостате жидкостном низкотемпературном КРИО-Т-05-01 (Рисунок 2.5) с помощью установки определения ПТФ на холодном фильтре (Рисунок 2.6) производилось постепенное охлаждение образца. С периодичностью в 1 °С происходил автоматический набор исследуемого образца через стандартизованный проволочный сетчатый фильтр в стеклянную пипетку (Рисунок 2.7) под

регулируемым вакуумом. Если исследуемый образец в течение 60 с не успел заполнить пипетку, то эксперимент прекращался и отмечалась ПТФ, т.к. топливо потеряло возможность проходить через фильтр.



Рисунок 2.6 – Установка для определения ПТФ [65]



Рисунок 2.7 – Стеклопипетка для определения ПТФ [66]

## **5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Проблемы эффективного ресурсопотребления и ресурсосбережения в нефтяных компаниях всегда являются достаточно актуальными. Технологические процессы в отрасли подготовки и переработки нефти, а также нефтехимии сопровождаются потреблением топливно-энергетических ресурсов. Таким образом, формирование и реализация стратегии ресурсосбережения на всех уровнях управления является одним из важнейших вопросов стратегического менеджмента, поскольку ресурсоемкость является второстепенными показателями продукции, в то время как ключевым показателем является ее качество.

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

Данная работа посвящена исследованию влияния добавления n-парафинов на эффективность действия депрессорных присадок. Результаты данной работы могут быть использованы для составления рецептуры производства зимней и арктической марок дизельных топлив, разработки необходимого рецепта смешения и экономии дорогостоящих компонентов. Все это отражается на стоимости дизельного топлива, увеличивая его конкурентоспособность.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;

– произвести оценку ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

## 5.1 Предпроектный анализ

### 5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Продукт – дизельное топливо с улучшенными низкотемпературными свойствами. Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка – предприятия нефтехимической отрасли. На основе анализа рынка была построена карта сегментирования (Таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка

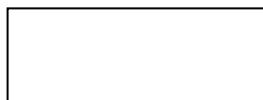
		Вид услуги					
		Получение Арктической и Зимней марок ДТ		Совместные разработки на базе НИОСТ предприятий		Исследование физико-химических и эксплуатационных характеристик ДТ	
Потребители	Крупный потребитель (Газпром нефть, Роснефть и др.)	■	■	□	■	■	□
	Производители депрессорных присадок (Carlube и др.)	■	■	■	■	■	■
	Частные лаборатории	■	■	□	■	■	■



– анализ совместимости ДТ и готовой рецептуры;



– подбор индивидуальных рецептур;



– модификация и улучшение уже имеющихся рецептур

### 5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

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

В Таблице 5.2 приведена оценка конкурентов, где  $\phi$  – фундаментальное исследование получения ДТ с улучшенными низкотемпературными свойствами, проведенное в рамках написания магистерской диссертации,  $k_1$  – процесс каталитической депарафинизации на НПЗ,  $k_2$  – получение низкозастывающих топлив путем фракционирования нефти на атмосферно-вакуумной установке прямой перегонки нефти с обрезанным концом кипения. Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{k1}$	$B_{k2}$	$K_{\phi}$	$K_{k1}$	$K_{k2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности	0,14	5	3	4	0,7	0,42	0,56
2. Точность	0,18	4	4	4	0,72	0,72	0,72
3. Скорость	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
4. Технологичность	0,15	4	4	4	0,6	0,6	0,6
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,12	5	4	4	0,6	0,48	0,48
2. Цена	0,14	5	3	2	0,7	0,42	0,28
3. Время	0,12	4	5	3	0,48	0,6	0,36
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>32</b>	<b>27</b>	<b>24</b>	<b>4,55</b>	<b>3,84</b>	<b>3,45</b>

Критерии оценки подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Вес показателей в сумме должны составлять 1. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

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.

Основываясь на проведенном анализе конкурентов, можно сказать что проект превосходит конкурентные исследования, что связано с отсутствием капитальных затрат на покупку дорогостоящего оборудования, ресурсоэффективностью, а также скоростью получения топлив с улучшенными низкотемпературными свойствами. Однако уязвимость разрабатываемого проекта в том, что требуется проведение предварительных исследований по определению состава и физико-химических свойств образцов.

### 5.1.3 SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта (Таблица 5.3). Применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Анализ проводится в 3 этапа.

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

Таблица 5.3 – Матрица SWOT-анализа

<p><b>Сильные стороны</b></p> <p>С1. Низкая цена проекта</p> <p>С2. Отсутствие подобного исследования на территории области</p> <p>С3. Достаточно высокая точность результатов</p> <p>С4. Распространённость и доступность объектов исследования</p> <p>С5. Экологичность проведенных исследований</p> <p>С6. Приоритетное направление научных исследований в рамках плана стратегического развития РФ</p>	<p><b>Слабые стороны</b></p> <p>Сл1. Удаленность территории объекта исследования</p> <p>Сл2. Погрешность методов анализа</p> <p>Сл3. Для реализации исследования необходимо привлечение большого массива информации</p>
--	---

Продолжение Таблицы 5.3

<p><b>Возможности</b>                  В1. Расширение сферы участия в проектах, реализуемых в рамках программ ТПУ                  В2. Появление дополнительного спроса на исследования</p>	<p><b>Угрозы</b>                  У1. Развитие конкуренции                  У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>
---	---

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

Интерактивная матрица проекта представлена в Таблице 5.4. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 5.4 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта							
Возможности проекта		C1.	C2.	C3.	C4.	C5.	C6.
	B1.	+	+	+	+	0	+
	B2.	+	+	+	0	+	+
Слабые стороны проекта							
Возможности проекта		Сл1.		Сл2.		Сл3.	
	B1.	0		-		+	
	B2.	0		-		+	
Сильные стороны проекта							
Угрозы		C1.	C2.	C3.	C4.	C5.	C6.
	У1.	+	+	+	-	0	+
	У2.	-	-	-	-	-	-
Слабые стороны проекта							
Угрозы		Сл1.		Сл2.		Сл3.	
	У1.	-		-		-	
	У2.	+		0		+	

В рамках *третьего этапа* должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (Таблица 5.5).

Таблица 5.5 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны</b></p> <p>С1. Низкая цена проекта</p> <p>С2. Отсутствие подобного исследования на территории области</p> <p>С3. Достаточно высокая точность результатов</p> <p>С4. Распространённость и доступность объектов исследования</p> <p>С5. Экологичность проведенных исследований.</p>	<p><b>Слабые стороны</b></p> <p>Сл1. Удаленность территории объекта исследования</p> <p>Сл2. Погрешность методов анализа</p> <p>Сл3. Для реализации исследования необходимо привлечение большого массива информации.</p>
<p><b>Возможности</b></p> <p>В1. Расширение сферы участия в проектах, реализуемых в рамках программ ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на исследования</p>	<p>Привлечение дополнительного государственного финансирования для ТПУ;</p> <p>Быстрое продвижение исследования в связи с преимуществами данного исследования;</p> <p>Дополнительный спрос может появиться за счет универсальности исследования.</p>	<p>Проверка результатов, отправлять пробы на внешний и внутренний контроль.</p>
<p><b>Угрозы</b></p> <p>У1. Развитие конкуренции</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>	<p>Создание конкурентоспособного проекта.</p>	<p>Из-за относительной длительности анализа могут возникнуть проблемы с продвижением данного исследования.</p>

#### 5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого заполнена специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта (Таблица 5.6).

При проведении анализа по таблице, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен,



4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 5.6 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	3
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
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	6
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>60</b>	<b>60</b>

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.

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Согласно результатам Таблицы 5.6 суммарное количество баллов по категории степень проработанности научного проекта и уровня имеющихся знаний у разработчика соответствуют требованиям соответственно (60 и 60), что указывает на готовность научного проекта к коммерциализации с перспективой выше среднего (45-59 баллов).

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

### **5.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

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

Инжиниринг будет предполагать предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов лабораторных услуг, связанных с проведением экспериментальных исследований по определению состава образцов ДТ, его физико-химических свойств и эксплуатационных характеристик, а также приготовление рецептур смешения смесей ДТ с низкотемпературными присадками и индивидуальными углеводородами.

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

Данные методы коммерциализации будут наиболее продуктивными в отношении данного проекта.

## 5.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта (Таблица 5.7).

Таблица 5.7 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ	Выпуск высококвалифицированных специалистов
Департамент нефтегазового комплекса	Получение рецептур приготовления низкозастывающих ДТ в рамках выполнения стратегического плана развития РФ

В Таблице 5.8 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 5.8 – Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Исследование влияния добавления индивидуальных углеводородов на эффективность действия депрессорных присадок
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Получение ДТ с улучшенными низкотемпературными свойствами
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Представление результатов определения низкотемпературных свойств чистых прямогонных топлив и смесей ДТ с депрессорными присадками и индивидуальными углеводородами

Продолжение Таблицы 5.8

<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b>
	Провести экспериментальные исследования состава ДТ, физико-химических свойств и эксплуатационных характеристик
	Анализ полученных данных и приготовление рецептур смешения ДТ с индивидуальными углеводородами и депрессорными присадками
	Провести экспериментальные исследования низкотемпературных свойств приготовленных смесей ДТ и провести анализ на соответствие требованиям ГОСТ 305-2013

В Таблице 5.9 представлена организационная структура проекта (роль каждого участника, их функции, трудозатраты).

Таблица 5.9 – Рабочая группа проекта

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО, основное место работы, должность</b>	<b>Роль в проекте</b>	<b>Функции</b>	<b>Трудозатраты, час.</b>
1.	Киргина М.В., доцент ОХИ ИШПР ТПУ	Руководитель проекта	Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения.	600
2.	Морозова Я.П., магистрант ОХИ ИШПР ТПУ	Исполнитель по проекту	Анализ литературных источников, проведение экспериментальных исследований, анализ лабораторных данных, написание работы	1600
<b>ИТОГО:</b>				2200

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта (Таблица 5.10).

Таблица 5.10 – Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения/ допущения</b>
3.1. Бюджет проекта	959890,97
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	01.09.2020-31.05.2022
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	15.09.2021
3.2.2. Дата завершения проекта	31.05.2022

## 5.3 Планирование управления научно-техническим проектом

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

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

### 5.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта (Рисунок 5.1).



Рисунок 5.1 – Иерархическая структура работ

### 5.3.2 План проект

В рамках планирования научного проекта построены календарный график проекта (Таблицы 5.11, 5.12).

Таблица 5.11 – Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Составление и утверждение технического задания	4	01.09.21	05.09.21	Киргина М.В.
Составление календарного плана работ	3	06.09.21	09.09.21	Киргина М.В.
Проведение литературного обзора – изучение материалов	90	10.09.21	09.12.21	Морозова Я.П.
Разработка плана экспериментальных работ	21	10.12.21	31.12.21	Морозова Я.П. Киргина М.В.
Подбор оборудования и образцов	30	01.01.22	31.01.22	Морозова Я.П., Киргина М.В.
Проведение лабораторных испытаний	40	01.02.22	12.03.22	Морозова Я.П.
Обработка полученных данных	20	13.03.22	02.04.22	Морозова Я.П.
Обсуждение результатов и выводов по проделанной работе	25	03.04.22	28.04.22	Морозова Я.П. Киргина М.В.
Оформление магистерской диссертации	32	29.04.22	31.05.22	Морозова Я.П.
Итого:	265			

Таблица 5.12 – Календарный план график проведения НИОКР по теме

Вид работ	Исполнители	Длительность дни	2021				2022				
			Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май
Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	■								
Составление календарного плана работ	Руководитель	3	■								
Проведение литературного обзора – изучение материалов	Магистрант	90		■	■	■	■				
Разработка плана экспериментальных работ	Руководитель	21					■				
	Магистрант	21					■				
Подбор оборудования и образцов	Руководитель	30						■			
	Магистрант	30						■			
Проведение лабораторных испытаний	Магистрант	40						■	■		
Обработка полученных данных	Магистрант	20								■	
Обсуждение результатов и выводов по проделанной работе	Руководитель	25									■
	Магистрант	25									■
Оформление магистерской диссертации	Магистрант	32									■



– Киргина М.В.



– Морозова Я.П.

## 5.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты сгруппированы по статьям. В данном исследовании выделены следующие статьи:

1. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты;
2. Специальное оборудование для научных работ;
3. Заработная плата;
4. Отчисления на социальные нужды;
5. Научные и производственные командировки;
6. Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями;
7. Накладные расходы.

*Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов).* В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме (Таблица 5.13).

Таблица 5.13 – Расчет затрат по статье «Сырье и материалы»

Наименование	Количество, ед.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Дизельное топливо	10 л.	50,0	500,0
Депрессорная присадка «Carlube»	1 шт.	200,0	200,0
Ацетон	0,1 кг	220,0	220,0
Термометр	2 шт.	1500,0	3000,0
Пипетка градуированная на 1 см <sup>3</sup>	10 шт.	45,0	450,0
Цилиндр мерный на 100 см <sup>3</sup>	5 шт.	200,0	1000,0
Пробирка с двойными стенками ТС	2 шт.	12500,0	25000,0
Всего за материалы		30370,0	
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			911,1
<b>Итого по статье</b>			<b>31281,1</b>

*Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.*

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением



специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме НИР (Таблица 5.14).

Амортизацию имеющего оборудования рассчитывается по формуле [67]:

$$\text{Амортизация} = \frac{\text{стоимость оборудования} \cdot \text{срок использования}}{\text{срок эксплуатации} \cdot 365} \quad (5.3)$$

Таблица 5.14 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Аналитические весы	1	15000,0	15000,0
2	Криостат жидкостной	1	240000,0	240000,0
3	Установка определения ПТФ	1	150000,0	150000,0
<b>Итого, руб.:</b>				<b>405000,0</b>

*Расчет основной заработной платы.* В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Расчет основной заработной платы сводится в Таблице 5.16.

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

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) 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;

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (5.6)$$

где:  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчет заработной платы научно – производственного и прочего персонала проекта проводили с учетом работы 2-х человек – научного руководителя и исполнителя. Баланс рабочего времени исполнителей представлен в Таблице 5.15.

Таблица 5.15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней – выходные дни + праздничные дни	53	53
Потери рабочего времени – отпуск	48	48
– невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	264	264

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (5.7)$$

где  $Z_{\text{б}}$  – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент (определяется Положением об оплате труда);

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

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

$$Z_m = Z_b \cdot k_p \quad (5.8)$$

Где  $Z_b$  – базовый оклад, руб.;

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

Согласно информации сайта Томского политехнического университета, должностной оклад (ППС) доцента кандидата наук в 2021 году без учета РК составил 33664 руб. [68], поскольку руководитель работает на 0,5 ставки, то оклад равен 16832. Расчет основной заработной платы приведен в Таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_b$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2020,3	83	167686,4
Магистрант	1988	-	-	1,3	2584,4	101,8	258	26266,9

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

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

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{оп} \quad (5.9)$$

Где  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

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

В Таблице 5.17 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 5.17 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	16768,6	16768,6
Дополнительная зарплата	26266,9	2626,8
Итого по статье С <sub>зп</sub>	193953,3	<b>19395,4</b>

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

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (5.10)$$

Где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчисления на уплату во внебюджетные фонды.

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ [69] установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%. Стипендиальные выплаты студентам, магистрам и аспирантам не облагаются налогом.

Отчисления на социальные нужды составляют:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3(193953,3 + 19395,4) = 64004,61 \text{ рублей}$$

*Научные и производственные командировки.* Включаются расходы по командировкам научного и производственного персонала, связанного с непосредственным выполнением конкретного проекта, величина которых, принимается в размере 10% от основной и дополнительной заработной платы всего персонала, занятого на выполнении данной темы.

Затраты на командировки составляют 30577,56 руб.

*Накладные расходы.* Расчет накладных расходов провели по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot (193953,3 + 19395,4) = 170678,96$$

где  $K_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов принят 0,8.

Таким образом, затраты проекта составляет 527291,57, которые приведены в Таблице 5.18.

Таблица 5.18 – Затраты научно-исследовательской работы

Вид исследования	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Научные и производственные командировки	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	Прочие прямые расходы	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
Данное исследование	31281,1	450000	213348,7	64004,61	30577,6	-	-	170678,96	<b><u>959890,97</u></b>
Аналог	35000	450000	243348,7	69832,17	30577,6	-	-	196195,12	1024953,59

### 5.4.1 Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная.

Для выбора наиболее подходящей организационной структуры можно использовать Таблицу 5.19.

Таблица 5.19 – Выбор организационной структуры научного проекта

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая
Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена на Рисунке 5.2.

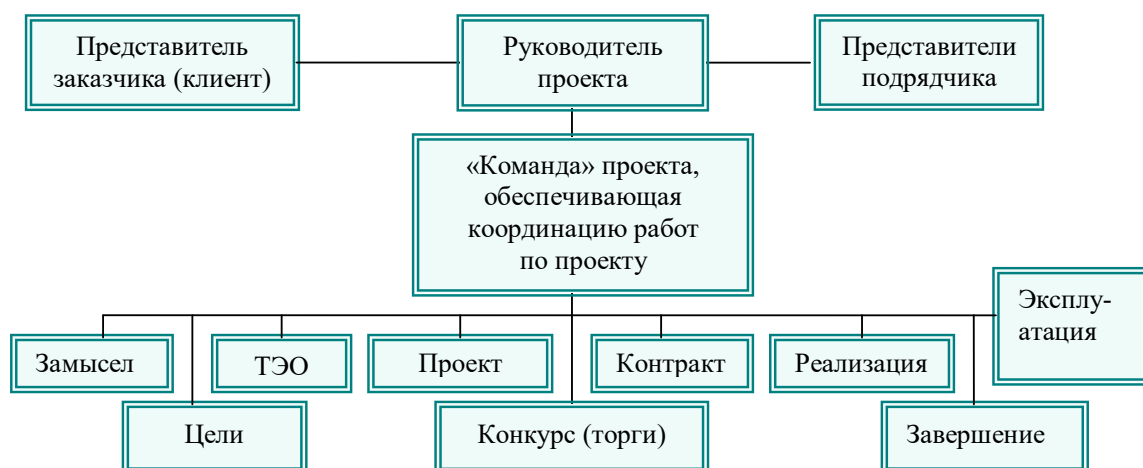


Рисунок 5.2 – Проектная структура проекта

### 5.4.2 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (Таблица 5.20).

Таблица 5.20 – План управления коммуникациями

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

### 5.4.3 Реестр рисков проекта

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

Информация по возможным рискам сведена в Таблицу 5.21.

Таблица 5.21 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Неточность метода анализа	3	5	Низкий	Повторение эксперимента	Сбой работы химического оборудования
2	Ошибка в составлении смесей ДТ с низкотемпературной присадкой	2	5	Высокий	Составление новой композиции ДТ и присадки	Невнимательность, спешка
3	Отсутствие интереса потребителей к результатам исследования	1	5	Низкий	Привлечение предприятий, публикация результатов	Отсутствие результатов исследования

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

### 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 оказывается эффективным.



Расчет чистой текущей стоимости представлен в Таблице 5.22. При расчете рентабельность проекта составляла **20 %**, норма амортизации – 10 %.

Себестоимость = 959890,97 руб.

Выручка = себестоимость · 1,2 = 1151869,2 руб.

Операционные затраты, руб. = сырье + амортизация + ЗП(осн+доп) + соц.отч. + науч.ком + контр.расх + накл.расх = 35% от бюджета = 335961,8 руб.

Таблица 5.22 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	<b>1151869,2</b>	<b>1151869,2</b>	<b>1151869,2</b>	<b>1151869,2</b>
2	Итого приток, руб.	0	1151869,2	1151869,2	1151869,2	1151869,2
3	Инвестиционные издержки, руб.	-959890,97	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб. (35% от бюджета)	0	335961,8	335961,8	335961,8	335961,8
5	Налогооблагаемая прибыль(1-4)	0	815907,4	815907,4	815907,4	815907,4
6	Налоги 20 %, руб.(5*20%)	0	163181,48	163181,48	163181,48	163181,48
8	Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	652725,92	652725,92	652725,92	652725,92
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.(чистая прибыль + амортизация)	-959890,97	748714,92	748714,92	748714,92	748714,92
10	Коэффициент дисконтирования при $i=20\%$ (КД)	1	<u>0,833</u>	<u>0,694</u>	<u>0,578</u>	<u>0,482</u>
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.(9*10)	-959890,97	<b>623679,5</b>	<b>519608,2</b>	<b>432757,2</b>	<b>360880,6</b>
12	<b><math>\sum</math> ЧДД</b>		<b>1936925,5 руб.</b>			
12	Итого NPV, руб.		<b>977034,53 руб.</b>			

$$NPV = 1936925,5 - 959890,97 = 977034,53 \text{ руб} > 0$$

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

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

где:  $i$  – ставка дисконтирования, 20 %; (10%);

$t$  – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 445315,13 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

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

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

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

$I_0$  – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом, PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{1936925,5}{959890,97} = 2,0$$

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

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

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования ( $i$ ) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в Таблице 5.23 и на Рисунке 5.3.

Таблица 5.23 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	
1	Чистые денежные потоки, руб.	-959890,97	748714,92	748714,92	748714,92	748714,92	NPV, руб.
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	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	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	0,1	-959890,97	680581,9	618438,5	562284,9	511372,3	1412786,6
	0,2	-959890,97	623679,5	519608,2	432757,2	360880,6	977034,5
	0,3	-959890,97	575761,8	443239,2	340665,3	262050,2	661825,5
	0,4	-959890,97	534582,5	381844,6	272532,2	194665,9	423734,2
	0,5	-959890,97	499392,9	332429,4	220870,9	148245,6	241047,8
	0,6	-959890,97	467946,8	291998,8	182686,4	114553,4	97294,5
	0,7	-959890,97	440244,4	250819,5	151989,1	83856,1	-32981,9
	0,8	-959890,97	416285,5	231352,9	128030,3	71127,9	-113094,4
	0,9	-959890,97	393824,0	207394,0	109312,4	57651,0	-191709,5
	1,0	-959890,97	374357,5	187178,7	93589,4	46420,3	-258345,1

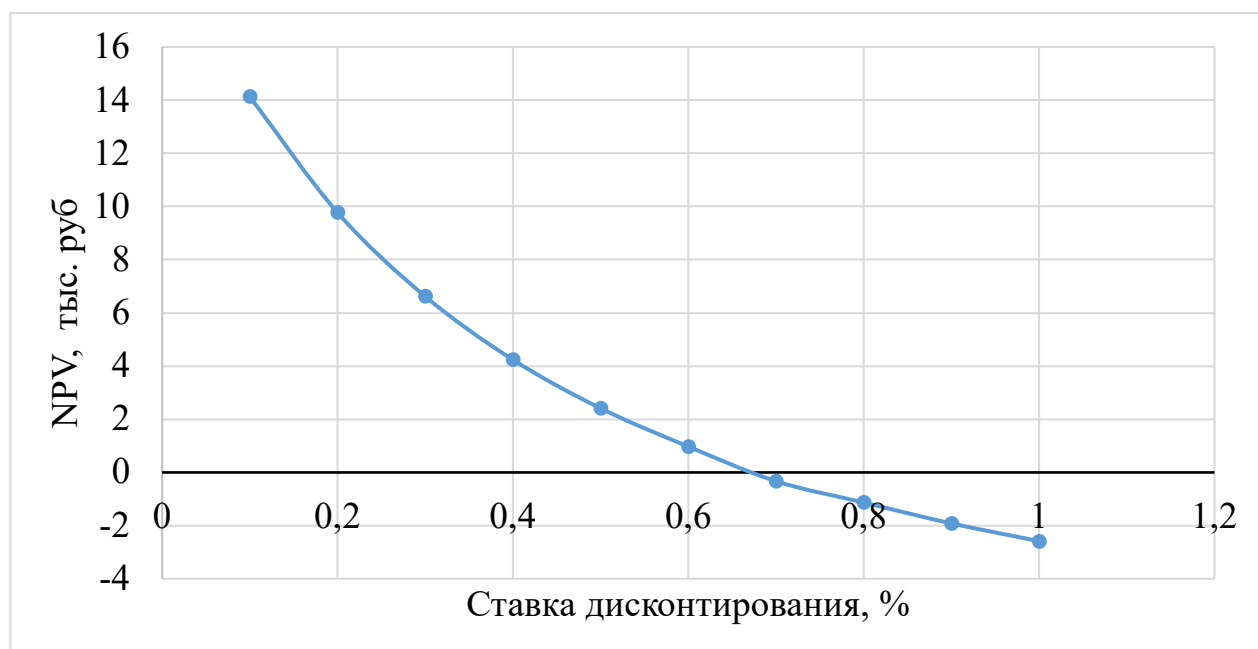


Рисунок 5.3 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь

отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,69.

$IRR > i$ , проект эффективен.

Запас экономической прочности проекта:  $69\% - 20\% = 49\%$

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

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

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (Таблица 5.24).

Таблица 5.24 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ( $i = 0,20$ ), руб.	-959890,97	623679,5	519608,2	432757,2	360880,6
2	То же нарастающим итогом, руб.	-959890,97	-336211,5	183396,7	616153,9	977034,5
3	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{диск} = 1 + (336211,5/519608,2) = 1,65$ года				

*Социальная эффективность научного проекта* учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населений 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 5.25).

Таблица 5.25 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Отсутствие информации об элементном составе природных объектов на территории рудопроявления	Впервые получены данные об элементном составе и количественных составляющих у природных объектов
Нехватка обширных и достоверных данных об аномалиях золота и сопутствующих элементах в природных объектах на территории рудопроявления	Обобщены и структурированы данные об аномалиях в природных объектах на территории рудопроявления

### 5.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (5.14)$$

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

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (5.15)$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

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

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (Таблица 5.26).

Таблица 5.26 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Выход продукта	0,20	5	5	3
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	3	3
3. Надежность	0,15	4	3	4
4. Безопасность	0,15	4	3	4
5. Простота эксплуатации	0,15	5	4	5
6. Возможность автоматизации данных	0,20	2	2	2
Итого	1	24	20	21

$$I_m^p = 5 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,20 = 3,95$$

$$I_1^A = 5 \cdot 0,20 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,20 = 3,35$$

$$I_2^A = 3 \cdot 0,20 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,20 = 3,4$$

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

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{ф}^p}; I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{ф}^a} \quad (5.16)$$

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

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} \quad (5.17)$$

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

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

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

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в Таблице 5.27.

Таблица 5.27 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,31	0,16	0,16
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,95	3,85	4,00
3	Интегральный показатель эффективности	23,12	22,83	23,03
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,02	1,01	1,0

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

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 977034,53 руб.; индекс доходности  $PI = 2,0$ , внутренняя ставка доходности  $IRR = 69\%$ , срок окупаемости  $PP_{\text{дск}} = 1,65$  года.

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

## **6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

В данном разделе рассматриваются вопросы соблюдения прав персонала на труд, выполнения требований к безопасности и гигиене труда, к промышленной безопасности, охране окружающей среды и ресурсосбережению. В соответствии со стандартом целями составления настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи в производстве, и снижение вредных воздействий на окружающую среду.

Объектом исследования являются образцы прямогонного дизельного топлива, депрессорная присадка, индивидуальные углеводороды и их смеси.

Цель работы – исследование влияния индивидуальных углеводородов на эффективность действия депрессорных присадок.

Область применения – нефтеперерабатывающая промышленность.

### **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

В данном разделе рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства и их особенности, применимые к условиям научно – исследовательской работы.

#### **6.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства**

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации каждый работник имеет право на [70]:

- 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.
- своевременную и в полном объеме выплату заработной платы в соответствии со своей квалификацией, сложностью труда, количеством и качеством выполненной работы;
- отдых, обеспечиваемый установлением нормальной (не более 40 часов в неделю) продолжительности рабочего времени, сокращенного рабочего времени для отдельных профессий и категорий работников, предоставлением еженедельных выходных дней, нерабочих праздничных дней, оплачиваемых ежегодных отпусков (28 календарных дней);
- подготовку и дополнительное профессиональное образование в порядке, установленном настоящим Кодексом, иными федеральными законами;
- обязательное социальное страхование в случаях, предусмотренных федеральными законами.

### **6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Экспериментальная часть работы магистра осуществлялась в лаборатории отделения химической инженерии Томского политехнического университета. Рабочим местом является химическая лаборатория отделения химической инженерии Томского политехнического университета. Лаборатория оборудована вентиляцией, водоснабжением и канализацией. Полы выполнены из жаростойкой и гидрофобной керамогранитной плитки. Лабораторные столы

имеют гладкие поверхности из материалов, не сорбирующих вредные вещества, и легко поддаются очистке.

Общая площадь химической лаборатории рассчитывается из условия 4,5 м<sup>2</sup> на одного человека и максимального числа одновременно занимающихся человек. Минимально допустимая высота помещения – 3,3 м. Минимальная ширина проходов – 0,7 м. Помимо лаборатории, в которой выполнялись непосредственно эксперименты, также имеются вспомогательные помещения химических лабораторий – препараторские, кладовые, весовые и моечные, располагаться в одном блоке с учебными лабораториями.

Лабораторное помещение оснащено индивидуальной системой вентиляции, не связанной с вентиляцией других помещений, т.к. в лаборатории проводят исследования с веществами 1, 2 и 3-го классов опасности.

Химическая лаборатория оснащена естественными и искусственными источниками освещения. Дополнительное освещение в лаборатории устанавливают так, чтобы можно было при необходимости менять направление светового потока.

## 6.2 Производственная безопасность

Исследование влияния индивидуальных углеводородов на эффективность действия депрессорных присадок может создать вредные и опасные факторы для работников исследования.

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация, перечень опасных и вредных факторов, характерных для рабочей среды, представлены в Таблице 6.1 [71].

Таблица 6.1 – Возможные опасные и вредные факторы [71]

Источник фактора (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разраб отка	Изгото вление	Эксплу атация	

1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>• СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»;</li> <li>• СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение;</li> <li>• СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирования;</li> <li>• ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;</li> <li>• ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность.</li> </ul>
2. Повышенный уровень шума		+	+	
3. Недостаточное освещение рабочей зоны	+	+	+	
4. Поражение электрическим током		+	+	
5. Токсическое воздействие веществ		+	+	
6. Возникновение пожара	+	+	+	

1) Отклонение показателей микроклимата:

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

Метеорологические условия производственной среды регламентируются санитарными нормами промышленных предприятий.

Согласно [72] выполняемая работа относится к категории Ia по тяжести выполняемых работ. Для данной категории работ определены оптимальные границы основных параметров микроклимата, которые приведены в Таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте [72]

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	Ia	23-25	22-26	60-40	0,1

Для того чтобы создать необходимые метеорологические условия рабочей зоны и предотвратить различные переохлаждения и перегревания организма должны быть использованы защитные мероприятия: системы местного кондиционирования воздуха и отопления, применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), регламент времени работы и т.д. К числу СИЗ от неблагоприятных климатических условий относят спецодежду и средства защиты рук.

## 2) Повышенный уровень шума согласно [73, 74]:

Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, вызывает психические и физиологические нарушения, снижение слуха, работоспособности, создает предпосылки для общих и профессиональных заболеваний, а также приводит к ослаблению памяти, внимания, нарушению артериального давления и ритма сердца.

Нормирующей характеристикой постоянного шума на рабочем месте является уровень звуковых давлений, составляющий 80 дБА [73, 74].

Минимизировать негативные последствия возможно путем выполнения следующих мероприятий:

- подбор рабочего оборудования, обладающего меньшими шумовыми характеристиками;
- использование всех необходимых технических средств (защитные экраны, кожухи, звукопоглощающие покрытия, изоляция);
- ограничение продолжительности и интенсивности воздействия до уровней приемлемого риска;
- ограничение доступа в рабочие зоны с уровнем шума более 80 дБА работников, не связанных с основным технологическим процессом;
- обязательное предоставление работникам средств индивидуальной защиты органа слуха.

## 3) Недостаточное освещение рабочей зоны:

Одним из важнейших элементов благоприятных условий труда является рациональное освещение помещений и рабочих установок. В лаборатории применяется естественное и искусственное освещение.

Недостаточное освещение рабочего места затрудняет длительную работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости.

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.

Для обеспечения нормативных значений освещенности в помещении проводится чистка стекол оконных рам и светильников, а также производится замена перегоревших световых приборов.

#### 4) Поражение электрическим током [75-77]:

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 должна обеспечиваться выполнением следующих мероприятий: соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей путем ограждения токоведущих частей, применением 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) Токсическое воздействие веществ:

При работе в лаборатории используются вредные вещества. ПДК в воздухе рабочей зоны, класс опасности и влияние на организм человека этих веществ указаны в Таблице 6.3

Таблица 6.3 – Предельно-допустимые концентрации токсичных веществ в воздухе рабочей зоны и их влияние на организм [78]

Вещество	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Воздействие на организм
Дизельное топливо	300	4	Вдыхание паров дизельного топлива, попадание их внутрь организма человека могут вызвать тяжелое отравление и вредно отразиться на здоровье человека. Вызывает у человека различные кожные заболевания, резкие боли и отеки, раздражает слизистую оболочку.
Толуол	300	3	Вещество может всасываться в организм при вдыхании, через кожу и через рот. Вещество раздражает глаза и дыхательные пути. Воздействие может вызвать депрессию центральной нервной системы. Воздействие в большой дозе может вызвать сердечную дисритмию, потерю сознания и смерть.
Ацетон	200	4	Длительное вдыхание больших концентраций паров ацетона приводит к возникновению воспаления слизистых оболочек, отёку лёгких и токсической пневмонии. При попадании внутрь вызывает состояние опьянения, сопровождаемое слабостью и головокружением, нередко – болями в животе; в существенных количествах возникает выраженная интоксикация. Возможно поражение печени, почек и коматозное состояние.

Для снижения риска химического воздействия в лаборатории разрешается работать только в полагающейся для каждого вида работ спецодежде. Для

исключения возможного внесения в организм вредных и ядовитых веществ в лаборатории запрещается хранить и принимать пищу, как и использовать лабораторную посуду в этих целях.

При работе с химическими реактивами в воздух поступают пары, газ или пыль, которые могут обладать ядовитыми или раздражающими свойствами. При накоплении в воздухе таких веществ могут возникнуть острые отравления. Для исключения загазованности и возможного отравления опасные химические эксперименты необходимо вести при включенной приточно-вытяжной вентиляции или в вытяжном шкафу.

### 6.3 Расчёт системы воздухообмена в помещении химической лаборатории

Необходимо рассчитать величину воздухообмена в помещении химической лаборатории площадью  $F_{\text{лаб}} = 20 \text{ м}^2$ , высота помещения  $h_{\text{лаб}} = 4 \text{ м}$ . В лаборатории находится 3 человека. Выделяющееся вредное вещество – ацетон. Количество  $m(\text{C}_3\text{H}_6\text{O})$  рассчитаем согласно методике, представленной в [79] по формулам:

Скорость воздушного потока рабочей зоны составляет 0,2 м/с согласно [79]. Температура в лаборатории 20°C, плотность ацетона составляет 792 кг/м<sup>3</sup>, а ДНП = 24,54 кПа при температуре 20°C. Объем испарившегося ацетона из мерного цилиндра объемом 0,001 м<sup>3</sup> (100 мл), диаметром цилиндра  $d = 30 \text{ мм}$ , высотой  $l = 215 \text{ мм}$  рассчитаем по формуле:

$$V_{\text{и.с.}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l = \frac{3,14 \cdot 0,03^2}{4} \cdot 0,21 = 0,148 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \quad (6.1)$$

Объем спирта, потупившего в помещение:

$$V_{\text{п.с.}} = V_{\text{цилиндра}} + V_{\text{и.с.}} = 0,1 \cdot 10^{-3} + 0,148 \cdot 10^{-3} = 0,248 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \quad (6.2)$$

Интенсивность испарения:

$$W_{\text{исп}} = 10^{-6} \cdot 3,5^{\sqrt{58,08}} \cdot 24,54 = 0,655 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2) \quad (6.3)$$

Количество  $m(\text{C}_3\text{H}_6\text{O})$ :

$$m = 0,655 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4 \cdot 3600 = 0,9432 \text{ кг}/\text{ч} \quad (6.4)$$

Предельно допустимая концентрация вредного вещества в обслуживаемой зоне  $x_B = 0,35 \text{ мг/м}^3$ , а концентрация вредного вещества в наружном воздухе  $x_H = 200 \text{ мг/м}^3$  [79].

Потребный воздухообмен определяется по формуле [79]:

$$L = \frac{1000 \cdot G}{x_B - x_H} \quad (6.5)$$

где  $L$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$  – потребный воздухообмен;  $G$ ,  $\text{г}/\text{ч}$  – количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения;  $x_B$ ,  $\text{мг}/\text{м}^3$  – предельно допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения;  $x_H$ ,  $\text{мг}/\text{м}^3$  – максимально возможная концентрация той же вредности в воздухе населенных мест. Зная  $m(\text{C}_3\text{H}_6\text{O})$ , рассчитаем потребный воздухообмен:

$$L = \frac{1000 \cdot 943,2}{200 - 0,35} = 4724,3 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Согласно СП 118.13330.2016 [80] кратность воздухообмена в помещении химической лаборатории должна составлять  $2 \text{ ч}^{-1}$ , при этом минимальный воздухообмен должен быть не менее  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$  на 1 человека.

Применяется также понятие кратности воздухообмена  $n$ , которая показывает, сколько раз в течение одного часа воздух полностью сменяется в помещении.

Кратность воздухообмена определяется по формуле [79]:

$$n = \frac{L}{V} = \frac{4724,3}{80} = 59,053 \text{ ч}^{-1} \quad (6.6)$$

где  $V$  – внутренний объем помещения,  $\text{м}^3$ . Согласно СП 2.4.3648-20, кратность воздухообмена  $n > 10$  недопустима.

Данное значение превышает установленную величину  $10 \text{ ч}^{-1}$ , поэтому необходимо принять дополнительное решение по устройству вентиляции в помещении. Например, таким решением может быть исключение распространения паров ацетона по всему помещению за счет применения местной вытяжной вентиляции. Расчет объёма воздуха удаляемого местной вентиляцией определяется по формуле [79]:

$$L_{\text{вытяжка}} = 3600 \cdot F \cdot v \quad (6.7)$$



где  $F$  – площадь сечения всасывающих отверстий,  $\text{м}^2$ ;  $v$  – скорость воздуха в сечении вытяжной вентиляции,  $\text{м/с}$ . Рекомендуется принимать значение скорости в интервале  $0,8-1,5$   $\text{м/с}$ . т.к. вытяжные отверстия расположены по всей лаборатории в количестве  $n = 4$ :

$$L_{\text{вытяжка}} = 3600 \cdot F \cdot v = 3600 \cdot 0,2 \cdot 4 \cdot 1,5 = 4320 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Таким образом, потребный воздухообмен для оставшихся вредных веществ принимаем для выделений паров ацетона:  $L = 404,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Выполним проверку:

$$n = \frac{L}{v} = \frac{404,3}{80} = 5,053 \text{ ч}^{-1}$$

Условие выполняется.

## 6.4 Экологическая безопасность

Сегодня производственная деятельность человечества связана с использованием разнообразных природных ресурсов, охватывающих большинство химических элементов. Охрана окружающей среды в последние годы стало одной из важнейших проблем человечества.

Среди загрязнителей окружающей среды (биологических, физических, химических и радиоактивных) одно из первых мест занимают химические соединения.

В данном случае существует несколько подходов к проблеме защиты окружающей среды:

- путем максимально эффективной очистки;
- создать замкнутую безотходную технологическую систему.

Для лаборатории наиболее применим первый вариант.

### 6.4.1 Воздействие на литосферу

Твердые отходы собираются в специальные сборники и увозятся для уничтожения. Наиболее опасными отходами для литосферы в условиях

лаборатории являются отработанные люминесцентные лампы, относящиеся к 1 классу опасности. Их утилизация производится согласно.

#### **6.4.2 Воздействие на гидросферу**

Вредное воздействие на гидросферу может оказывать химическое загрязнение водотоков в результате удаления неорганических и органических отходов в хозяйственно-бытовую канализацию [81]. Объем образующихся сточных вод и степень их загрязненности определяются технологическим процессом. При авариях, ремонте аппаратов, оборудования и трубопроводов категорически запрещается сброс в канализацию нефтяных и химических продуктов, не являющихся сточными водами. Сточные воды, сбрасываемые в сети канализации, не должны содержать вещества, вызывающие коррозию материала труб или их засорение, или обрастание.

#### **6.4.3 Воздействие на атмосферу**

Так как в условиях лаборатории выбросы в атмосферу характеризуются незначительным содержанием вредных газов и паров, то можно ограничиться только адсорбцией. 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.

### **6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Одним из важнейших факторов в безопасности жизнедеятельности людей является подготовленность к чрезвычайным ситуациям (ЧС). Чрезвычайную ситуацию можно квалифицировать следующим образом [82]:

- ЧС, связанная с авариями (пожары, взрывы, выброс вредных веществ в окружающую среду);
- ЧС, связанная со стихийными бедствиями (землетрясения, паводки, заморозки);

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией в лаборатории является пожар. Мероприятия, проводимые во время чрезвычайных ситуаций, представляют собой проведение спасательных работ и неотложных аварийно-восстановительных работ в очаге поражения. Данные мероприятия проводятся на основании положения комплекса государственных стандартов по предупреждению и ликвидации чрезвычайной ситуации и определены

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

При обнаружении пожара или признаков горения (задымление, запах гари, повышение температуры и т.п.) необходимо:

1. Немедленно прекратить работу и вызвать пожарную охрану по телефону 01, 101, 112 сообщив при этом адрес учебного корпуса, место возникновения, фамилию, имя, отчество, телефон;
2. Двигаться к ближайшему запасному выходу согласно плану эвакуации (Рисунок 6.1);

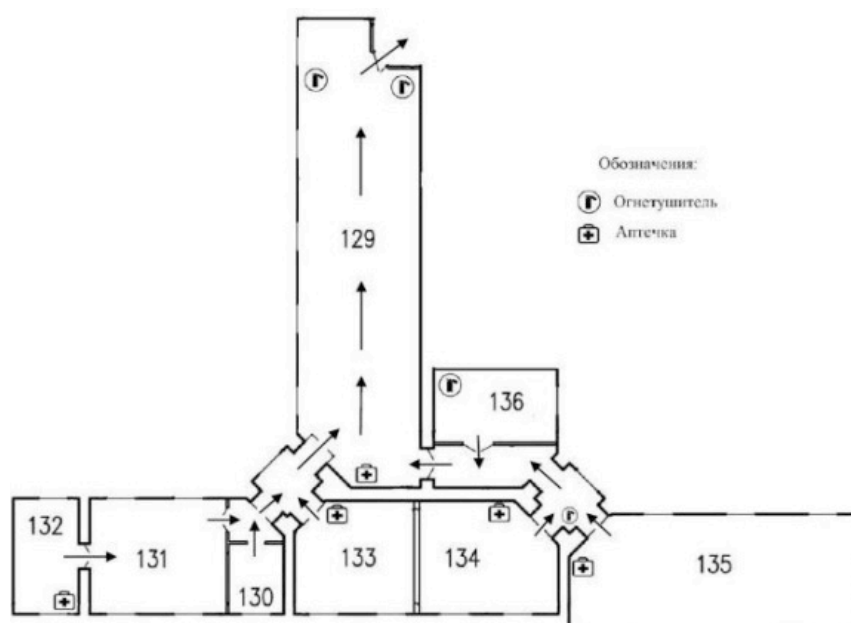


Рисунок 6.1 – План эвакуации

3. Ориентироваться по лампам аварийного освещения при эвакуации (светильникам зеленого цвета) в коридорах и на лестничных клетках;

4. Если помещение задымлено, дышать через влажный носовой платок и сохранять спокойствие;

5. Выйти из здания и удалиться от него на безопасное расстояние.

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

Проанализировав условия труда на рабочем месте, где выполнялась магистерская диссертация можно сделать вывод, что лаборатория, удовлетворяет предъявляемым требованиям и нормам. При соблюдении техники безопасности и правил работы в химической лаборатории данный вид работы не повлияет на здоровье работника.

Действие вредных и опасных факторов в лаборатории сведено к минимуму. Микроклимат, освещение и уровень шума удовлетворяют требованиям. При соблюдении описанных в работе правил утилизации отходов, деятельность в лаборатории не представляет опасности для экологии.

Помимо этого, была проанализирована чрезвычайная ситуация – пожар, который может возникнуть в лаборатории, и мероприятия, проводимые во время чрезвычайных ситуаций.

## Список публикаций студента

№	Наименование работы, ее вид	Характер работы	Выходные данные	Объем, стр.	Соавторы
<b>Публикации в рецензируемых научных изданиях, входящих в базы Scopus или Web of Science: 2</b>					
1	Expansion of the feedstock base for the production of diesel fuel by involving the heavy fractions and cold flow improvers	Печатная	Oil and Gas Science and Technology, 2020, Vol. 75, 31.	8	Maria Kirgina Ilya Bogdanov Nataliya Belinskaya Andrey Altynov
2	Simultaneous Change in the Fractional Composition and the Involvement of Depressant Additives to Obtain Low-Freezing Diesel Fuels	Печатная	ACS Omega, 2022, Vol. 7, 7.	12	Ilya Bogdanov Maria Kirgina Andrey Altynov
<b>Публикации в ведущих рецензируемых научных Российских и зарубежных журналах и изданиях, входящих в перечень ВАК: 3</b>					
1	Расширение сырьевой базы производства дизельных топлив вовлечением тяжелой дизельной фракции и использованием низкотемпературных присадок	Печатная	Нефтепереработка и нефтехимия, 2020, № 3, с. 10-15.	6	Богданов И.А. Никонова Н.П. Алтынов А.А. Белинская Н.С. Киргина М.В.
2	Исследование влияния узких дизельных фракций на эффективность действия депрессорных присадок	Печатная	Нефтепереработка и нефтехимия, 2020, № 9, с. 27-33.	7	Богданов И.А. Алтынов А.А. Киргина М.В.
3	Исследование взаимодействия депрессорных присадок и углеводородов, входящих в состав прямогонных дизельных топлив	Печатная	Технологии топлива и газа, 2022, № 1 (138), с. 13-18.	6	Богданов И.А. Алтынов А.А. Киргина М.В.

Доклады и тезисы докладов, опубликованные в материалах российской Международной (Всероссийской) конференции: 20					
1	Исследование влияния фракционного состава дизельного топлива на эффективность действия низкотемпературных присадок	Печатная	Материалы XX Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2019, с. 382-383.	2	Богданов И.А. Багдасарян Н.С.
2	Investigation the effect of diesel fuel fractional composition on the effectiveness of low-temperature additives	Печатная	Материалы XX Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2019, с. 513-514.	2	Bogdanov I.A. Bagdasaryan N.S.
3	Оценка возможности использования прямогонных дизельных топлив в качестве товарных продуктов	Печатная	Труды XXIII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр», посвященного 120-летию со дня рождения академика К.И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К.В. Радугина, Томск, 2019, Т. 2, с. 346-347.	2	Богданов И.А. Багдасарян Н.С.
4	Исследование возможности использования прямогонных дизельных топлив в качестве товарных продуктов	Печатная	Материалы XXIII Всероссийской конференции молодых учёных-химиков (с международным участием): тезисы докладов, Нижний Новгород, 2019, с. 503.	1	Богданов И.А. Багдасарян Н.С.
5	Перспективы малотоннажного производства низкозастывающих дизельных топлив с использованием присадок в условиях Арктики	Печатная	Материалы, технологии и техника для освоения Арктики и Сибири III Международной конференции, Томск, 2019, с. 49	1	Богданов И.А. Алтынов А.А.

6	Исследование влияния депрессорной присадки на низкотемпературные свойства узких дизельных фракций	Печатная	Материалы XXIII Всероссийской конференции молодых учёных-химиков (с международным участием): тезисы докладов, Нижний Новгород, 2020, с. 508.	1	Богданов И.А.
7	Оценка влияния узких дизельных фракций на низкотемпературные свойства композиций прямогонное дизельное топливо – низкотемпературная присадка	Печатная	Материалы XXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2020, с. 391-392.	2	Богданов И.А.
8	Assessment the influence of close-cut diesel fractions on the low temperature properties of straight-run diesel fuel – depressant additive blends	Печатная	Материалы XXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2020, с. 536-537.	2	Bogdanov I.A.
9	Исследование влияния добавления дизельной фракции 300-360 °С на эффективность действия депрессорной присадки	Печатная	Труды XXIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр», посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, Томск, 2020, Т. 2, с. 299-300.	2	Богданов И.А.
10	Исследование влияния добавления дизельной фракции 180-240 °С на эффективность действия депрессорной присадки	Печатная	Материалы XI Международной конференции, посвящённой 50-летию Института химии нефти СО РАН «Химия нефти и газа», Томск, 2020, с 110.	1	Богданов И.А.
11	Исследование влияния узких дизельных фракций на эффективность действия депрессорных присадок	Печатная	Материалы Национальной научно-практической конференции «Нефть и газ: технологии и инновации», Тюмень, 2020, Т. 2, с. 156-158.	3	Богданов И.А.

12	Выявление закономерностей влияния цетана на эффективность действия депрессорной присадки	Печатная	Материалы XXII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера, посвященной 125-летию со дня основания Томского политехнического университета «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2021, Т. 2, с. 74-75.	2	Богданов И.А.
13	Identification of the regularities of the cetane influence on the effectiveness of the depressant additive	Печатная	Материалы XXII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера, посвященной 125-летию со дня основания Томского политехнического университета «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2021, Т. 2, с. 212-213.	2	Bogdanov I.A.
14	Влияние добавления толуола и тетралина на эффективность действия депрессора	Печатная	Труды XXV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию горно-геологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания ТПУ «Проблемы геологии и освоения недр», Томск, 2021, Т. 2, с. 275-276.	2	Богданов И.А.



15	Содержание ароматических и нормальных парафиновых углеводородов в составе дизельного топлива как фактор различной приемистости депрессорных присадок	Печатная	Материалы XXIV Всероссийской конференции молодых учёных-химиков (с международным участием): тезисы докладов, Нижний Новгород, 2021, с. 260.	1	Богданов И.А.
16	Влияние углеводородов различных групп в составе дизельного топлива на эффективность действия низкотемпературных присадок	Печатная	Материалы I Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы науки и техники», Сарапул, 2021, с. 249-253.	4	Богданов И.А.
17	Содержание ароматических и нормальных парафиновых углеводородов в составе дизельного топлива как фактор различной приемистости депрессорных присадок	Печатная	Материалы IX Молодежной международной научно-практической конференции «Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность», тезисы докладов, Видное, с. 77-78.	2	Богданов И.А.
18	Исследование влияния индивидуальных нормальных парафиновых углеводородов на эффективность действия депрессорных присадок	Печатная	Материалы Национальной научно-практической конференции «Нефть и газ: технологии и инновации», Тюмень, 2021, Т. 2, с. 105-108.	4	—
19	Исследования влияния содержания n-парафинов средней молекулярной массы в составе дизельного топлива на эффективность действия депрессорных присадок	Печатная	Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию и Памяти ученого, горного инженера геолога, кандидата геолого-минералогических наук, профессора РАН, академика МАИ РК,	3	Богданов И.А.

			<p>член-корреспондента АМР РК Темирхан Ниязовича Жаркинбекова «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, экологии и химии с использованием современных образовательных технологий», Алматы, 2022, с. 388-390.</p>		
20	<p>Влияние различных n-парафинов на эффективность действия депрессора</p>	Печатная	<p>Материалы XXV Всероссийской конференции молодых учёных-химиков (с международным участием): тезисы докладов, Нижний Новгород, 2022, с. 327.</p>	1	Богданов И.А.

## Список использованных источников

1. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/> – Дата обращения: 02.04.2022.
2. Вербицкий В.В. Эксплуатационные материалы: учебное пособие / В.В. Вербицкий, В.С. Курасов, А.Б. Шепелев. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 76 с.
3. Об объеме производства нефтепродуктов со 2 по 8 сентября 2019 года и потребительских ценах на них [Электронный ресурс]. – URL: <http://au92.ru/msg/ob-obeme-proizvodstva-nefteproduktov-so-2-po-8-sentyabrya-2019-goda-i-potrebitelskikh-tsenakh-na-nikh.html> – Дата обращения: 02.04.2022.
4. Об объеме производства нефтепродуктов с 20 по 26 июля 2020 года и потребительских ценах на них [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/RZbtWfbJ/143.htm> – Дата обращения: 02.04.2022.
5. Об индексе потребительских цен в сентябре 2021 года [Электронный ресурс]. – URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/183\\_06-10-2021.html](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/183_06-10-2021.html) – Дата обращения: 02.04.2022.
6. Об объеме производства нефтепродуктов с 16 по 22 мая 2022 года и потребительских ценах на них [Электронный ресурс]. – URL: [https://gks.ru/bgd/free/B09\\_03/IssWWW.exe/Stg/d01/852022.htm](https://gks.ru/bgd/free/B09_03/IssWWW.exe/Stg/d01/852022.htm) – Дата обращения: 02.04.2022.
7. Карташевич А.Н. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: учебное пособие / А.Н. Карташевич, В.С. Товстыка, А.В. Гордеенко. – Минск: Новое знание, 2014. – 421 с.
8. Аминов, Л.А. Об улучшении низкотемпературных свойств дизельного топлива путем подбора физико-химического состава / Л.А. Аминов // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2019. – № 3(4). – С. 103-109.

9. ГОСТ 305-2013 «Топливо дизельное. Технические условия (Переиздание)» [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200107826> – Дата обращения: 15.04.2022.

10. ТР ТС 013/2011 Технический регламент Таможенного союза «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]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902307833> – Дата обращения: 15.04.2022.

11. Магарил Е.Р. Моторные топлива: учебное пособие / Е.Р. Магарил, Р.З. Магарил. – 2-е изд. – М.: КДУ, 2015. – 160 с.

12. Аникеев В.В. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебное пособие / В.В. Аникеев, М.В. Шестакова, А.С. Кревер. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – 188 с.

13. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учебное пособие для вузов. Уфа: Гилем, 2002. – 672 с.

14. Анисимов И.Г. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: справочник / И.Г. Анисимов, К.М. Бадыштова, С.А. Бнатов [и др.]. – М.: Издательский центр «Техинформ», 1999. – 596 с.

15. ГОСТ 3122-67 (СТ СЭВ 2877-81) «Топлива дизельные. Метод определения цетанового числа (с Изменениями N 1-4)» [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200007914> – Дата обращения: 15.04.2022.

16. Уханов А.П. Эксплуатационные материалы: учебник / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, А.А. Глущенко, А.Л. Хохлов. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 528 с.

17. Капустин В.М. Химия и технология переработки нефти / В.М. Капустин, М.Г. Родин – М.: Химия, 2013. – 496 с.

18. Капустин В.М. Технология переработки нефти. В 4-х частях. Часть первая. Первичная переработка нефти – М.: КолосС, 2012. – 456 с.

19. Физико-химические и низкотемпературные свойства дизельного топлива Западной Сибири / С.В. Гультяев, А.М. Глазунов, В.В. Дрогалев, С.Г. Агаев // Успехи современного естествознания. – 2005. – № 7. – С. 52-53.
20. Гайнуллин Р.Р., Гизятуллин Э.Т., Солодова Н.Л., Абдуллин А.И. Получение низкозастывающих нефтепродуктов методами депарафинизации // Вестник казанского технологического университета. – 2013. – № 10. – с. 257-265.
21. Бурюкин Ф.А., Косицына С.С., Савич С.А., Смирнова С.Е., Хандархаев С.В. Улучшение качества низкозастывающих дизельных топлив в процессе каталитической гидродепарафинизации // Известия Томского политехнического университета. Химия и химические технологии. – 2014. – № 3. – с. 14-22.
22. Кунанбаева И.А. Применение процесса гидрокаталитической депарафинизации для получения низкозастывающего дизельного топлива // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2012. – № 5. – с. 80-83.
23. Пат. 195578 СССР МПК 10 g. Способ депарафинизации дизельного топлива / Козлов Л.М., Вольперт В.И.; заявитель Казанский химико-технологический институт им. С.М. Кирова. – № 947827/23-4; заявл. 15.03.1965; опубл. 04.05.1967.
24. Депрессорные присадки к нефтяным топливам (обзор) / К.А. Кузьмин, К.И. Смышляева, В.А. Рудко, И.Н. Пягай // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2021. – № 12. – С. 3-10.
25. Данилов А.М, Применение присадок в топливах: справочник. – 3-е изд., доп. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2010. – 368 с.
26. Вафаев О.Ш., Таджиходжаев З.А., Джалилов А.Т. Сравнение эффективности новых синтезированных депрессорных присадок в дизельных топливах // Химия и химическая технология: достижения и перспективы. – 2018. – с. 208.1-208.3.

27. Зайнуллина А.Ш., Ташуат Д.А. Исследование влияния депрессорных присадок на физико-химические свойства нефтепродуктов // Вестник Алматинского технологического университета. – 2018. – № 4. – с.94-97.
28. Энглин Б.А. Применение жидких топлив при низких температурах. М.: Химия, 1980. 208 с.
29. Андреева, Л.Н. Депрессорные присадки и механизм их действия / Л.Н. Андреева, Л.В. Цыро, Ф.Г. Унгер // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 1 (55). – С. 126g-126.
30. Таранова Л.В., Гуров Ю.П., Агаев В.Г. Механизм действия депрессорных присадок и оценка их эффективности современные наукоемкие технологии. – Пенза: Издательский Дом «Академия Естествознания», 2008, – № 4. – с. 76-77.
31. Ивченко, П.В. Полимерные депрессорные присадки: синтез, микроструктура, эффективность / П.В. Ивченко, И.Э. Нифантьев // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 2018. – Т. 60. – № 5. – С. 384-401. – DOI 10.1134/S2308112018050061.
32. Рахимбабаева, М.Ш. Новый формат присадок, с улучшенными свойствами / М.Ш. Рахимбабаева, Д.М. Махманов // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 4. – С. 95-97.
33. Васильева Е.Н., Башкатова С.Т., Юдаев А.А., Савина А.Г. Топлива и присадки к ним // Сб. науч. трудов ВНИИ НП. Вып. 61. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1990. – с. 44-52.
34. Депрессорные присадки к нефтяным топливам (обзор) / К.А. Кузьмин, К.И. Смышляева, В.А. Рудко, И.Н. Пягай // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2021. – № 12. – С. 3-10.
35. Yao B., Li C., Yang F., Zhang X., Mu Z., Sun G., Zhao Y. Ethylene-Vinyl Acetate Copolymer and Resin-Stabilized Asphaltenes Synergistically Improve the Flow Behavior of Model Waxy Oils. 1. Effect of Wax Content and the

Synergistic Mechanism // Energy and Fuels. American Chemical Society, 2018. V. 32, № 2, p. 1567-1578.

36. Мухторов, Н.Ш. Эффективность депрессорных диспергирующих присадок в зависимости от фракционного состава дизельных топлив / Н.Ш. Мухторов, С.А. Карпов, В.М. Капустин // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2012. – № 10. – С. 46-48.

37. Митусова Т.Н., Полина Е.В., Калинина М.В. Современные дизельные топлива и присадки к ним. М.: Техника, 2002. 64 с.

38. Bogdanov I.A., Kirgina M.V., Morozova Y.P., Altynov A.A. Evaluation of the Feasibility of a Simultaneous Change in the Fractional Composition and the Involvement of Depressant Additives to Obtain Low-Freezing Diesel Fuels // ACS Omega. – 2022. – Vol. 7 – № 7. – p. 6086-6092. DOI: 10.1021/acsomega.1c06472.

39. Богданов И.А., Алтынов А.А., Морозова Я.П., Киргина М.В. Исследование влияния узких дизельных фракций на эффективность действия депрессорных присадок // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2020 – № 9. – С. 27-33.

40. Морозова Я.П., Богданов И.А. Исследование влияния добавления дизельной фракции 300-360 °С на эффективность действия депрессорной присадки // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XXIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, Томск, 6-10 Апреля 2020. – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – Т. 2. – С. 299-300.

41. Морозова Я.П., Богданов И.А. Оценка влияния узких дизельных фракций на низкотемпературные свойства композиций прямогонное дизельное топливо – низкотемпературная присадка // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 21-24 Сентября 2020. – Томск: ТПУ, 2020. – С. 391-392.

42. Морозова Я.П., Богданов И.А. Исследование влияния узких дизельных фракций на эффективность действия депрессорных присадок // Нефть и газ: технологии и инновации: материалы Национальной научно-практической конференции. В 3 томах, Тюмень, 19-20 Ноября 2020. – Тюмень: ТИУ, 2020. – Т. 2. – С. 156-158.

43. Буров Е.А., Иванова Л.В., Кошелев В.Н., Сорокина А.С. Влияние группового углеводородного состава дизельных топлив на эффективность действия депрессорных присадок // Химия и технология топлив и масел. 2020. – № 2. – С. 16-20.

44. Богданов И.А., Алтынов А.А., Белинская Н.С., Киргина М.В. Исследование влияния состава прямогонных дизельных топлив на эффективность действия низкотемпературных присадок // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2018. – № 11. – С. 37-42.

45. Богданов И.А., Морозова Я.П., Никонова Н.П., Алтынов А.А., Белинская Н.С., Киргина М.В. Расширение сырьевой базы производства дизельных топлив вовлечением тяжелой дизельной фракции и использованием низкотемпературных присадок // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2020. – № 3. – С. 10-16.

46. Энглин Б.А. Применение жидких топлив при низких температурах. М.: Химия, 1980. 208 с.

47. Майорова, О.О. Оценка низкотемпературных свойств дизельного топлива различного компонентного состава в присутствии депрессорных присадок / О.О. Майорова, А.Г. Мозырев // Нефть и газ Западной Сибири: Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Косухина Анатолия Николаевича, Тюмень, 15-16 октября 2015 года. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2015. – С. 277-282.

48. Хвостенко Н.Н. Разработка низкозастывающих дизельных топлив с депрессорными присадками: Дис. канд. техн. наук. М.: ВНИИ НП, 1998.



49. Carlube – смазки и присадки для автомобилей [Электронный ресурс] – URL: <http://www.carplan.ru/brands/?brand=Carlube> – Дата обращения 05.05.2022.

50. 30 ISO 12185:1996 «Нефть сырая и нефтепродукты. Определение плотности. Метод с применением осциллирующей U-образной трубки» [Электронный ресурс] – URL: <http://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=3630660> – Дата обращения 05.05.2022.

51. ГОСТ 33-2016 «Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости» [Электронный ресурс] – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200145229> – Дата обращения 05.05.2022.

52. Вискозиметр Штабингера SVM3000 (Anton Paar) [Электронный ресурс] – URL: <http://granat-e.ru/svm3000.html> – Дата обращения 03.04.2022.

53. ГОСТ 32139-2013 «Нефть и нефтепродукты. Определение содержания серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектрометрии» URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200108321> – Дата обращения 05.05.2022.

54. Анализатор рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный серы в нефти и нефтепродуктах Спектроскан S [Электронный ресурс] – URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/26465-04-spektroskan-s-24787> – Дата обращения 05.05.2022.

55. Анализаторы серы в нефти и нефтепродуктах Спектроскан S и Спектроскан SL [Электронный ресурс] – URL: [http://granat-e.ru/spektroskan\\_sl.html](http://granat-e.ru/spektroskan_sl.html) – Дата обращения 10.05.2022.

56. ISO 4264 «Petroleum products – Calculation of cetane index of middle-distillate fuels by the four variable equation» [Электронный ресурс] – URL: <http://docs.cntd.ru>. – Дата обращения 10.05.2022.

57. ГОСТ ISO 3405-2013 «Нефтепродукты. Определения фракционного состава при атмосферном давлении (с Изменением N 1)» [Электронный ресурс] – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200108426> – Дата обращения 10.05.2022.

58. Аппарат для разгонки нефтепродуктов «АРНС-1Э» [Электронный ресурс] – URL: <http://granat-e.ru/arns-1e.html> – Дата обращения 10.05.2022.
59. Сухинина О.С., Левашова А.И. Методические рекомендации к лабораторной работе «Определение группового и структурно-группового составов нефтяных фракций». Образовательная программа «Химическая технология топлива и углеродных материалов». – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 22 с.
60. ГОСТ 5066-91 «Топлива моторные. Методы определения температуры помутнения, начала кристаллизации и кристаллизации» [Электронный ресурс] – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200007918> – Дата обращения 12.05.2022.
61. ГОСТ 20287-91 «Нефтепродукты. Методы определения температур текучести и застывания» [Электронный ресурс] – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200005428> – Дата обращения 12.05.2022.
62. Комплект низкотемпературных приспособлений ГОСТ 5066 метод Б [Электронный ресурс] – URL: <https://www.geo-ndt.ru/pribor-7193-komplekt-nizkotemperaturnih-prisposoblenii-gost-5066-metod-b.htm> – Дата обращения 12.05.2022.
63. КРИО-Т-05-01 Термостат жидкостный низкотемпературный [Электронный ресурс] – URL: <https://termexlab.ru/#!/ru/product/krio-t-05-01-termostat-zhidkostnyij-nizkotemperaturnyj-133510/> – Дата обращения 12.05.2022.
64. ГОСТ EN 116- 2013 «Топлива дизельные и печные бытовые. Метод определения предельной температуры фильтруемости» [Электронный ресурс] – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200107899> – Дата обращения 12.05.2022.
65. Установка для определения ПТФ [Электронный ресурс] – URL: <https://labor.ru/ustanovka-dlya-opredeleniya-ptf> – Дата обращения 12.05.2022.
66. Пипетка ПТФ [Электронный ресурс] – URL: <https://labor.ru/ustanovka-dlya-opredeleniya-ptf> – Дата обращения 12.05.2022
67. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-

методическое пособие // И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницына. – 2014.

68. Профессиональная квалификационная группа должностей научных работников и руководителей структурных подразделений (научных. ДН ДН. пкг. Оклад) [Электронный ресурс] – URL: <https://portal.tpu.ru/www/> – Дата обращения 20.05.2022.

69. Трудовой кодекс Российской Федерации от 24.07.2009 № 212-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru>, свободный. Дата обращения: 20.05.2022.

70. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020) [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru>, свободный. Дата обращения: 20.05.2022.

71. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. –М.: Стандартинформ, 2019. –10 с.

72. СанПиН 2.2.4.548-96. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 20 с.

73. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. М.: – Издательство стандартов, 1988. – 11 с.

74. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки. М.: – Госкомсанэпиднадзор России, 1996. – 12 с.

75. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением N 1). – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2009. – 27 с.

76. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 29 июля 2017 года) [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <http://vsegost.com>, свободный. – Дата обращения: 22.04.2022 г.

77. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 1992. – 68 с.
78. ГН 2.1.6.3492-17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2019. – 55 с.
79. Расчет потребного воздухообмена. Методические указания к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей. – Томск: изд. ТПУ, 2005. – 16 с.
80. СанПиН 118.13330.2016. Общественные здания и сооружения. – М.: –Госкомсанэпиднадзор России, 2016. – 82 с.
81. ГОСТ 17.1.3.05-82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных и подземных вод от загрязнения нефтью и нефтепродуктами. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 3 с.
82. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2017. – 6 с

# Приложение А

(справочное)

Part 1

## Investigation of the influence of the content of aromatic and paraffinic hydrocarbons in the composition of diesel fuel on the effectiveness of depressant additives

(Literary review)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Морозова Яна Павловна		

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 ШБИП	Надеина Луиза Васильевна	к.филол.н.		

Томск – 2022

# 1 COMPOSITION AND PROPERTIES OF DIESEL FUEL

Diesel fuel (DF) is a liquid petroleum product used as fuel in a diesel internal combustion engine [2]. Middle fractions of oil distilled in the range from 140 to 360 °C, light catalytic and thermal cracking gas oils, and hydrocracking gas oils are used as commercial diesel fuel [7]. In appearance, diesel fuel is more viscous than gasoline, transparent liquid of yellow or light brown color, depending on the resin content. Diesel fuel, like gasoline, is lighter than water and practically does not dissolve in it.

## 1.1 Composition of diesel fuel

Diesel fuel contains various groups of hydrocarbons, in particular:

- normal paraffinic (n-paraffinic) hydrocarbons;
- isoparaffinic hydrocarbons;
- naphthenic hydrocarbons;
- aromatic hydrocarbons;
- heteroatomic compounds.

N-paraffin hydrocarbons are a desirable component of DF, as they are characterized by high self-ignition. The higher the molecular weight of the hydrocarbon, the higher the cetane number is. However, n-paraffins have not good low temperature properties and low solubility in hydrocarbons of other classes. Therefore, at low temperatures, n-paraffins form a low-mobility frame structure, which reduces the pumpability of fuel through pipelines and filters.

Isoparaffinic hydrocarbons, in contrast to n-paraffins, have low self-ignition and good low-temperature properties. The cetane number of these hydrocarbons decreases with the branching of the molecules.

Naphthenic hydrocarbons have an average self-ignition value. At the same time, naphthenic hydrocarbons also have good oxidizing and thermal properties, and good low-temperature characteristics.

Undesirable components in diesel fuel are aromatic hydrocarbons. Aromatic hydrocarbons have low cetane numbers, promote carbon formation in the combustion chamber and increase the emission of polycyclic aromatic hydrocarbons into the atmosphere. Also undesirable components in the composition of diesel fuel are heteroatomic compounds. Heteroatomic compounds consist mainly of sulfur compounds, and the presence of sulfur leads to the formation of chemically aggressive and toxic sulfur oxides. Heteroatomic compounds contain nitrogen, which is oxidized to nitrogen dioxide. Nitrogen oxides are able to react with water vapor in the air to form acids. Nitrogen oxides and acids pose a serious health hazard to humans.

DF as basic components contain straight-run middle distillate fractions of oil. Also, light catalytic cracking gas oil and fractions of other secondary processes are introduced into diesel fuel to expand the resource base. Straight-run fractions are characterized by good self-ignition. Based on the characteristics of the original oil, the low-temperature characteristics of straight-run fractions and the sulfur content in them vary.

The catalytic cracking fractions contain a large amount of unsaturated and aromatic hydrocarbons, therefore, they have low thermal stability. The sulfur content in these fractions varies depending on the cracking technology. Hydrocracking fractions are characterized by good low-temperature properties, high cetane number and low sulfur content, which can be considered a desirable component in diesel fuel composition.

## **1.2 Main properties of diesel fuel**

The physicochemical properties and operational characteristics of diesel fuel include: fractional composition and volatility, cetane number, viscosity and density, low-temperature properties, tendency to carbon formation, anti-corrosion properties, stability, the presence of mechanical impurities and water [2].

Fractional composition. Fractional composition is one of the most important properties of diesel fuel, which characterizes volatility. The fractional composition is

estimated according to three characteristic points of the graph of the dependence of the amount of condensate on the distillation temperature: the boiling point is 10, 50 and 90% vol. fuel, respectively,  $T_{10\%}$ ,  $T_{50\%}$  and  $T_{90\%}$  [12].

Cetane number. The main indicator of diesel fuel flammability is the cetane number (CN), numerically equal to the percentage of cetane in a mixture with  $\alpha$ -methylnaphthalene, which is equivalent to the test fuel in terms of self-ignition in a standard engine [13]. CN of DF characterizes its ability to self-ignite in the combustion chamber. The ignition of the combustible mixture in diesel engines occurs without an external source of ignition. Self-ignition of the mixture occurs under the influence of high temperature as a result of rapidly proceeding oxidation reactions [7]. The CN determines the engine start, the severity of the working process, fuel consumption and exhaust smoke. The higher the CN, the lower the pressure rise rate (Figure 1.1) and the less hard the engine works [14].

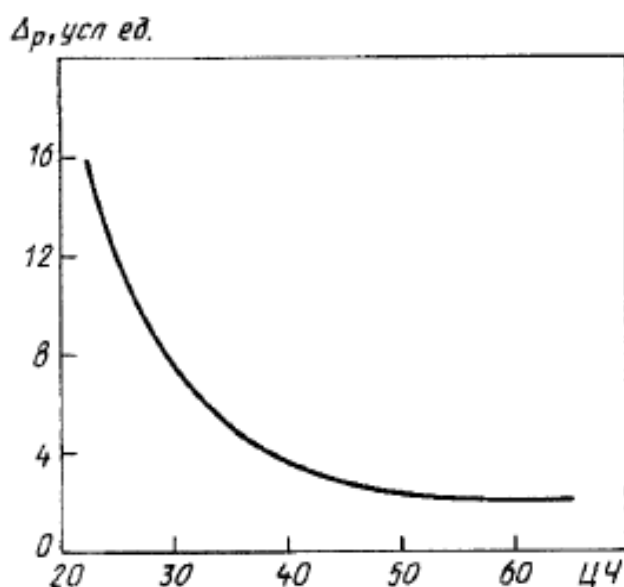


Fig. 1.1 Dependence of the rate of pressure rise on the CN of DF [14]

With an increase in CN, oxidation processes in the combustion chamber occur faster, the mixture ignites faster and the engine starts faster. The CN value is influenced by the hydrocarbon composition of the fuel, for example, n-paraffinic hydrocarbons have high CN values, while aromatic hydrocarbons without side chains have low CN values. Aromatic hydrocarbons with side chains have higher CN, and the CN is higher, the longer the paraffin chain.



In paraffinic hydrocarbons, the CN increases with increasing molecular weight, and decreases with branching. Unsaturated and naphthenic hydrocarbons have an average CN value. Unsaturated hydrocarbons have lower CN than paraffins, which correspond to them in structure, and naphthenic hydrocarbons are characterized by higher CNs than aromatics. The value of CN increases with an increase in the boiling point of the fuel, this dependence is almost linear, the only exceptions are individual fractions.

Experimentally, the CC is determined by the method of coincidence of flashes by the duration of the ignition delay period on installations with a single-cylinder engine IT9-3 and IT9-3M. These engines operate with a variable compression ratio and a constant crankshaft speed with fuel injection at a pressure of 106 atm.  $13^\circ$  before top dead center. The determination is carried out according to [15]. The essence of the definition is to compare the tested sample of fuel with reference fuels, the flammability of which is known. The first standard, the CN of which is taken as 100 points, is cetane ( $C_{16}H_{34}$ ) - a normal paraffin hydrocarbon, which has a very short ignition delay period and ensures smooth engine operation.  $\alpha$ -methyl-naphthalene ( $C_{10}H_{17}CH_3$ ) serves as the second standard, the CN of which is taken as 0 points. It is an aromatic hydrocarbon that is very difficult to oxidize and ignite, it also has a long ignition delay and causes harsh diesel engine operation. According to the requirements CN of DF should not be lower than 45 points [9].

Along with the CCH, the cetane index (CI) is determined. QI is an additional indicator. QI is determined by calculation in cases where the engine during testing is not available for direct determination of this indicator or there is a sample that does not meet the requirements of the method using the engine. Also, CI can be used to confirm CN of the fuel, if it was previously set.

Low temperature characteristics. Low temperature properties are very important performance characteristics of diesel engines, as they are related to the mobility of the fuel at low temperature or the ability of the fuel to flow from the fuel tank to the engine without interruption. The presence of dissolved paraffin hydrocarbons in diesel fuel has a great influence on low-temperature characteristics,

since when the temperature drops, paraffin molecules crystallize, as a result of which the fuel loses its mobility and is poorly pumped through pipelines and filters. Low temperature properties are characterized by cloud point, cold filter plugging point and pour point.

Cloud point (CP) is the temperature at which, together with the liquid phase of the fuel, a solid appears and the phase composition of the fuel changes. At this moment, the appearance of the fuel changes, from transparent it becomes cloudy, while not losing fluidity. Paraffin crystals are just beginning to form, they are not large and pass through the filters quite well, forming only a thin paraffin film on them. When CP is lower than the ambient temperature, normal operation of the engine is ensured. With further cooling of diesel fuel, the amount of the solid phase increases, paraffin crystals grow and form framework structures. The fluidity of the fuel deteriorates, it stops passing through the filters and clogs them. The temperature at which this phenomenon occurs is called the cold filter plugging point temperature (CFPP). A further decrease in temperature leads to a complete loss of fuel mobility. The frame structures acquire a branched structure, the length of the chains increases, and the fuel solidifies. In this case, one speaks of the pour point (PP) of diesel fuel.

The possibilities of using fuel at low temperatures are judged by PTF. According to the PTF value, commercial fuels are divided into brands: summer (S), inter-season (I), winter (W) and arctic (A). Requirements for brands according to [7] are presented in Table 1.1.

*Table 1.1*

Requirements for CFPP of DF [9]

Name of indicator	Brand value			
	S	I	W	A
CFPP, °C, not higher	-5	-15	-25...-35	-45

Density and viscosity. The density and viscosity determine the shape and structure of the fuel jet, the size of the droplets formed, and the penetration distance of the fuel droplets into the combustion chamber [16].

Viscosity is the most important physical constant. There are dynamic, kinematic and conditional viscosity. Dynamic or absolute viscosity is the property of real fluids to resist shear forces. From the dynamic viscosity, one can judge the kinematic. Kinematic viscosity is the ratio of dynamic viscosity to its density at the same temperature. The ratio of the outflow time through the calibration hole of a standard viscometer to the outflow time of distilled water is called the relative viscosity [17].

Low viscosity values provide better atomization of the fuel in the combustion chamber, since with an increase in this indicator, the diameter of the injected fuel droplets increases (Figure 1.2).

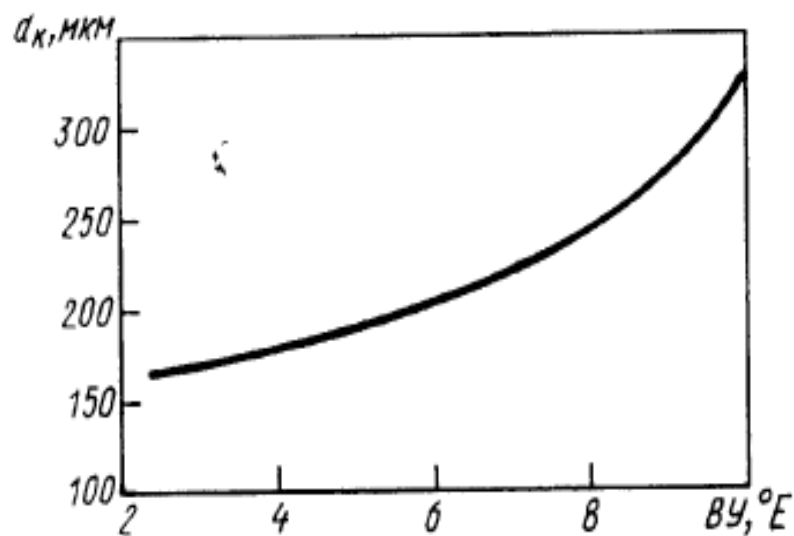


Fig. 1.2 Dependence of the fineness of fuel atomization (average droplet diameter  $d_k$ ) on its conditional viscosity (VC)

Also, with an increase in the viscosity of the fuel, its complete combustion decreases with a subsequent increase in the specific fuel consumption, and the opacity of the exhaust gases increases. However, an excessive decrease in this indicator can lead to the formation of small droplets that worsen the uniformity of the air-fuel mixture, which subsequently leads to a deterioration in the lubricating properties of the fuel and an increase in pump wear. Therefore, according to [9], the requirements presented in Table 1.2, are imposed on the value of the kinematic viscosity of diesel fuel.

Table 1.2

Requirements for the viscosity of DF [9]

Name of indicator	Brand value			
	S	I	W	A
Kinematic viscosity at 20 °C, mm <sup>2</sup> /s	3,0-6,0	3,0-6,0	1,8-5,0	1,5-4,0

The viscosity of the fuel depends on its hydrocarbon composition. Aliphatic hydrocarbons have the lowest viscosity. Aliphatic hydrocarbons change their viscosity to a lesser extent with decreasing temperatures, and branched aliphatic hydrocarbons, which have two or three carbon atoms in their chains, have a higher viscosity, and when it is cooled, it changes more sharply. The decrease in viscosity is affected by the presence of double bonds in the molecules of aliphatic hydrocarbons. Aromatic and naphthenic rings in molecules contribute to an increase in viscosity and a decrease in the viscosity-temperature dependence.

Absolute density is the amount of mass of a substance per unit volume. Relative density is also distinguished, which is a dimensionless quantity and is equal to the ratio of the mass of the oil product to the mass of pure water, taken in the same volume as the oil product [18]. An increase in fuel density affects the mixture formation process in the following way: the length of the fuel jet increases, engine efficiency deteriorates, and smoke increases. A decrease in this indicator reduces the length of the jet, as a result of which the mixture formation process worsens. Density values are also normalized by the state standard (Table 1.3) [9].

Table 1.3

Requirements for the density of DF [9]

Name of indicator	Brand value			
	S	I	W	A
Density at 15 °C, kg/m <sup>3</sup> , no more	863,4	863,4	843,4	833,5

Sulfur content. A very important indicator of the quality of diesel fuel is the sulfur content. First of all, total sulfur, mercapate sulfur and hydrogen sulfide have a corrosive effect on metals. The absence of these connections is clearly regulated by

the copper strip test. If the fuel passed the test, the content of free sulfur in it does not exceed 0.0015% wt., and hydrogen sulfide - 0.0003% wt. [15]. The sulfur content is regulated similarly to the previously considered characteristics according to [9] (Table 1.4).

Also, according to [11], the mass fraction of sulfur is normalized in relation to environmental classes (Table 1.5), since sulfur is one of the elements that negatively affect the environment.

*Table 1.4*

Requirements for the content of sulfur compounds in DF [9]

Name of indicator	Value for class			
	S	I	W	A
Mass fraction of sulfur, mg/kg, no more	2000 500			
Mass fraction mercaptan sulfur, %, no more	0,01			
Mass fraction of hydrogen sulfide	Absence			
Copper plate test	Withstands. Class 1			

*Table 1.5*

Requirements for the sulfur content in diesel fuel according to [10]

Characteristics of DF	Unit of measurement	Environmental class standard			
		C2	C3	C4	C5
Mass fraction of sulfur, no more	mg/kg	500	350	50	10

However, it should be noted that the lubricity of diesel fuel also depends on the sulfur content. With a low sulfur content, lubricity is reduced, which leads to increased wear of the high pressure pump plunger and a decrease in the service life of other units of the fuel system.

## 2 METHODS FOR STUDYING THE COMPOSITION AND CHARACTERISTICS OF DIESEL FUELS

### 2.1 Method for determining density and viscosity

According to the methods presented in [50] and [51], such characteristics of diesel fuel as density, dynamic viscosity and kinematic viscosity were determined. The density and viscosity of the samples were measured at temperatures of 15 °C and 20 °C using the Stabinger SVM3000 Viscometer Anton Paar (Figure 2.1)



Fig. 2.1 Stabinger SVM3000 Viscometer Anton Paar [52]

A disposable syringe is filled with sample DF and placed in the built-in measuring cell. The sample enters the outer cylinder of the engine, which also contains a hollow titanium rotor. When the engine is turned on, the difference between the speeds of rotation of the cylinder and the rotor is measured. As a result, the characteristics of viscosities and densities are output on the display of the viscosimeter [52].

## 2.2 Method for determining the sulfur content

The sulfur content in diesel fuel samples was determined according to the method presented in [53]. Two samples of the DF were irradiated using the energy-dispersive X-ray fluorescence analyzer "SPECTROSCAN S" (Figure 2.2). The sample was placed in a beam of rays emitted by an X-ray source.



Fig. 2.2 – Energy-dispersive X-ray fluorescence analyzer "SPECTROSCAN S" [54]

## 2.3 Method for determining the cetane index

According to the method presented in [55], the CI of diesel fuel samples was calculated. The following formulas were used:

$$CI = 45,2 + 0,0892 \cdot T_{10N} + (0,131 + 0,901 \cdot B) \cdot T_{50N} + (0,0523 - 0,42 \cdot B) \cdot T_{90N} + [0,00049 \cdot (T_{10N}^2 - T_{90N}^2)]107B + 60B^2$$

$$T_{10N} = T_{10\%} - 215;$$

$$T_{50N} = T_{50\%} - 260;$$

$$T_{90N} = T_{90\%} - 310;$$

$$B = [\exp \exp (-0,0035 \cdot D_N)] - 1$$

$$D_N = D - 850$$

where CI – the cetane index, points;

T10%, T50%, T90% – boiling point of 10%, 50%, 90% (by volume) fraction, °C;

D – the fuel density at 15 °C, kg/m<sup>3</sup>.

## 2.4 Method for determining the fractional composition

The fractional composition of the studied DF samples was determined according to the procedure presented in [57].

The fuel was dispersed on the ADAPP-S apparatus (Figure 2.3). The test sample is heated, then evaporated and cooled in a refrigerator. At the end, the condensate was taken.

The test sample is taken in an amount of 100 ml and placed in a distillation flask. The flask is placed in the distillation apparatus and uniform heating occurs.

The experiment is carried out until the cracking of the sample begins to proceed or all the liquid from the bottom of the flask evaporates.



Fig. 2.1 – Apparatus for distillation of oil and oil products ADAPP-S [58]

## 2.5 Method for determining the group composition

The group composition of diesel fuel was determined based on the aniline method [59]. The method is based on the determination of the aniline point (the temperature that corresponds to the complete mutual dissolution of aniline and oil



when they are mixed and heated). The aniline point was determined by two methods: equal volumes and maximum aniline points. The first method consists in determining the temperature of complete dissolution in each other of equal volumes of aniline and the studied samples of DF, using the dearomatized fraction. The second method is based on the determination of aniline points by several determinations of the dissolution temperatures of narrow fractions of diesel fuel in increasing amounts of aniline. Next, the mass fraction of arenes in the initial fraction and the mass fraction of cycloalkanes in the dearomatized fraction were calculated based on aniline points. Then the arenes were removed and, according to the aniline coefficients, the mass fraction of cycloalkanes in the initial fraction was recalculated. At the end, the mass fraction of alkanes in the initial fraction was calculated.

## **2.6 Method for determining cloud and pour points**

The cloud point (CP) and pour point (PP) were determined according to the methods presented in [60] and [61]. A test tube with double walls (Figure 2.4) filled with the sample was immersed in a liquid low-temperature thermostat KRYO-T-05-01 (Figure 2.5). There was a gradual cooling. After 1–2 °C, the test tube was removed from the cryostat and compared with a pre-prepared fuel sample at room temperature. When the fuel became cloudy relative to the standard, CP was noted. With a further decrease in temperature, the fuel solidified and PP was noted.



Fig. 2.4 Tube with double walls [62]



Fig. 2.5 Liquid low-temperature thermostat KRYO-T-05-01 [63]

## **2.7 Method for determining the cold filter plugging point**

The cold filter plugging point (CFPP) of the samples was determined according to the method presented in [64]. In a low-temperature liquid thermostat

KRYO-T-05-01 (Figure 2.5), the sample was gradually cooled using the CFPP determination unit the cold filter plugging point measuring (Figure 2.6). At intervals of 1 °C, the test sample was automatically collected through a standardized wire mesh filter into a glass pipette under controlled vacuum. If the test sample failed to fill the pipette within 60 s, the experiment was terminated and CFPP was noted.



Fig. 2.6 Unit the cold filter plugging point measuring [65]