

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

Институт Институт природных ресурсов
Направление подготовки (специальность) Химическая технология
Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка методики расчета цетановых индексов смесевых дизельных топлив

УДК 66.02

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2В	Богданов Илья Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Киргина Мария Владимировна	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор кафедры ЭБЖ	Ахмеджанов Рафик Равильевич	д.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ХТТ и ХК	Юрьев Егор Михайлович	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения
по направлению подготовки бакалавров
18.04.01 «Химическая технология»

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

P9	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-14), Критерий 5 АИОР (п.2.2), CDIO (пп.3.2, 3.3)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, <i>демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве</i> , ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3), CDIO (пп.4.7, 4.8, 3.1)

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

Институт Институт природных ресурсов
Направление подготовки (специальность) Химическая технология
Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

Юрьев Е.М.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2В	Богданов Илья Александрович

Тема работы:

Разработка методики расчета цетановых индексов смесевых дизельных топлив	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	11.03.2016, № 1749/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Экспериментальные данные с промышленных установок производства компонентов дизельных топлив по фракционному составу, плотности и цетановым индексам. Образцы дизельных топлив. Рецептуры смешения товарных дизельных топлив.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Обзор литературы 1.1 Дизельные двигатели внутреннего сгорания 1.2 Дизельные топлива 1.3 Основные эксплуатационные характеристики и физико-химические свойства дизельных топлив 1.4 Цетановое число и цетановый индекс дизельных топлив 1.5 Расчетные способы определения цетанового индекса дизельных топлив 1.6 Использование расчетных способов определения цетанового индекса для разработки

	рецептур смешения дизельных топлив 2 Объект и методы исследования 2.1 Производство дизельного топлива 2.2 Актуальные направления развития производства дизельного топлива 3 Расчеты и аналитика 3.1 Сравнение методов расчета цетанового индекса дизельных топлив и выбор наиболее точного метода расчета 3.2 Неаддитивность цетанового индекса дизельных топлив 4 Результаты проведенного исследования 4.1 Неаддитивность фракционного состава 4.2 Использование истинных температур кипения дизельных фракций для определения фракционного состава смеси 4.3 Методика расчета цетанового индекса смесевых дизельных топлив 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6 Социальная ответственность
Перечень графического материала	нет
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Т. Г.
Социальная ответственность	Ахмеджанов Р.Р.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
нет	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.03.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Киргина М.В.	к.т.н.		01.03.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2В	Богданов Илья Александрович		01.03.2016

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2В	Богданов Илья Александрович

Институт	Природных ресурсов	Кафедра	ХТТ и ХК
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	ХТПЭ и УМ

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности исследования качества дизельных топлив.

Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2В	Богданов Илья Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2В	Богданов Илья Александрович

Институт	ИПР	Кафедра	ХТТиХК
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	«Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является дизельное топливо. Рабочая зона – компьютеризированная аудитория. Область применения данного исследования – нефтепереработка.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).	Выявление вредных и опасных факторов рабочего места (компьютерного класса), характеризующих процесс взаимодействия трудящихся с рабочей средой при разработке методики расчета. <i>Вредные факторы:</i> – недостаточное освещение рабочего места; – повышенный уровень электромагнитных излучений; – вибрации; <i>Опасные факторы:</i> – нестабильная подача электрического тока; – пожароопасность; – вентиляция научно-исследовательской лаборатории; – микроклиматические условия. Выявление вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования: <i>Вредные факторы:</i> – вредные вещества; <i>Опасные факторы:</i> – пожароопасность; – взрывоопасность
2. Экологическая безопасность: – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению	– Выбросы, которые выделяются во время производственного процесса и проходят через вентиляционную систему; – Сбросы химических отходов в канализационную сеть; – Отходы в загружаемые в контейнеры;

экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	– Разработана методика по обеспечению экологической безопасности
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	– Перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения: • производственные аварии, • стихийные бедствия, • ЧС конфликтного характера; – Разработка действий на случай возникновения ЧС и мер по ликвидации ее последствий: • Использование средств пожаротушения; • Эвакуация персонала в случае стихийного бедствия; • В случае ЧС конфликтного характера задействовать охрану предприятия.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 31.12.2014) – Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны являются технический перерыв, наличие зоны отдыха работника, проветривание помещения.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ ИНК	Ахмеджанов Р.Р.	д.б.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2В	Богданов Илья Александрович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 105 с., 3 рис., 35 табл., 51 источник, 3 прил.

Ключевые слова: цетановый индекс, методика расчета, рецептура смешения, товарное дизельное топливо, неаддитивность.

Объект исследования – дизельные топлива и их компоненты (прямогонные и гидроочищенные фракции). Предметом исследования является цетановый индекс дизельных топлив полученных смешением различных компонентов.

Цель работы – создание методики расчета цетановых индексов смесевых дизельных топлив.

В процессе исследования:

- Установлен наиболее точный метод расчета цетанового индекса дизельных топлив;
- На основании заводских и лабораторных данных доказана неаддитивность цетанового индекса дизельных топлив;
- Разработана методика расчета цетанового индекса смесевых дизельных топлив с учетом неаддитивности данной характеристики.

В результате исследования была разработана методика расчета цетанового индекса дизельных топлив, получаемых смешением различных компонентов, с учетом возникающей неаддитивности.

Экономическая эффективность/значимость работы: разработанная методика может быть использована для прогнозирования цетановых индексов и расчета оптимальных рецептур приготовления смесевых дизельных топлив с учетом состава и расхода, вовлекаемых в смешение потоков, что обеспечит выпуск топлива, соответствующего всем требованиям стандартов, а также позволит избежать перерасхода высококачественных и дорогостоящих компонентов.

Оглавление

Введение.....	13
1 Обзор литературы	15
1.1 Дизельные двигатели внутреннего сгорания	15
1.2 Дизельные топлива.....	17
1.3 Основные эксплуатационные характеристики и физико-химические свойства дизельных топлив.....	22
1.3.1 Групповой состав дизельных топлив	24
1.3.2 Фракционный состав дизельных топлив	26
1.4 Цетановое число и цетановый индекс дизельных топлив	26
1.4.1 Экспериментальное определение цетанового числа	27
1.5 Расчетные способы определения цетанового индекса дизельных топлив	27
1.6 Использование расчетных способов определения цетанового индекса для разработки рецептур смешения дизельных топлив	29
2 Объект и методы исследования	34
2.1 Производство дизельного топлива	34
2.2 Актуальные направления развития производства дизельного топлива	35
3 Расчеты и аналитика	39
3.1 Сравнение методов расчета цетанового индекса дизельных топлив и выбор наиболее точного метода расчета	39
3.2 Неаддитивность цетанового индекса дизельных топлив	40
4 Результаты проведенного исследования	45
4.1 Неаддитивность фракционного состава	45
4.2 Использование истинных температур кипения дизельных фракций для определения фракционного состава смеси.....	46
4.3 Методика расчета цетанового индекса смесевых дизельных топлив.....	47
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	51

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования	51
5.2 SWOT-анализ.....	52
5.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	53
5.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	71
6 Социальная ответственность	74
6.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов на рабочем месте	74
6.1.1. Освещение на рабочем месте.....	75
6.1.2. Уровень электромагнитных полей и мягкого рентгеновского излучения	75
6.1.3. Обеспечение электро- и пожарной безопасности на рабочем месте	76
6.1.4 Микроклимат на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ.....	77
6.2 Анализ выявленных вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	78
6.2.1 Описание рабочего места (станции смешения дизельных топлив)	78
6.2.2. Характеристика вредных факторов которые может создать объект исследования.....	79
6.2.3. Характеристика опасных факторов которые может создать объект исследования.....	79
6.3 Охрана окружающей среды	83
6.3.1 Воздействие ССДТ на атмосферу.....	83
6.3.2 Воздействие ССДТ на гидросферу.....	83
6.3.3 Воздействие ССДТ на литосферу.....	84
6.3.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	84
6.3.5 Правовое обеспечение	86
Выводы	87
Список публикаций студента.....	88
Список использованных источников	89
Приложение А	95
Приложение Б.....	98

Приложение В.....	102
-------------------	-----

Введение

Дизельное топливо, является одним из основных товарных продуктов, производимых на любом нефтеперерабатывающем заводе. На сегодняшний день производство дизельного топлива только в России составляет порядка 100 млн. тонн в год, вместе с тем, все большее внимание уделяется качеству данного нефтепродукта.

Современные дизельные топлива, как правило, не являются чистыми прямогонными продуктами, а получают смешением прямогонных и гидроочищенных дизельных фракций, присадок и добавок в процессе компаундирования. Необходимость компаундирования обусловлена ужесточением требований к качеству дизельных топлив: содержанию серы, низкотемпературным свойствам, цетановому индексу.

Вместе с тем, экспериментальное определение ключевой эксплуатационной характеристики смесевых дизельных топлив – цетанового индекса является крайне сложным и дорогостоящим процессом. Для разработки оптимальных рецептур смешения дизельных топлив, а также планирования и эффективного управления процессом производства данного нефтепродукта актуальным является разработка точных и надежных способов расчета цетановых индексов смесевых дизельных топлив.

Таким образом, целью данной работы является разработка методики расчета цетановых индексов смесевых дизельных топлив с учетом возникающей неаддитивности. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- Установить наиболее точный метод расчета цетанового индекса дизельных топлив;
- На основании заводских и лабораторных данных доказать, что цетановый индекс дизельных топлив является неаддитивной величиной;

- Разработать методику расчета цетанового индекса смесевых дизельных топлив с учетом неаддитивности данной характеристики.

Объект исследования в данной работе являются дизельные топлива и их компоненты (прямогонные и гидроочищенные фракции). Предмет исследования – цетановый индекс дизельных топлив полученных смешением различных компонентов.

Научная и практическая новизна работы: в ходе работы установлено, что цетановый индекс смесевых дизельных топлив является неаддитивной величиной, разработана методика расчета данной характеристики с учетом возникающей неаддитивности.

Практическая значимость работы: разработанная методика может быть использована для прогнозирования цетановых индексов и расчета оптимальных рецептур приготовления смесевых дизельных топлив с учетом состава и расхода, вовлекаемых в смешение потоков, что обеспечит выпуск топлива, соответствующего всем требованиям стандартов, а также позволит избежать перерасхода высококачественных и дорогостоящих компонентов.

Реализация и апробация работы: работа была представлена на пяти Международных конференциях и двух Международных симпозиумах.

1 Обзор литературы

1.1 Дизельные двигатели внутреннего сгорания

Дизельные двигатели внутреннего сгорания (ДВС) существенно отличаются от бензиновых. Основные различия в работе дизельного и бензинового двигателей заключаются в способах образования и воспламенения рабочей смеси. Именно устройством и принципом работы двигателя обусловлены требования, предъявляемые к дизельному топливу [1].

Дизельные двигатели относятся к двигателям с внутренним смесеобразованием. Впрыскивание топлива в цилиндр через форсунку происходит в конце процесса сжатия. При этом скорость струи топлива достигает 150-400 м/с. Температура, необходимая для самовоспламенения, создается в такте сжатия, в ходе которого температура воздуха при его сжатии до 3-5,5 МПа повышается до 700-900 °С [2].

В дизельном двигателе может использоваться четырехтактный или двухтактный цикл. В автомобильных двигателях обычно используется четырехтактный цикл. При первом такте движения поршня вниз втягивает воздух через открытый впускной клапан. При втором такте, так называемом сжатии, воздух, втянутый в цилиндр, сжимается поршнем, который движется вверх. Степень сжатия составляет от 14:1 до 24:1. В конце такта сжатия форсунка впрыскивает топливо в нагретый воздух при давлении до 1500 кгс/см². К началу третьего такта (рабочего хода) мелко распыленное топливо самовоспламеняется и на протяжении всего такта сгорает в цилиндре почти полностью. Высвобождаемая при этом энергия давит на поршень. Поршень снова движется вниз, преобразуя химическую энергию в механическую работу. Во время четвертого такта (выпуска) отработавшие газы вытесняются движущимся вверх поршнем через открытый выпускной клапан. После этого двигатель снова начинает всасывать воздух для нового рабочего цикла [3].

Существенным различием между карбюраторным и дизельным ДВС является и то, что при сжатии чистого воздуха нет ограничений в степени сжатия (кроме прочности цилиндра), которая для дизельных двигателей может достигать 20-40, и поэтому дизельный двигатель намного экономичней карбюраторного [4]. Порции топлива, впрыскиваемого в цилиндр, таковы, чтобы при горении обеспечивался коэффициент избытка воздуха порядка 1,0-1,2. В зависимости от режима работы двигателя (от холодного до форсированного режима) регулируются и порции подаваемого топлива [4].

Удельная доля дизельных двигателей растет благодаря следующим преимуществам:

- на 30-35% меньше расходуют более дешевое топливо;
- средняя температура рабочего цикла в дизельных двигателях ниже, что облегчает его охлаждение;
- применение в дизельных двигателях более тяжелого по сравнению с бензином топлива обеспечивает пожарную безопасность, облегчает транспортирование и хранение его;
- допускают большие перегрузки и отличаются большей устойчивостью в работе;
- выхлопные газы менее токсичны;
- за счет значительно меньшего времени контакта топлива с воздухом (топливо в дизельных двигателях впрыскивается только к концу такта сжатия) полностью устраняется опасность возникновения детонационного сгорания;
- практически неограниченная возможность обеднения горючей смеси, что позволяет изменять мощность дизельных двигателей только путем регулирования подачи топлива при постоянном расходе воздуха;
- возможность использования топлив с различной испаряемостью: среднестиллятных, утяжеленных, а при определенных условиях и легких типа бензина и керосина [5].

Однако наряду с этим дизельные двигатели имеют ряд недостатков и конструктивных особенностей:

- несколько меньше динамика разгона;
- большой шум и вибрация при работе двигателя;
- чувствительная топливная система;
- ухудшение запуска при низких температурах;
- не терпит высоких оборотов, и как следствие высоких скоростей, поскольку топливо не успевает догорать в цилиндрах;
- большая масса, меньшая литровая мощность;
- чаще требуется замена масла и фильтров, масло необходимо более высокого качества;
- для запуска дизельного двигателя необходим аккумулятор большей емкости и более мощный стартер;
- ремонт дизельного двигателя обычно дороже ремонта бензинового двигателя того же класса [6].

Все это поставило почти во всех странах задачу первостепенной важности: постепенно увеличить долю дизельных двигателей на транспорте и довести ее до 60-65%. Особо поставлен вопрос о переходе на дизельные двигатели на легковом автотранспорте [4].

1.2 Дизельные топлива

Дизельное топливо – один из массовых видов топлив в России [4]. Объемы производства дизельного топлива различных сортов в России за период 2010-2013 г. приведены на Рисунке 1.1 [7].

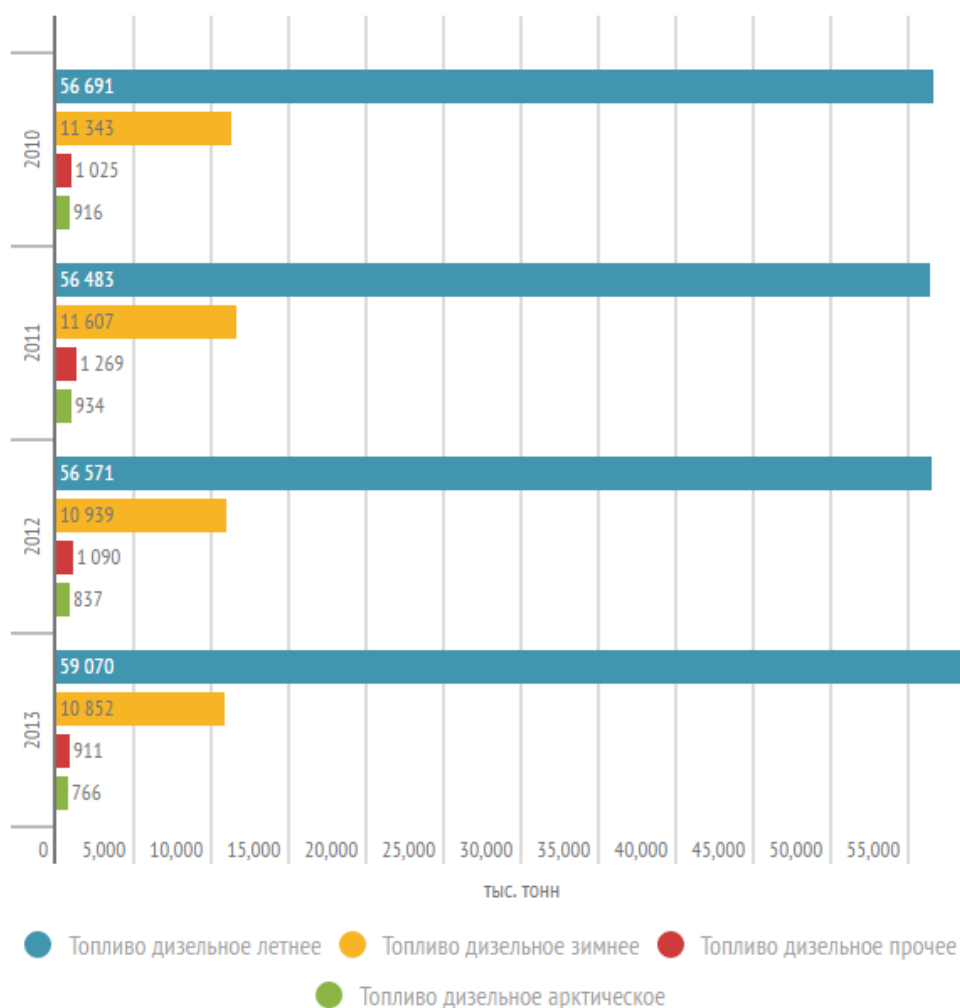


Рисунок 1.1 – Динамика производства дизельных топлив в Российской Федерации за период 2010-2013 годы

Из графика следует, что происходит непрерывный рост потребления дизельных топлив и их доли в общем объеме топлив за счет увеличения доли автомобильного транспорта с дизельными двигателями.

Дизельное топливо занимает третье место после нефти и газа в структуре экспорта России. Каждый год мировой рынок потребляет по несколько миллионов тонн дизельного топлива. В Западной Европе дизтопливо особенно популярно – ведь при заправке качественным дизельным топливом и регулярном уходе дизельный двигатель способен отработать 500000 километров без капитального ремонта. Дизельный двигатель становится в мире все популярнее для оснащения современных автомобилей [8].

Однако удовлетворение возросшего спроса на дизельные топлива осложнено рядом фактором [9]:

- ростом потребления авиационного керосина и снижением в связи с этим отбора дизельных фракций из нефти;
- увеличением производства зимнего дизельного топлива, что приводит к снижению температуры конца кипения дизельных фракций и уменьшению выхода дизельного топлива на 30-40% от потенциального содержания в нефти;
- производством жидких парафинов для микробиологической промышленности, снижающим выработку дизельного топлива на 14-16%.

Известно, что дизельные топлива используются в двигателях с воспламенением от сжатия и стационарных газотурбинных установках (ГТУ). Это – если речь идет о легких топливах, кипящих в пределах 150-360 °С и применяемых для быстроходных дизельных двигателей и ГТУ. Но понятие «дизельные топлива» шире и включает в себя самые тяжелые фракции нефти, которые применяются для среднеоборотных и тихоходных двигателей [4].

С 1 января 2015 года в России дизельное топливо производится в соответствии с ГОСТ 305 – 2013 «Топливо дизельное. Технические условия». Марки имеют буквенное обозначение Л – летнее, Е – межсезонное, З – зимнее, А – арктическое (Таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Марки дизельного топлива и требования, предъявляемые к ним, согласно ГОСТ 305-2013 «Топливо дизельное. Технические условия»

Наименование показателя	Значение для марки				Метод испытания
	Л	Е	З	А	
1 Цетановое число, не менее	45				По <u>ГОСТ 32508</u> , <u>ГОСТ 3122</u>
2 Фракционный состав:					По <u>ГОСТ ISO 3405</u> , <u>ГОСТ 2177</u> (метод А)
50% перегоняется при температуре, °С, не выше	280	280	280	255	
95% (по объему) перегоняется при температуре °С, не выше	360	360	360	360	
3 Кинематическая вязкость при 20 °С, мм	3,0-6,0	3,0-6,0	1,8-5,0	1,5-4,0	По ГОСТ 33

4 Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С не ниже:					По ГОСТ ISO 2719, ГОСТ 6356
для тепловозных и судовых дизелей и газовых турбин	62	62	40	35	
для дизелей общего назначения	40	40	30	30	
5 Массовая доля серы, мг/кг, не более	2000				По стандарту ГОСТ 32139, ГОСТ 19121
	500				По ГОСТ ISO 20846
6 Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,01				По ГОСТ 17323
7 Массовая доля сероводорода	Отсутствие				По ГОСТ 17323
8 Испытание на медной пластинке	Выдерживает. Класс 1				По ГОСТ 6321, ГОСТ ISO 2160, ГОСТ 32329
9 Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствие				По ГОСТ 6307
10 Кислотность, мг КОН на 100 см топлива, не более	5				По ГОСТ 5985
11 Йодное число, г йода на 100 г топлива, не более	6				По ГОСТ 2070
12 Зольность, %, не более	0,01				По ГОСТ 1461
13 Коксуемость, 10%-ного остатка, не более	0,2				По ГОСТ 32392, ГОСТ 19932
14 Общее загрязнение, мг/кг, не более	24				По стандарту [16]
15 Содержание воды, мг/кг, не более	200				По стандарту [17]
16 Плотность при 15 °С, кг/м, не более	863,4	863,4	843,4	833,5	По стандартам [18]-[22]
17 Предельная температура фильтруемости, °С, не выше	Минус 5	Минус 15	Минус 25	-	По ГОСТ 22254, ГОСТ EN 116
	-	-	Минус 35	Минус 45	

Требования к характеристикам дизельного топлива также устанавливаются Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 013/2011 «О требованиях к бензинам автомобильному и авиационному, дизельному и судовому топливам, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» (Таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Марки дизельного топлива и требования, предъявляемые к ним, согласно Техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 013/2011 «О требованиях к бензинам автомобильному и авиационному, дизельному и судовому топливам, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту»

Характеристики дизельного топлива	Нормы в отношении экологического класса			
	K2	K3	K4	K5
1. Массовая доля серы, мг/кг, не более	500	350	50	10
2. Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже:				
для летнего и межсезонного дизельного топлива	40	40	55	55
для зимнего и арктического дизельного топлива	30	30	30	30
3. Фракционный состав – 95 процентов объемных перегоняется при температуре °С, не выше	360	360	360	360
4. Массовая доля полициклических ароматических углеводородов, %, не более	–	11	11	8
5. Цетановое число для летнего дизельного топлива, не менее	45	51	51	51
6. Цетановое число для зимнего и арктического дизельного топлива	не определяется	47	47	47
7. Смазывающая способность, мкм, не более	не определяется	460	460	460
8. Предельная температура фильтруемости, °С, не выше:				
дизельного топлива летнего	не определяется	не определяется	не определяется	не определяется
дизельного топлива зимнего	минус 20	минус 20	минус 20	минус 20
дизельного топлива арктического	минус 38	минус 38	минус 38	минус 38
дизельного топлива межсезонного	минус 15	минус 15	минус 15	минус 15

Летнее дизельное топливо получается смешением прямогонных, гидроочищенных и вторичного происхождения углеводородных фракций с температурой выкипания 180-360 °С. Рост температуры конца выкипания приводит к усиленному закоксуыванию форсунок и дымности.

Зимнее дизельное топливо получается смешением прямогонных, гидроочищенных и вторичного происхождения углеводородных фракций с температурой выкипания 180-340 °С. Также зимнее дизельное топливо получается из летнего дизельного топлива добавлением депрессорной присадки, которая снижает температуру застывания топлива, однако слабо меняет температуру предельной фильтруемости.

Арктическое дизельное топливо получается смешением прямогонных, гидроочищенных и вторичного происхождения углеводородных фракций с температурой выкипания 180-320 °С. Пределы выкипания арктического топлива примерно соответствуют пределам выкипания керосиновых фракций, поэтому данное топливо – по сути утяжеленный керосин. Однако чистый керосин имеет низкое цетановое число 35-40 и недостаточные смазывающие свойства. Для устранения данных проблем в арктическое топливо добавляют цетаноповышающие присадки и минеральное моторное масло для улучшения смазывающих свойств. Более дорогой способ получения арктического дизельного топлива – депарафинизация летнего дизельного топлива [10].

Далее приведены требования, которым должны удовлетворять дизельные топлива для обеспечения стабильной работы двигателя:

- обеспечивать хороший пуск двигателя, т.е. воспламеняться с малой задержкой;
- иметь оптимальные фракционный состав и вязкость, обеспечивающие хорошую испаряемость, распыление топлива и смазку насоса;
- давать малое нагарообразование;
- иметь установленные нормой низкотемпературные свойства (для зимнего и арктического топлива);
- не вызывать коррозии, т.е. иметь низкую кислотность.

1.3 Основные эксплуатационные характеристики и физико-химические свойства дизельных топлив

Цетановое число – характеристика воспламеняемости дизельного топлива, определяющая период задержки горения рабочей смеси (промежуток времени от впрыска топлива в цилиндр до начала его горения). Чем выше цетановое число, тем меньше задержка и тем более спокойно и плавно горит топливная смесь [11].

Цетановое число численно равно объёмной доле цетана ($C_{16}H_{34}$, гексадекана), цетановое число которого принимается за 100, в смеси с α -метилнафталином (цетановое число которого, в свою очередь, равно 0), когда эта смесь имеет тот же период задержки воспламенения, что и испытываемое топливо в тех же условиях [12].

Оптимальным значением цетанового числа является диапазон 40-50 пунктов. Ниже 40 пунктов наблюдается жесткая работа двигателя, а при значении более 50 пунктов увеличивается расход топлива за счет уменьшения полноты его сгорания.

Плотность топлива – это количество его массы в килограммах, которое помещается в одном кубическом метре. Данная величина не постоянная и зависит от температуры дизельного топлива, что плохо сказывается на работе двигателя автомобиля, если топливо по плотности плохого качества. Чем выше температура жидкости, тем меньше ее плотность и наоборот. Так же известен тот факт, что чем выше плотность автомобильного топлива, тем тяжелее его фракционный состав.

Вязкость – это свойство жидкого топлива оказывать сопротивление перемещению его частиц под действием внешних сил. Вязкость – один из основных показателей топлива, определяющий качество его распыления в камере сгорания. Марка топлива характеризуется кинематической вязкостью. Единица кинематической вязкости – $мм^2/с$ (вязкость $1 мм^2/с$ имеет дистиллированная вода при 293 К). При повышении температуры вязкость топлив уменьшается, поэтому всегда указывают температуру, при которой вязкость определялась.

Температура вспышки – наименьшая температура летучего конденсированного вещества, при которой пары над поверхностью вещества способны вспыхивать в воздухе под воздействием источника зажигания, однако устойчивое горение после удаления источника зажигания не возникает. Вспышка – быстрое сгорание смеси паров летучего вещества с воздухом, сопровождающееся кратковременным видимым свечением.

Температуру вспышки следует отличать как от температуры воспламенения, при которой горючее вещество способно самостоятельно гореть после прекращения действия источника зажигания, так и от температуры самовоспламенения, при которой для инициирования горения или взрыва не требуется внешний источник зажигания.

Температура помутнения – максимальная температура, при которой в топливе появляется фазовая неоднородность, топливо начинает мутнеть вследствие выделения микроскопических капелек воды, микрокристаллов льда или углеводородов. Применять топливо можно только до его помутнения.

Температура застывания – температура, при которой топливо в стандартных условиях теряет подвижность (в наклонной под углом 45° пробирке уровень топлива остается неподвижным в течение 1 мин). Застывание топлива связано с кристаллизацией растворенного в нем парафина. Поэтому температура застывания зависит от химического состава топлива. В эксплуатации температуру застывания учитывают при хранении топлива, выборе режима подогрева и перекачке топлива.

Предельная температура фильтруемости – это температура, при которой топливо после охлаждения в определенных условиях перестает проходить через фильтр или продолжительность фильтруемости 20 см^3 топлива превышает 60 секунд.

1.3.1 Групповой состав дизельных топлив

Дизельные топлива в качестве базовых компонентов содержат прямогонные среднестиллятные фракции. С целью расширения сырьевой базы в них вводят легкий газойль каталитического крекинга и фракции других вторичных процессов. Поскольку прямогонные и вторичные дизельные фракции содержат сравнительно много (около 1%) серы, их подвергают гидроочистке.

Нормальные парафиновые углеводороды характеризуются хорошей самовоспламеняемостью. Их цетановые числа достигают 100 ед. и тем выше,

чем выше молекулярная масса углеводородов. Недостатком н-парафинов являются плохие низкотемпературные свойства и низкая растворимость в углеводородах других классов. Это приводит к тому, что при пониженных температурах н-парафины выпадают из топлива в виде мелких кристаллов, которые растут и объединяются друг с другом, образуя в конечном счете малоподвижную структуру. В результате ухудшается прокачиваемость топлива через трубопроводы и фильтры и в конечном счете топливо застывает.

Изопарафиновые углеводороды характеризуются хорошими низкотемпературными свойствами, но плохой самовоспламеняемостью. Чем больше разветвленность молекулы углеводорода, тем ниже его ЦЧ.

Нафтеновые углеводороды по самовоспламеняемости находятся между н-парафиновыми и ароматическими углеводородами. Они отличаются хорошими окислительной и термической стабильностью, низкотемпературными свойствами.

Ароматические углеводороды имеют очень низкие цетановые числа. Кроме того, они способствуют повышенному нагарообразованию в камере сгорания и увеличению эмиссии полициклических ароматических углеводородов. Поэтому они – нежелательные компоненты дизельных топлив, несмотря на отличные низкотемпературные свойства.

Гетероатомные соединения дизельных топлив представлены преимущественно соединениями серы: сульфидами, дисульфидами, тиофенами и их производными. Наличие серы в топливе считается недостатком, так как приводит к образованию химически агрессивных и токсичных оксидов серы. Поэтому дизельные топлива подвергают гидроочистке, доводя концентрацию серы до требуемых норм: 0,2, 0,05% и даже еще ниже. Однако антиокислительные и противоизносные свойства глубоко гидроочищенных топлив резко ухудшаются. Возникший недостаток устраняют при помощи соответствующих присадок [13].

1.3.2 Фракционный состав дизельных топлив

Прямогонные фракции составляют основу дизельных топлив. Они отличаются хорошей самовоспламеняемостью. Их низкотемпературные свойства и содержание серы зависят от характеристик исходной нефти и часто требуют улучшения. Для удаления серы используют гидроочистку. Часто гидроочистке подвергают прямогонные фракции в смеси с продуктами деструктивной переработки нефти. Топливный баланс на заводе может сложиться таким образом, что в состав дизельных топлив вводят среднестиллятные фракции других процессов, главным образом каталитического крекинга.

Фракции каталитического крекинга характеризуются повышенным содержанием ароматических и непредельных углеводородов. Поэтому их термическая стабильность не особенно высока. Содержание серы зависит от схемы крекинга: если сырье, направляемое на крекинг, проходит предварительную гидроочистку, то оно невысоко. В противном случае оно может составлять 1% и более.

Фракции гидрокрекинга характеризуются неплохими низкотемпературными свойствами, цетановыми числами и низким содержанием серы. Они отличаются хорошей химической и термической стабильностью. Их можно считать желанным компонентом дизельных топлив, однако более целесообразно их использовать при производстве реактивных топлив [13].

1.4 Цетановое число и цетановый индекс дизельных топлив

Цетановое число (ЦЧ) – характеристика воспламеняемости дизельного топлива, определяющая период задержки горения рабочей смеси (промежуток времени от впрыска топлива в цилиндр до начала его горения).

Наряду с показателем ЦЧ применяются такие расчетные показатели, как «цетановый индекс (ЦИ)» и «дизельный индекс». Цетановый индекс служит средством оценки ЦЧ дистиллятных топлив. Цетановый индекс используют для оценки цетанового числа дизельного топлива, когда

невозможно или не целесообразно определять это свойство на испытательном двигателе [14].

Экспериментально цетановое число определяется непосредственно на установке с дизельным одноцилиндровым двигателем ИДТ-69. Однако задачи оптимального управления процессом приводят к необходимости использования аналитических зависимостей для определения данной характеристики. В различных методах учитываются различные свойства, такие как фракционный или групповой состав, плотность, анилиновая точка, октановое число и т.д.

1.4.1 Экспериментальное определение цетанового числа

Сущность метода заключается в следующем: цетановое число дизельного топлива определяют, сравнивая его характеристики горения в испытательном двигателе с характеристиками смесей контрольных топлив с известным цетановым числом при стандартных условиях работы [14]. Испытательный двигатель представляет собой одноцилиндровый двигатель классической конструкции (стандартный картер с насосом в сборе, блок цилиндра, теплообменная охлаждающая система, топливная система, узел инжектора, электрическая система управления и выхлопная труба). Для более точного определения двигатель располагают на участке, где на него не будут оказывать влияния газы и пары которые могут исказить результаты испытаний. В качестве контрольных топлив используются специально откалиброванные дизельные топлива [14].

1.5 Расчетные способы определения цетанового индекса дизельных топлив

Цетановый индекс дизельных топлив может быть рассчитан по международному стандарту ISO 4264 «Petroleum products – Calculation of cetane index of middle-distillate fuels by the four variable equation» [15], который устанавливает метод расчета цетанового индекса для среднестиллятных топлив из нефтяных источников по уравнению с четырьмя переменными.

Сущность метода состоит в определении по стандартным методам плотности при температуре 15 °С и температур, при которых перегоняется 10 об.%, 50 об.% и 90 об.% пробы и расчете цетанового индекса по этим данным.

Цетановый индекс рассчитывают по приведенному ниже уравнению, подставляя в него измеренные величины:

$$\begin{aligned} ЦИ = & 45,2 + 0,0892 \cdot T_{10N} + (0,131 + 0,901B) \cdot T_{50N} + \\ & + (0,0523 - 0,42B) \cdot T_{90N} + [0,00049 \cdot (T_{10N}^2 - T_{90N}^2)] + 107B + 60B^2; \\ T_{10N} = & T_{10\%} - 215; T_{50N} = T_{50\%} - 260; T_{90N} = T_{90\%} - 310; \\ B = & [\exp(-0,0035 \cdot D_N)] - 1; D_N = D - 850. \end{aligned} \quad (1.1)$$

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/м³.

Так же цетановый индекс дизельных топлив может быть рассчитан по ГОСТ 27768-88 «Топливо дизельное. Определение цетанового индекса расчетным методом» [16].

Метод заключается в определении плотности дизельного топлива при 15 °С и средней температуры кипения 50 %-ной (по объему) фракции дизельного топлива.

Цетановый индекс (ЦИ) рассчитывают по уравнению:

$$ЦИ = 454,74 - 1641,416 \cdot \rho_4^{15} + 774,74 \cdot (\rho_4^{15})^2 - 0,554 \cdot t + 97,803 \cdot (\lg t)^2 \quad (1.2)$$

где ρ_4^{15} – плотность при 15 °С, определенная по ГОСТ 3900-85, г/см³; t – температура кипения 50%-ной (по объему) фракции с учетом поправки на нормальное барометрическое давление 101,3 кПа, определяется по ГОСТ 2177-82, °С.

Цетановый индекс дизельного топлива также может быть приближенно рассчитан по следующей формуле [17]:

$$ЦИ = \nu^{20} + 17,8 \cdot \left(\frac{1,5879}{\rho^{20}} \right) \quad (1.3)$$

где ν_{20} – вязкость топлива при 20 °С, мм²/с; ρ_{20} – плотность топлива при 20 °С, г/см³.

Существует так же следующая эмпирическая зависимость между цетановым индексом и октановым числом топлива [5]:

$$ЦИ = 60 - 0,5 \cdot ОЧ \quad (1.4)$$

где $ОЧ$ – октановое число топлива.

Для вычисления цетанового индекса нефтяных фракций может быть использовано так же следующее уравнение [18]:

$$ЦИ = 415,26 - 7,673 \cdot \gamma + 0,186 \cdot T_{cp} + 3,503 \cdot \log T_{cp} - 193,816 \cdot \log T_{cp} \quad (1.5)$$

где γ – относительный удельный вес нефтяных фракций; T_{cp} – средняя температура разгонки топлива, °F.

1.6 Использование расчетных способов определения цетанового индекса для разработки рецептур смешения дизельных топлив

Дизельные топлива, производимые на современных нефтеперерабатывающих заводах, не являются чистыми прямогонными продуктами, а получают смешением различных фракций, присадок и добавок в процессе компаундирования. При этом, экспериментальное определение ключевой эксплуатационной характеристики товарных дизельных топлив – цетанового индекса является крайне сложным и дорогостоящим процессом. Для разработки оптимальных рецептур смешения дизельных топлив необходима разработка точных и надежных расчетных методов определения цетановых индексов смесевых дизельных топлив.

Так в работе [19] на основании полученных математических моделей разработаны рецептуры получения смесевых многокомпонентных товарных дизельных топлив соответствующих требованиям ГОСТ 52368-2005 «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия» и Технического регламента Таможенного союза «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» (Таблицы 1.3, 1.4).

Таблица 1.3 – Рецептуры смешения зимнего дизельного топлива

Потоки	Рецепт 1	Рецепт 2	Рецепт 3
<i>Содержание компонентов в дизельном топливе, % мас.</i>			
Керосин	12	5	0

Фракция дизельного топлива «Зимнее» гидроочищенная	40	40	44
Денормализат	18	25	27
Фракция. дизельного топлива гидродепарафинизированная 240-340 °С	30	30	29
Характеристика			
ЦЧ	49,2	49,4	49,4
Содержание серы, % мас.	0,0023	0,0025	0,0027
Температура помутнения, °С	-24,1	-25,6	-20,5
Предельная температура фильтруемости, °С	-27,5	-29,4	-23,3
Плотность при 15 °С, кг/м ³	818,78	822,11	823,04
Кинематическая вязкость при 20 °С, сСт	4,59	4,48	4,38

Таблица 1.4– Рецептуры смешения летнего дизельного топлива

Потоки	Рецепт 1	Рецепт 2	Рецепт 3
Содержание компонентов в дизельном топливе, % мас.			
Керосин	10	10	5
Фракция дизельного топлива «Летнее» гидроочищенная	40	45	50
Бензин-отгон гидроочистки	4	2	5
Денормализат	16	17	20
Фракция дизельного топлива гидродепарафинизированная:			
180-240 °С	8	4	5
240-340 °С	17	20	12
>340 °С	5	2	3
Характеристика			
ЦЧ	52,3	52,71	52,3
Содержание серы, % мас.	0,004	0,004	0,004
Температура помутнения, °С	-7,6	-6,9	-6,3
Предельная температура фильтруемости, °С	-8,6	-7,9	-7,2
Плотность при 15 °С, кг/м ³	829,37	831,68	831,16
Кинематическая вязкость при 20 °С, сСт	5,6	5,5	5,7

В работе [20] рассмотрены различные варианты технологий производства смесового дизельного топлива путем смешением дизельной и керосиновой фракции с целью улучшения низкотемпературных характеристик однако не учитывается влияние смешения и изменения рецептов на цетановый индекс топлива.

В статье [21] проведено изучения влияние использования цетаноповышающих присадок на срок хранения дизельных топлив. Этот вопрос особенно важен при поставке топлива в районы крайнего севера. Данная проблема так же актуальна для Госрезерва, что связано с затратами на обновление топлива. Испытания показали, что дизельные топлива не

содержащие присадок, более стабильны чем топлива при производстве которых использовались различные цетаноповышающие присадки.

У дизельных топлив содержащих цетановышающие присадки при хранении ухудшаются такие показатели качества как: окислительная стабильность, цвет, коксуемость, кислотность, увеличивается содержание пероксидов. Основываясь на данных результатах можно предположить, что целесообразно повышать цетановое число, корректируя рецептуры смешения и учитывая неадаптивность данной величины, а не применять цетаноповышающие присадки. Данное предположение подтверждается авторами работы [22]. При изучении различных композиций присадок с помощью метода моделирования и лабораторных испытаний был подобран наиболее оптимальный состав исходных компонентов для производства смесового дизельного топлива. А так же было доказано, что дизельное топливо класса ЕВРО-2 можно получать без использования цетаноповышающих присадок. Рецептуры получения дизельного топлива приведены в Таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Рецептуры смешения товарных дизельных топлив

Компонент	Базовый состав дизельного топлива, % мас.	
	Без присадок	С добавлением присадок
Гидроочищенная фракция К-301	55	25,1
Гидроочищенная фракция куба К-301	20,1	61,4
Прямогонная керосиновая фракция из К-103/1	20,9	4,9
Дизельная фракция из К-103/2	4	8,6

В статье [23] подробно рассмотрено влияние состава исходных компонентов на значение цетанового числа дизельных топлив. Так же рассмотрены различные способы выражения самовоспламеняемости дизельных топлив.

В статье проведено сравнение 9 летних базовых дизельных топлив, не содержащих присадок, с крупных НПЗ, расположенных в Европейской части России, и принадлежащих различным нефтяным компаниям. В Таблице 1.6

представлены физико-химические характеристики данных образцов. Как видно из таблицы, несмотря на то, что основным сырьевым ресурсом для большинства крупных НПЗ Европейской части России является Западно-Сибирская нефтяная смесь, наблюдаются заметные различия в физико-химических показателях топлив, вырабатываемых этими заводами, что связано с дополнительным включением в схему переработки нефтей с близлежащих месторождений. Так, наибольшее ЦЧ наблюдается у топлив 6 и 7 (54 и 53 единицы, соответственно), наименьшее – у топлива 8 (47 единиц).

Таблица 1.6 – Физико-химические показатели исследуемых дизельных топлив

№ п/п	Наименование показателей	Топливо								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Цетановое число	50,0	51,0	50,5	49,5	52,0	54,0	53,0	47,0	51,5
2	Цетановый индекс	52,6	54,5	51,5	53,7	53,4	55,4	56,6	50,7	52,6
3	Дизельный индекс	41,8	41,3	42,7	41,1	41,6	44,1	43,9	39,7	41,9
4	Плотность при 15°C, кг/м ³	841	837	819	841	831	832	830	833	830
5	Массовая доля серы, мг/кг	9	9	88	29	4	13	17	245	13
6	Температура застывания, °C	-10	-16	-16	-14	-10	-12	-13	-7	-12
7	Температура помутнения, °C	-4	-6	-10	-5	-4	-5	-4	-4	-5
8	Предельная температура фильтруемости, °C	-6	-8	-13	-6	-6	-8	-7	-5	-9

Было установлено, что для получения сортовых топлив фракционный состав является главным фактором, оказывающим влияние, на основные физико-химические характеристики. Так же было установлено, что основные эксплуатационные свойства дизельного топлива, такие, как способность к самовоспламенению (ЦЧ), предельная температура фильтруемости, и температура застывания определяются углеводородным составом и могут изменяться за счет достижения оптимального соотношения би- и полиароматических углеводородов, низко-, высокомолекулярных н-алканов и изоалканов в их составе. Полученные данные могут быть использованы при выработке рекомендаций для получения смесевых топлив, обладающих оптимальным углеводородным составом и отвечающих высоким эксплуатационным требованиям.

Еще одним направлением развития производства дизельных топлив является использование биодизеля в качестве смесового компонента.

Биодизель – это метиловый эфир, получаемый в результате химической реакции из растительных масел и жиров [24]. Так авторами работы [24] разработаны различные композиции товарного дизельного топлива на основе традиционного дизельного топлива с добавлением биодизеля. Цетановое число, используемого авторами биодизеля, изменяется от 46 до 49 пунктов. В ходе работы установлено, что добавление биодизеля в традиционное топливо улучшает смазывающие свойства, повышает цетановое число а также улучшает антикоррозионные свойства (Таблица 1.7) последнего.

Таблица 1.7 – Результаты оценки антикоррозионной эффективности композиций дизельного топлива с добавлением биодизеля

Состав композиции	Степень коррозии, г/м ²	Эффективность защиты, %
Дизельное топливо	24,9	–
Дизельное топливо + 5,0%	–	100
Дизельное топливо + 3,0%	–	100
Дизельное топливо + 1,0%	–	100
Дизельное топливо + 0,5%	0,19	99,2
Дизельное топливо +0,1%	0,5	98

Автором работы [25] установлена корреляционная зависимость цетанового индекса от содержания аренов в дизельных фракциях:

$$\begin{aligned}
 ЦИ = & 696,58 - 1306,432\rho_{15} + 521,0933\rho_{15}^2 + \\
 & + 0,000140t_{30}^2 + 0,757t_{50} - 0,00105t_{50}^2 - 0,415MA + \\
 & + 1,374TA - 0,00876TA^2 - 19,390[\ln(TA)] - \frac{39,983}{\ln(TA)}
 \end{aligned}
 \tag{1.6}$$

где MA – содержание моноциклоаренов, % мас., TA – общее содержание аренов, % мас., ρ_{15} – плотность при 15 °С, t_{30} , t_{50} – температуры выкипания 30% и 50% по объему фракции.

имеется установка каталитического крекинга с блоком гидроочистки, то фракция 180 – 350 °С крекинга до 25 % может вовлекаться в компаунд Л, З, а остальное количество (или полностью все) – направляться в тяжелое топливо марки ДТ [4].

Тяжелые топлива для среднеоборотных и тихоходных дизелей, получают смешением (Рисунок 2.2) различных фракций от разных вторичных процессов.

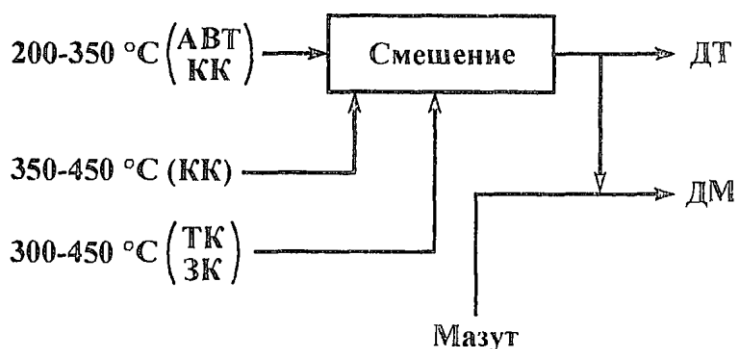


Рисунок 2.2 – Схема получения тяжелых дизельных топлив ДТ и ДМ:

ТК – термический крекинг; ЗК – замедленное коксование

2.2 Актуальные направления развития производства дизельного топлива

Перспективы получения дизельных топлив состоят в следующем.

Расширение фракционного состава. Из двух главных моторных топлив – бензинов и дизельных топлив последнее предпочтительнее, потому что:

- технология получения дизельных топлив значительно проще;
- их удельный расход на 25-30% ниже, т.е. их использование в двигателях значительно эффективнее;
- вредность выхлопа у дизеля меньше, т.е. топливо экологически предпочтительнее.

Отсюда и относительно большой рост производства дизельных топлив по сравнению с бензинами: за 30 лет (с 1970 по 2000 год) их производство выросло в 2,3 раза. Этот рост продолжается за счет ряда мер, в том числе за счет расширения фракционного состава [4].

Для этой цели используется несколько способов. Во-первых, это утяжеление дизельного топлива по концу кипения, реализованное в топливе расширенного фракционного состава. Это позволило повысить ресурсы топлива на 1,5 млн. т/год. Есть предпосылки дальнейшего увеличения конца кипения до 400-410 °С. Во-вторых, это переход на топливо широкого фракционного состава с пределами кипения 100-400 °С, с добавлением соответствующих присадок. Но в этом случае возникают проблемы с ЦЧ, вязкостью и температурами вспышки и воспламенения. Решение их связано как с улучшением показателей качества топлива, так и с изменением конструкции двигателя внутреннего сгорания.

Климатические условия Российской Федерации обуславливают большую потребность в высококачественных низкозастывающих дизельных топливах, которая на сегодняшний день обеспечивается менее чем наполовину. Учитывая особые требования северных регионов России к низкотемпературным характеристикам моторных топлив, задача производства низкозастывающих дизельных топлив особенно актуальна.

Для дизельных топлив требуемые показатели низкотемпературных характеристик достигаются в результате снижения содержания высококипящих парафинов нормального строения при оптимальном соотношении с низкокипящими н-парафинами C_{10} - C_{15} , углеводородами изостроения и моноциклическими ароматическими углеводородами, которые являются растворителями высококипящих алканов [20].

Проблемы, связанные с низкотемпературными свойствами, могут быть решены с помощью процессов депарафинизации:

- удаление н-алканов (выделение жидкого парафина) на установке «Парекс»;
- трансформация н-алканов в изоалканы процессом «Селектоформинг» (селективный гидрокрекинг), позволяющий понизить температуру застывания от 10 до -18 °С.

Снижение содержания серы. Современный мировой рынок предъявляет жесткие требования по содержанию серы в дизельных топливах. Большинство европейских государств перешли на дизельные топлива, удовлетворяющие требованиям EN 590, в соответствии с которыми содержание серы не должно превышать 350 ppm с перспективой дальнейшего снижения этого показателя до нормы Евро 5 не более 10 ppm [26]. Это позволит решить не проблемы ресурсов, а проблемы качества, связанные с экологией.

Развитие процесса легкого гидрокрекинга. При гидроочистке вакуумного газойля для каталитического крекинга переход на легкий гидрокрекинг позволяет получать до 10-15% высококачественного дизельного топлива с высоким ЦЧ и одновременно углубить очистку от серы газойля.

Максимальное извлечение фракций дизельного топлива. В первую очередь, речь идет о том, чтобы утяжелить сырье каталитического крекинга до начала кипения не ниже 350 °С, так как сейчас оно иногда содержит фракций до 350 °С порядка 20-25%.

Вторая задача максимального извлечения дизельных фракций касается топочных мазутов. Для снижения их вязкости и температуры застывания в них часто добавляют дизельные фракции или специально недоизвлекают эти фракции в колоннах АВТ. Поскольку объем сжигаемых мазутов достаточно велик, то извлечение дизельных фракций из них позволило бы существенно повысить ресурсы топлива, при этом качество мазутов нужно повышать с помощью присадок и вовлечением вторичных дистилятов.

Увеличение доли вторичных дизельных фракций. В первую очередь речь идет о легком газойле каталитического крекинга (фракции 180-350 °С), который богат ароматическими углеводородами (60-70%) и поэтому имеет низкое ЦЧ и высокие нагарообразующие свойства.

Возможны еще два пути. Первый – это гидродеароматизация самого газойля крекинга, но этот путь связан с большой затратой водорода (65-70 нм³/м³ газойля). Второй путь – это экстракция ароматических углеводородов из газойля (например, фурфуролом) с вовлечением экстракта в состав котельного топлива. Это очень перспективный путь, хотя технологически более сложный [4].

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Данное исследование проводилось с использованием данных о производстве моторных топлив полученных с различных НПЗ РФ.

При производстве дизельных топлив делается акцент на улучшение основных эксплуатационных свойств топлива – самовоспламеняемости, численным эквивалентом которой является цетановое число, а так же низкотемпературным характеристикам. Значительной трудностью при расчете процесса компаундирования является то, что самовоспламеняемость не является аддитивным свойством. То есть сумма цетановых чисел (ЦЧ) отдельных компонентов, входящих в состав дизельного топлива значительно отличается от результирующего цетанового числа смеси (ЦЧ_{см}). Разница между ЦЧ и ЦЧ_{см} может быть существенной и достигать 10 пунктов.

Целью исследования является:

- определение наиболее точного метода расчета цетанового числа дизельного топлива;
- разработка методики расчета цетанового числа дизельного топлива с учетом неаддитивности.

Данное исследование имеет достаточно высокий коммерческий потенциал и является ресурсосберегающей технологией, потому, что разработка метода расчета цетанового числа с учетом его неаддитивности позволяет: оптимизировать рецептуры производства дизельных топлив, разработать необходимые рецепты смешения и сэкономить дорогостоящие компоненты, что в, конечном итоге, отражается на ценовой характеристики дизельного топлива, увеличивая его конкурентоспособность.

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

По результатам проведенного сегментирования рынка были определены основные сегменты, а также выбраны наиболее благоприятные сегменты (табл. 5.1).

Таблица 5.1 – Сегментирование рынка

Способ расчета		Вид услуги		
		Погрешность в пределах экспериментальной	Учет неаддитивности ЦЧ	Прогнозирование ЦЧ
	ГОСТ			
	ISO			
	Разработанная методика			

Таким образом, наиболее оптимальной методикой для расчета ЦЧ дизельного топлива является разработанная методика, учитывающая неаддитивность цетанового числа с прогнозирующей способностью. Также стоит отметить, что методики ГОСТ и ISO вполне можно использовать для расчета ЦЧ однокомпонентных топлив или компонентов смесей.

5.2 SWOT-анализ

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

Таблица 5.2 – SWOT-анализ проекта

	СИЛЬНЫЕ СТОРОНЫ:	СЛАБЫЕ СТОРОНЫ:
	С1. Возможность прогнозирования ЦЧ	Сл1. Большой срок внедрения на производство
	С2. Возможность расчета и корректировки рецептуры смешения	Сл2. Необходимость наличия данных фракционного состава
	С3. Уменьшение не кондиционных партий дизельного топлива	Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца
	С4. Экономия дорогостоящих присадок и добавок	
	С5. Простота использования	
ВОЗМОЖНОСТИ:		
В1. Повсеместное внедрение на НПЗ	Разработка программного продукта сопровождающего производство дизельных	В связи с отсутствием программного продукта, возможно отставание от конкурентов.

Продолжение таблицы 5.2

В2. Создание программы для производства дизельных топлив с учетом процессов нефтепереработки	топлив различных марок, учитывающего переменный состав сырья.	
В4. Увеличение спроса на программу, как в России, так и за рубежом		
В5. Повышение стоимости конкурентных разработок		
Угрозы:	Продвижение разработанной методики на рынке. Развитие конкурентной среды. При разработке методики учесть влияние к составу сырья	Есть риск возникновения аналогичных методик, это может создать конкуренцию разработанной методики. А значит, возникнет угроза потери рынка.
У1. Разработка аналогов методики у конкурентов		
У2. Отказ от внедрения в связи с удовлетворением нынешнего потребления продукции		

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в Табл. 5.3.

Таблица 5.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Бакалавр, Руководитель

Продолжение таблицы 5.3

	3	Обзор современных методов и патентных исследований по выбранному направлению	Бакалавр, Руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Бакалавр
Теоретическое обоснование и проведение экспериментальных исследований	5	Поиск необходимых материалов для экспериментальных расчетов	Руководитель, Бакалавр
	6	Создание и усовершенствование моделей, и проведение экспериментов	Бакалавр, Руководитель
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Бакалавр, Руководитель
Обобщение полученных результатов, выводы по проделанной работе	8	Оценка эффективности проведенных исследований	Руководитель
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Бакалавр, Руководитель
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка и усовершенствование методики	Бакалавр, Руководитель
	11	Расчет основных характеристик дизельного топлива и его рецептур	Бакалавр, Руководитель
	12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Бакалавр, Руководитель

Окончание таблицы 5.3

Оформление отчета по НИР	13	Составление пояснительной записки	Руководитель, Бакалавр
	14	Сдача работы на рецензию	Бакалавр
	15	Предзащита	Бакалавр, руководитель
	16	Подготовка к защите дипломной работы	Бакалавр
	17	Защита дипломной работы	Бакалавр

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула [28]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (5.1)$$

Где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями [28].

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (5.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой [28]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (5.3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле [28]:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{366}{366 - 119} = 1,48 \quad (5.4)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округляются до целого числа.

Все рассчитанные значения внесены в таблицу в таблицу (Табл. 5.4).

Таблица 5.4 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Наименование работ	Трудоемкость работ									Исполнители		
		t _{min} , чел-дни			t _{max} , чел-дни			t _{ож} , чел-дни					
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Составление и утверждение технического задания	1	1	1	5	6	5	2,6	3	2,6	Р	Р	Р
2	Выбор направления исследований	3	4	3	4	6	5	3,4	4,8	3,8	Р Б	Р Б	Р Б
3	Обзор современных методов и патентных исследований по выбранному направлению	2	2	2	6	6	6	3,6	3,6	3,6	Р Б	Р Б	Р Б
4	Календарное планирование работ по теме	1 1	1 2	1 1	2 2	3 4	3 3	1,4 1,4	1,8 1,8	1,8 1,4	Р Б	Р Б	Р Б
5	Поиск необходимых материалов для экспериментальных расчетов	10 20	15 25	12 22	20 40	22 45	20 42	14 28	17, 8 33	15, 2 30	Р Б	Р Б	Р Б
6	Создание и усовершенствование моделей, и проведение экспериментов	14	20	16	30	30	30	14, 4	20, 4	15, 6	Р Б	Р Б	Р Б

Продолжение таблицы 5.4

7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	4	6	5	6	8	7	4,8	6,8	5,8	Р Б	Р Б	Р Б
8	Оценка эффективности проведенных исследований	1	1	1	3	4	3	1,4	2,2	1,4	Р	Р	Р
9	Определение целесообразности проведения ОКР	2	5	3	5	9	7	3,2	6,6	4,6	Р Б	Р Б	Р Б
10	Разработка и усовершенствование методики	3	4	3	5	7	7	3,8	5,2	4,6	Р Б	Р Б	Р Б
11	Расчет основных характеристик дизельного топлива и его рецептур	5	10	6	10	20	14	7	14	9,2	Р Б	Р Б	Р Б
12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	15	18	16	25	30	30	19	22,8	21,6	Р Б	Р Б	Р Б
13	Составление пояснительной записки	10 10	20 20	15 15	20 20	40 40	30 30	16 16	28 28	21 21	Р Б	Р Б	Р Б
14	Сдача работы на рецензию	1	3	2	3	7	5	1,8	4,6	3,2	Б	Б	Б
15	Предзащита	1 1	1 1	1 1	2 2	2 2	2 2	1,4 1,4	1,4 1,4	1,4 1,4	Р Б	Р Б	Р Б

Окончание таблицы 5.4

16	Подготовка к защите дипломной работы	5	7	6	10	15	12	7	10,2	8,4	Б	Б	Б
17	Защита дипломной работы	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Б	Б	Б

Р – руководитель

Б – Бакалавр

На основе Табл. 5.4 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе Табл. 5.5 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 5.5 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Наименование работ	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}			Длительность работ в календарных днях, T_{ki}			Исполнители		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Составление и утверждение технического задания	2,6	3	2,6	4	4	4	Р	Р	Р
2	Выбор направления исследований	1,7	2,4	1,9	3	3	3	Р Б	Р Б	Р Б
3	Обзор современных методов и патентных исследований по выбранному направлению	1,8	1,8	1,8	3	3	3	Р Б	Р Б	Р Б
4	Календарное планирование работ по теме	0,7	0,9	0,9	1	1	1	Р	Р	Р
		0,7	0,9	0,7	1	1	1	Б	Б	Б

Продолжение таблицы 5.5

5	Поиск необходимых материалов для экспериментальных расчетов	7 14	8,9 16,5	7,6 15	10 21	13 24	11 22	Р Б	Р Б	Р Б
6	Создание и усовершенствование моделей, и проведение экспериментов	7,2	10,2	7,8	11	15	12	Р Б	Р Б	Р Б
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	2,4	3,4	2,9	4	5	4	Р Б	Р Б	Р Б
8	Оценка эффективности проведенных исследований	0,7	1,1	0,7	1	2	1	Р	Р	Р
9	Определение целесообразности проведения ОКР	1,6	3,3	2,3	2	5	3	Р Б	Р Б	Р Б
10	Разработка и усовершенствование методики	1,9	2,6	2,3	3	4	3	Р Б	Р Б	Р Б
11	Расчет основных характеристик дизельного топлива и его рецептур	3,5	7	4,6	5	10	7	Р Б	Р Б	Р Б
12	Оценка эффективности производства и применения	9,5	11,4	10,8	14	17	16	Р Б	Р Б	Р Б

Окончание таблицы 5.5

13	Составление пояснительной записки	8	14	10,5	12	21	16	Р Б	Р Б	Р Б
14	Сдача работы на рецензию	0,9	2,3	1,6	1	3	2	Б	Б	Б
15	Предзащита	0,7 0,7	0,7 0,7	0,7 0,7	1 1	1 1	1 1	Р Б	Р Б	Р Б
16	Подготовка к защите дипломной работы	7	10,2	8,4	10	16	12	Б	Б	Б
17	Защита дипломной работы	0,5	0,5	0,5	1	1	1	Б	Б	Б

Таблица 5.6 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февр.		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4													
2	Выбор направления исследований	Руководитель Бакалавр	4													
3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	Руководитель Бакалавр	3													
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Бакалавр	1 1													
5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	Руководитель, Бакалавр	13 14													
6	Построение моделей и проведение экспериментов	Руководитель Бакалавр	15													

Продолжение таблицы 5.6

7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель Бакалавр	5													
8	Оценка эффективности проведенных исследований	Руководитель	2													
9	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель Бакалавр	5													
10	Разработка и усовершенствование методики	Руководитель Бакалавр	4													
11	Расчет основных характеристик дизельного топлива и его рецептур	Руководитель Бакалавр	10													
12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Руководитель Бакалавр	17													
13	Составление пояснительной записки	Руководитель, Бакалавр	21													
14	Сдача работы на рецензию	Бакалавр	3													

Окончание таблицы 5.6

[illegible]

■ – *руководитель*

 – Бакалавр

5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

5.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле [28]:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i} \quad (5.5)$$

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в Таблицу 5.7. Величина коэффициента (k_T), принимаем в пределах 20% от стоимости материалов

Таблица 5.7 – Материальные затраты

Наименование	Ед. измерения	Количество			Цена за ед. с НДС, руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Колба КРН	Шт.	2	5	3	420	420	420	1008	2520	1512
ДТ летнее	литр	3	5	7	37	37	37	133,2	222	310,8
ДТ зимнее	литр	3	5	7	37	37	37	133,2	222	310,8
Итого:								1274,4	2964	2133,6

5.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Все расчеты по приобретению спецоборудования, включая 15% на затраты по доставке и монтажу, отображены в Табл. 5.8.

Таблица 5.8 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Мощность электроприбора, кВт	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Компьютер	1	48	0,75	55,2
2	Лазерный принтер	1	5	0,05	6
3	Аппарат АРНС-20 для разгонки нефтепродуктов	1	391	1,5	449,65
Итого:					510,85

Расчет затрат на приобретение программного обеспечения (ПО) в Таблице 5.9.

Таблица 5.9 – расчеты затрат на приобретение ПО

Наименование ПО			Стоимость ПОс НДС, руб.		
Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Microsoftoffice	Microsoftoffice	Microsoftoffice	11490	11490	11490
-	Delphi	Delphi	-	43800	43800
Итого:			11490	55290	55290

Расчет затрат на электроэнергию определяется по формуле [28]:

$$E_{\text{э}} = \sum N_i \cdot T_{\text{э}} \cdot C_{\text{э}} \quad (5.6)$$

где N_i – мощность электроприборов по паспорту, кВт;

$T_{\text{э}}$ – время использования электрооборудования, час;

$C_{\text{э}}$ – цена одного кВт*ч, руб (2,7 руб. в г.Томск).

$$E_{\text{э}} = (0,75 \cdot 200 + 0,5 \cdot 200 + 1,5 \cdot 50) \cdot 2,7 = 635 \text{ руб}$$

5.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

$$C_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (5.7)$$

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

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (5.8)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot М}{F_{д}}, \quad (5.9)$$

В формуле (5.9) $З_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 5.10).

Таблица 5.10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней – выходные дни – праздничные дни	119	119
Потери рабочего времени – отпуск – невыходы по болезни	92	92
Действительный годовой фонд рабочего времени	155	155

Месячный должностной оклад работника:

$$З_m = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (5.10)$$

где $З_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{тс}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

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

Расчет основной заработной платы приведен в Табл.5.11.

Таблица 5.11 – Расчет основной заработной платы

Категория	$З_{тс}$, руб.	k_d	k_p	$З_m$, руб.	$З_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель							
ППСЗ	12067	0,3	1,3	25099,4	1684	49	82516
Бакалавр							
ППС1	8600	0,3	1,3	17888	1200	61	73213,9

Общая заработная плата исполнителей работы представлена в Табл. 5.12.

Таблица 5.12 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$З_{осн}$, руб.	$З_{дон}$, руб.	$З_{зп}$, руб.
Руководитель	82516	9901,9	92417,9
Бакалавр	73213	8785,6	81998,9

5.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (5.11)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ 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% [28].

Результаты расчета представлены в Таблице 5.13.

5.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле [28]:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{нр} \quad (5.12)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Результаты расчета представлены в Таблице 5.13.

5.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в Табл.5.13.

Таблица 5.13 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	1274,4	2964	2133,6	Таблица 5.7
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	510850	510850	510850	Таблица 5.8
3. Затраты на электроэнергию	635	635	635	
4. Затраты на приобретение ПО	11490	55290	55290	Таблица 5.9
5. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	155730	155730	155730	Таблица 5.11
6. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	18688	18688	18688	Таблица 5.12
7. Отчисления во внебюджетные фонды	47267	47267	47267	27,1% от п.5 + п.6
8. Накладные расходы	108797	116075	115942	16 % от суммы ст. 1-5
9. Бюджет затрат НТИ	854731	907499	906536	Сумма ст. 1- 9

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как [источник]:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (5.13)$$

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

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

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

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{854731}{907499} = 0,94$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{907499}{907499} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{906536}{907499} = 0,99$$

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 следующим образом [28]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (5.14)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (Табл. 5.14).

Таблица 5.14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,2	3	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,2	4	5	4,5
3. Энергосбережение	0,1	4	5	4,5
4. Надежность	0,2	3	5	4
5. Воспроизводимость	0,2	4	4	5
6. Материалоемкость	0,1	5	4	4
ИТОГО	1	3,7	4,7	4,35

$$I_{p-исп\ 1} = 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 = 3,7;$$

$$I_{p-исп\ 2} = 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 4,7;$$

$$I_{p-исп\ 3} = 4 \cdot 0,2 + 4,5 \cdot 0,2 + 4,5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 4,35.$$

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

$$\begin{aligned}
I_{исп.1} &= \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}} = \frac{3,7}{0,94} = 3,9 \\
I_{исп.2} &= \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}} = \frac{4,7}{1} = 4,7 \\
I_{исп.3} &= \frac{I_{p-исп3}}{I_{финр}^{исп.3}} = \frac{4,35}{0,99} = 4,39
\end{aligned}
\tag{5.15}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$) [28]:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.max}} \tag{5.16}$$

Таблица 5.15 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,94	1	0,99
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,7	4,7	4,35
3	Интегральный показатель эффективности	3,9	4,7	4,39
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,83	1	0,93

Вывод: Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило понять, что более эффективным вариантом решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является исполнение 2.

Список публикаций студента

№	Наименование работы, ее вид	Характер работы	Выходные данные	Объем, стр.	Соавторы
Научные работы всего: 12					
Статьи, опубликованные в российских изданиях 1					
1	«Сравнение математических методов расчета цетанового индекса фракций дизельного топлива», статья	Печатная	Новая волна. - 2014 - №. 4. - С. 4-6	3	Киргина М.В.
Доклады и тезисы докладов, опубликованные в материалах российской международной (всероссийской) конференции: 4					
1	«Comparison between mathematical models used for calculations of diesel fuel fractions cetane indexes»	Печатная	Проблемы геологии и освоения недр: труды XIX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией, Томск, 6-10 Апреля 2015. - Томск: Изд-во ТПУ, 2015 - Т. 2 - С. 784-785	2	Алтынов А.А. Киргина М.В.
2	«Разработка методики расчета низкотемпературных свойств дизельных топлив»	Печатная	XV Сатпаевские чтения: материалы международной научной конференции молодых ученых, магистрантов, студентов и школьников: в 10 т., Павлодар, 10 Апреля 2015. - Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, 2015 - Т. 10 - С. 233-236	3	Алтынов А.А. Киргина М.В.
3	«Методика расчета низкотемпературных свойств гидроочищенных дизельных фракций»	Печатная	Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, посвященной 115-летию со дня рождения профессора Л.П. Кулёва: в 2 т., Томск, 25-29 Мая 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - Т. 2 - С. 7-9	3	Алтынов А.А.
4	«Расчетные методы определения цетановых индексов товарных дизельных топлив»	Печатная	Наука и образование: сборник материалов X Международной научной конференции студентов и молодых ученых, Астана, 10 Апреля 2015. - Астана: ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2015 - С. 1810-1813	3	Алтынов А.А.