

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

Институт природных ресурсов
Направление подготовки 18.03.01. Химическая технология
Кафедра ХТТ и ХК

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Моделирование процессов производства товарных бензинов
УДК 665.733 – 047.58

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДЗБ	Костень Михаил Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент кафедры ХТТ и ХК	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
ассистент кафедры ЭБЖ	Раденков Тимофей Александрович	—		

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**

18.03.01 «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 природных ресурсов
Направление подготовки Химическая технология
Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
2ДЗБ	Костень Михаилу Сергеевичу

Тема работы:

Моделирование процесса производства товарных бензинов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	31.01.2017 г. №418/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2017 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Образцы товарных бензинов; данные хроматографического анализа сырьевых потоков, вовлекаемых в производство товарных бензинов на предприятии ОАО «Сызранский НПЗ»; рецептуры смешения бензинов различных марок, используемые на предприятии ОАО «Сызранский НПЗ».
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Литературный обзор 1.1 Понятие товарных бензинов 1.2 Характеристики качества товарных бензинов 1.3 Марки товарных бензинов 1.4 Технология производства товарных бензинов 2 Объект и методы исследования 2.1 постановка задачи исследования 2.2 Объект и предмет исследования 2.3 Методы исследования 3 Расчёты и Аналитика 3.1 Результаты определения фракционного состава бензинов

	3.2 Результаты определения углеводородного состава бензинов 3.3 Разработка методики расчета фракционного состава бензинов и их компонентов по углеводородному составу 4 Результаты проведенного исследования 4.1 Разработка оптимальных рецептур смешения бензинов различных марок 4.2 Прогнозирование свойств бензина при изменении рецептур смешения
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	доцент кафедры менеджмента, к. э. н. Рыжакина Татьяна Гавриловна
«Социальная ответственность»	ассистент кафедры ЭБЖ Раденков Тимофей Александрович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Нет	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.03.2017 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Киргина М.В	к.т.н		01.03.2017 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДЗБ	Костень Михаил Сергеевич		01.03.2017 г.

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

Студенту:

Группа	ФИО
2ДЗБ	Костень Михаилу Сергеевичу

Институт	ИПР	Кафедра	ХТТиХК
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Использование информации, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах 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. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение и оценка статей бюджета НИ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Проведение оценки экономической эффективности исследования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДЗБ	Костень Михаил Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ДЗБ	Костень Михаилу Сергеевичу

Институт	ИПР	Кафедра	ХТТиХК
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Объектом рассмотрения в данной работе служит автоматическая станция смешения бензинов (АССБ). Основные опасности на АССБ связаны с возможностью возгорания горючих жидкостей и их смесей, наличием насосно-компрессорного оборудования, перекачивающего горючие жидкости. Влияние АССБ на окружающую среду возможно через выбросы в атмосферу, слив загрязненной воды либо сброс твердых отходов (шлама). Возможные чрезвычайные ситуации связаны со стихийными бедствиями на территории АССБ, взрывами и пожарами на объекте.</p>
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>ГОСТ 12.0.230-2007 Система стандартов безопасности труда</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<p>Основным вредным фактором на территории АССБ является контакт работников с ядовитыми жидкостями. Меры по защите работников от вредных воздействий реализованы через сведение к минимуму контактов с ядовитыми жидкостями и их смесями (защитные костюмы, перчатки). И на очищение вдыхаемого работниками воздуха путем применения коллективных и индивидуальных средств защиты (проветривание помещений, противогазы)</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>Основным источником механических опасностей на АССБ является насосно-компрессорное оборудование. Обязательной является теплоизоляция трубопроводов и аппаратов. Наличие заземления на аппаратах и резервуарах, молниеотводов на территории АССБ. Так же обязательно наличие средств пожаротушения, как ручных (огнетушители), так и автоматических (автоматические системы пожаротушения)</p>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 	<p>АССБ, как часть НПЗ, обязательно ограждается селитебной зоной. Ведется строгий контроль за выбросами в атмосферу и</p>

<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>сточными водами. Применяются фильтрующие системы и очистные сооружения. Твердые отходы вывозятся на полигон для захоронения промышленных отходов.</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>Возможные ЧС на объекте связаны с возгораниями и взрывами исходных компонентов и получаемых смесей. На случай ЧС обязательно есть разработанный план ликвидации аварий, который описывает порядок действий при возникновении той или иной нештатной ситуации.</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<p>Работники АССБ должны проходить обязательный медосмотр, получать компенсационные надбавки за работу во вредных производственных условиях.</p>
<p>Перечень графического материала:</p>	
<p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</p>	<p>Графический материал в работе не представлен.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент кафедры ЭБЖ	Раденков Тимофей Александрович	–		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДЗБ	Костень Михаил Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 102 с., 14 рис., 36 табл., 41 источник.

Ключевые слова: бензины, фракционный состав, углеводородный состав, рецептуры смешения, моделирование.

Объект исследования – товарные бензины. Предметом исследования является фракционный и углеводородный состав бензинов и их компонентов, а так же рецептуры смешения товарных бензинов.

Цель работы – оптимизация рецептур смешения товарных бензинов с учетом фракционного состава с использованием метода математического моделирования.

В процессе исследования был определен фракционный и углеводородный состав исследуемых образцов; предложена методика расчета фракционного состава бензинов на основе данных об углеводородном составе; исследованы, с применением предлагаемой методики, прогнозные свойства товарных бензинов и осуществлена корректировка существующих на предприятии рецептур смешения бензинов.

Установленные в ходе исследования зависимости позволяют с достаточной точностью рассчитывать смесевой фракционный состав бензинов, основываясь на данных об углеводородном составе компонентов смеси, что дало возможность расширить функции программного комплекса «Compounding».

Осуществленная в ходе работы корректировка рецептур смешения бензинов позволит повысить ресурсоэффективность процесса смешения на предприятии и обеспечить соответствие продукта всем нормам и требованиям, содержащимся в регламентирующей документации.

Оглавление

Введение.....	14
1 Литературный обзор	16
1.1 Понятие товарных бензинов	16
1.2 Характеристики качества товарных бензинов	17
1.2.1 Детонационная стойкость	17
1.2.2 Испаряемость.....	19
1.2.3 Вязкость и плотность	21
1.2.4 Химический и углеводородный состав.....	21
1.3 Марки товарных бензинов, производимые на территории Российской Федерации.....	24
1.4 Технология производства товарных бензинов.....	26
1.4.1 Каталитический крекинг.....	26
1.4.2 Каталитический риформинг	28
1.4.3 Изомеризация	30
1.4.4 Алкилирование	31
1.4.5 Технология смешения товарных бензинов	33
2 Объект и методы исследования	36
2.1 Постановка задачи исследования	36
2.2 Объект и предмет исследования.....	37
2.3 Методы исследования.....	37
2.3.1 Методика определения фракционного состава	38
2.3.2 Методика определения углеводородного состава	40
2.3.3 Программный комплекс «Compounding»	42
3 Расчеты и аналитика	45

3.1 Результаты определения фракционного состава бензинов	45
3.2 Результаты определения углеводородного состава бензинов.....	46
3.3 Разработка методики расчета фракционного состава бензинов и их компонентов по углеводородному составу	47
4 Результаты проведенного исследования	53
4.1 Разработка оптимальных рецептур смешения бензинов различных марок.....	53
4.2 Прогнозирование свойств бензина при изменении рецептуры смешения	56
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	60
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	60
5.2 Анализ конкурентных технических решений	60
5.3 SWOT-анализ.....	64
5.4 Планирование научно-исследовательских работ.....	67
5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	67
5.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	68
5.4.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	70
5.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	73
5.5.1 Основная заработная плата исполнителей.....	75
5.5.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	77
5.5.3 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	78
5.5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	79
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	82
Введение.....	82
1. Техногенная безопасность	82

1.1 Вредные вещества.....	82
1.2 Производственные шумы и вибрации.....	86
1.3 Освещенность.....	87
1.4 Пожаровзрывобезопасность.....	88
1.5 Механические опасности.....	90
1.6 Электробезопасность.....	91
2. Региональная безопасность.....	92
2.1 Защита селитебной зоны.....	92
2.2 Защита воздушного бассейна.....	93
2.3 Защита гидросферы.....	93
2.4 Защита литосферы.....	94
3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности.....	94
4. Правовое обеспечение.....	95
5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	95
Список литературы.....	99
Приложение.....	103

Введение

В наше время, всё большее и большее внимание уделяется вопросам экологии и охраны окружающей среды от вредного антропогенного воздействия. И в первую очередь, влияние ужесточающихся экологических норм ощущают на себе промышленные предприятия, а особенно – предприятия нефтеперерабатывающего профиля. Это связано с тем, что требования по высокому уровню экологической безопасности накладываются не только на само предприятие, как источник повышенного антропогенного воздействия, но и на продукцию, которую оно производит, в частности, на автомобильные бензины.

Так, например, в России с 1 июля 2016 года разрешен выпуск только товарных автомобильных бензинов, соответствующих 5 экологическому классу. В связи с этим, оборудование заводов и режимы ведения технологических процессов должны быть модернизированы так, чтобы производить продукцию, соответствующую предъявляемым требованиям.

В частности, возникает необходимость пересмотра рецептур смешения товарных бензинов, с целью улучшения качества продукции наряду с сохранением экономической рентабельности предприятия.

Однако решение данной задачи сопряжено с рядом трудностей, которые являются следствием специфики процесса приготовления товарных бензинов – компаундирования. Большое количество вовлекаемых компонентов, неаддитивность свойств смешиваемых потоков, непостоянство количественного и качественного составов компонентов будущего моторного топлива, – вот лишь не полный перечень проблем, с которыми сталкивается рабочий персонал станций смешения товарных бензинов.

Незаменимым инструментом для планирования и оптимизации процесса производства товарных бензинов являются компьютерные моделирующие системы, которые позволяют с достаточной точностью спрогнозировать свойства производимой продукции.

Таким образом, очевидным становится тот факт, что от возможности достоверно спрогнозировать и своевременно скорректировать регламентируемые свойства производимых товарных бензинов, путем внесения поправок в рецептуры смешения, напрямую зависит эффективность работы предприятия и качество производимой продукции.

Целью данной работы является оптимизация рецептур смешения товарных бензинов с учетом фракционного состава, с использованием метода математического моделирования.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) Определить фракционный состав исследуемых образцов товарного бензина. Провести анализ исследуемых образцов на соответствие требованиям, предъявляемым к фракционному составу товарных бензинов регламентирующей документацией;
- 2) Определить углеводородный состав исследуемых образцов товарного бензина методом капиллярной газовой хроматографии;
- 3) Разработать методику расчета фракционного состава бензинов и их компонентов по углеводородному составу;
- 4) Скорректировать существующие на нефтеперерабатывающем предприятии рецептуры смешения бензинов различных марок, для получения моторных топлив, соответствующих всем требованиям современных экологических стандартов;
- 5) Произвести прогнозный расчет свойств товарных бензинов, включая расчет фракционного состава при изменении рецептуры смешения.

Объектом данного исследования являются товарные бензины. Предметом исследования – фракционный и углеводородный состав бензинов и их компонентов, а так же рецептуры смешения товарных бензинов.

Результатом проведенного исследования стало расширение возможностей программного комплекса «Compounding» по расчету фракционного состава товарных бензинов и их компонентов, а так же создание оптимальных рецептур смешения бензинов различных марок.

1 Литературный обзор

1.1 Понятие товарных бензинов

Бензин – это горючая смесь жидких углеводородов, характеризующаяся определенными температурами начала и конца кипения (порядка 30-210 °С). Бензин находит широкое применение, как топливо для двигателей внутреннего сгорания (товарные автомобильные бензины), как растворители в промышленности и быту (нефрас, бензин-калоша) и в качестве сырья для нефтехимии (прямогонные бензины) [1].

В конце XIX века единственным используемым процессом нефтепереработки была перегонка сырой нефти, что позволяло выделять из нефти довольно широкую бензин-керосиновую фракцию, которая затем использовалась в качестве наружных антисептических средств и топлива для бытовых горелок и керосиновых ламп.

Появление на рубеже XIX-XX веков двигателей внутреннего сгорания послужило поводом для развития нефтеперерабатывающей промышленности, призванной обеспечить новые двигатели подходящим топливом, в качестве которого было предложено использовать бензиновую фракцию. Так бензин стал основным продуктом нефтепереработки.

В настоящее время, в промышленности для получения бензинов используются несколько основных процессов, таких как: атмосферная и вакуумная перегонка, гидрокрекинг, каталитический крекинг, каталитический риформинг, изомеризация и алкилирование. На ряду с основными процессами, применяются так же процессы, направленные на улучшение отдельных характеристик бензинов: процессы очистки от примесей, добавление присадок [2].

Основным потребителем бензинов является автомобильная промышленность, следовательно, наибольшие производственные мощности направляются на производство компонентов товарных автомобильных бензинов, которые затем смешиваются в пропорциях, необходимых для

получения товарного продукта, удовлетворяющего действующим экологическим нормам и обладающим требуемыми эксплуатационными характеристиками.

1.2 Характеристики качества товарных бензинов

К основным характеристикам автомобильных бензинов относят: детонационную стойкость, испаряемость (фракционный состав и давление насыщенных паров), вязкость, плотность и углеводородный состав.

1.2.1 Детонационная стойкость

Одним из основных показателей качества автомобильного бензина, непосредственно влияющим на стабильную и эффективную работу двигателя внутреннего сгорания является детонационная стойкость.

Детонационная стойкость – способность топлива противостоять самовоспламенению при повышении давления (сжатии). Чем выше октановое число бензина, тем большее давление может выдержать смесь без самовоспламенения [3].

Сжатие топливной смеси является, в свою очередь, неотъемлемой частью рабочего цикла двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Любой поршневой двигатель внутреннего сгорания имеет характеристику, именуемую степенью сжатия. Степень сжатия есть отношение объема надпоршневого пространства при нахождении поршня в нижней мертвой точке к объему камеры сгорания. Чем выше степень сжатия, тем (при прочих равных условиях) мощнее двигатель и больше его коэффициент полезного действия. Очевидно, что для повышения степени сжатия, а, следовательно, и эффективности работы ДВС, требуется топливо, обладающее соответствующими антидетонационными свойствами.

Используемый в настоящее время метод оценки детонационной стойкости товарных бензинов использует величину, называемую октановым числом, и основан на сравнении детонационной стойкости исследуемого образца с детонационной стойкостью эталонной смеси н-гептана с изооктаном (2,2,4-диметилпентаном) в различных процентных соотношениях [4]. Гептан в данной

смеси выступает в роли идеально детонирующего компонента, изооктан, в свою очередь, в роли практически не детонирующего. Таким образом, чистый изооктан обладает наивысшей (по данной шкале) детонационной стойкостью и характеризуется октановым числом равным 100 пунктам. В свою очередь, чистый н-гептан детонирует в двигателе даже при невысоких степенях сжатия, поэтому его октановое число принято за 0 пунктов. Составляя смеси изооктана с н-гептаном в объемных процентах можно получить смеси с детонационной стойкостью от 0 до 100 пунктов. Для определения детонационной стойкости бензинов с октановым числом выше 100 пунктов создана дополнительная шкала, в которой эталоном выступает изооктан в смеси с добавками-антидетонаторами.

Для экспериментального определения октанового числа используют установки типа УИТ-35, представляющие собой одноцилиндровые ДВС.

При этом определение октанового числа возможно по моторному, либо по исследовательскому методу.

Моторный метод подразумевает наиболее жесткий режим эксплуатации двигателя и отображает октановое число топлива при максимальных нагрузках и повышенной тепловой напряженности, что соответствует резким ускорениям и движению на максимальных оборотах двигателя [4]. В виду того, что двигатель далеко не всегда находится в таких сложных эксплуатационных условиях, на ряду с моторным, используется исследовательский метод определения октанового числа.

Исследовательский метод представляет собой имитацию нормального режима работы двигателя, который более полно соответствует условиям городской эксплуатации ДВС, установленных на современные автомобили [4].

Исследовательское октановое число, как правило, больше моторного на 8-10 пунктов. Разница между октановыми числами одного и того же бензина, определенными различными методами, называется чувствительностью топлива. Чувствительность топлива отражает его детонационную стойкость в широком

интервале нагрузок, чем она ниже, тем лучше антидетонационные свойства бензина.

1.2.2 Испаряемость

Испаряемость бензина оценивается показателями летучести: давлением насыщенных паров (ДНП) и фракционным составом.

Испаряемость бензина должна обеспечивать оптимальный состав топливно-воздушной смеси на всем интервале рабочих температур двигателя [5].

При недостаточной испаряемости бензина осложняется пуск двигателя в условиях пониженных температур, что, по мимо прочего, приводит к чрезмерному обогащению топливной смеси и увеличению вредных выбросов в атмосферу, обусловленных неполным сгоранием углеводородов в камере сгорания. В свою очередь, избыточная испаряемость топлива приводит к ухудшению работы двигателя в жаркую погоду: из-за высоких температур увеличивается вероятность образования паровых пробок в системе питания ДВС, которые приводят к уменьшению подачи топлива, а, следовательно, к ухудшению приемистости двигателя и нарушениям стабильности его работы, вплоть до полной остановки.

Давление насыщенных паров определяет давление пара над жидкостью того же состава, при термодинамическом равновесии системы. Одним из вариантов определения ДНП является определение по Рейду: испытуемый бензин выдерживается 20 минут в герметичном резервуаре при 38 °С. По прошествии данного времени по манометру фиксируют давление паров бензина [6]. В летний и зимний периоды оптимальными являются различные значения ДНП бензина. Так в летнее время целесообразно использовать топливо с более низким значением ДНП (порядка 35-80 кПа [7]), а в зимнее – с более высоким (порядка 35-100 кПа [7]).

Кроме влияния на эксплуатационные характеристики бензинов, ДНП так же сказывается на потерях в следствии испарения, и загрязнении окружающей среды, происходящих в процессе транспортировки и хранения бензина.

Фракционный состав бензина характеризует бензин по содержанию в нем фракций с различными температурными границами выкипания.

Фракционный состав бензина является обязательно контролируемой характеристикой и, согласно ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия», описывается количеством испарившейся пробы, выраженным в объемных процентах, при температурах 70, 100 и 150 °С и температурой конца кипения смеси в °С.

Характеристику бензина по холодному запуску принято связывать с объемной долей (%) бензина, испарившегося при 70 °С [5]. Как характеристика прогрева, так и характеристика управляемости при движении в общем чувствительны к испаряемости средних фракций, обозначаемой в спецификациях объемной долей бензина, перегоняемого при 100 °С [5].

Повышенное содержание тяжелых фракций в бензине приводит к повышенному износу поршневой группы двигателя, так как при определенных условиях эксплуатации они могут испаряться в камере сгорания не полностью. При этом топливо в цилиндрах смывает масляную пленку, усиливая износ деталей и разжижая масло [8].

Согласно ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия», максимальная испаряемость бензина характеризуется индексом испаряемости или индексом паровых пробок (ИПП), который является функцией давления насыщенных паров и количества топлива, отгоняемого при 70 °С.

$$\text{ИПП} = 10 \text{ ДНП} + 7 V_{70} \quad (1.1)$$

где ДНП – давление насыщенных паров, кПа, V_{70} – количество топлива, испаряющегося при 70 °С, % об.

По этой спецификации, все автомобильные бензины по испаряемости подразделяются на 10 классов. Применение бензина того или иного класса определяется климатическими условиями, а также особенностями конкретного автотранспорта [5].

1.2.3 Вязкость и плотность

Вязкость – один из важных показателей, описывающий эксплуатационные свойства моторного топлива. Вязкость бензина оказывает влияние на стабильную работу топливной системы автомобиля, возможность использования топлива в условиях пониженных температур, процессы подачи, испарения и сгорания топлива. В настоящее время, вязкость товарных бензинов не нормируется [7].

Плотность является не только физической характеристикой бензина, но и эксплуатационным показателем: плотность необходимо учитывать при контроле объемов производства и транспортировки бензина.

По плотности можно ориентировочно судить об углеводородном составе бензина, поскольку ее значения различны для различных групп углеводородов.

Так, для фракций с одинаковыми температурами начала и конца кипения плотность наименьшая, если они состоят из парафиновых углеводородов, и наибольшая, если содержат в основном ароматические углеводороды.

Согласно ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия», плотность автомобильных бензинов всех марок и типов, представленных в стандарте должна быть в пределах 720-775 кг/м³ при температуре 15 °С.

1.2.4 Химический и углеводородный состав

Химический состав бензинов характеризуют групповым углеводородным составом: содержанием в них ароматических, олефиновых, нафтеновых и парафиновых углеводородов; а также содержанием гетероатомных углеводородных соединений, которые включают серу, кислород и азот [7].

В целях улучшения свойств, в состав товарных бензинов вовлекают дополнительные кислородсодержащие соединения (например, эфиры: МТБЭ, ТАМЭ) [9].

Химический и углеводородный состав товарных бензинов регламентируется Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 013 2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину,

дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» по следующим параметрам:

Содержание серы

Содержание серы в товарном бензине, в зависимости от его экологического класса, должно составлять не более:

- 1) 500 мг/кг для бензинов, соответствующих экологическому классу К2;
- 2) 150 мг/кг для бензинов, соответствующих экологическому классу К3;
- 3) 50 мг/кг для бензинов, соответствующих экологическому классу К4;
- 4) 10 мг/кг для бензинов, соответствующих экологическому классу К5.

Превышение нормы содержания сернистых соединений в бензине приводит к повышенному нагарообразованию в двигателе, ускоряет износ деталей двигателя, способствует старению моторного масла, а также оказывает существенное влияние на загрязнение окружающего воздуха, как непосредственно, повышая концентрацию оксидов серы в выхлопных газах, так и косвенно – снижая эффективность работы каталитического нейтрализатора отработавших газов [10].

Содержание ароматических углеводородов, в частности, бензола

Объемная доля ароматических веществ в товарном бензине, в зависимости от его вида должна составлять не более:

- 1) 42 % об. для бензинов, соответствующих экологическому классу К3;
- 2) 35 % об. для бензинов, соответствующих экологическим классам К4 и К5.

Для бензинов, принадлежащих к экологическому классу К2, объемное содержание ароматических углеводородов, согласно Техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 013 2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту», не определяется.

При этом объемная доля бензола для бензинов, принадлежащих к экологическому классу К2, не должна превышать 5 % об., а для бензинов экологических классов К3, К4, и К5 не должна превышать 1 % об.

Повышение содержания ароматических углеводородов в товарном бензине ведет к увеличению их содержания в выхлопных газах, что негативно сказывается на состоянии окружающей среды.

Содержание олефиновых углеводородов

Объемная доля олефиновых углеводородов для бензинов, принадлежащих к экологическому классу К2, не определяется, а для бензинов экологических классов К3, К4, и К5 не должна превышать 18 % об [11].

Наличие олефиновых углеводородов является одной из основных причин образования смолистых веществ в бензине, наличие которых негативно сказывается на работе двигателя, сокращает его срок службы и увеличивает токсичность выхлопных газов [10].

Содержание кислорода и добавок-оксигенатов

Объемная доля кислородсодержащих соединений для бензинов, принадлежащих к экологическому классу К2 не определяется, а для бензинов экологических классов К3, К4, и К5 не должна превышать:

- 1) 5 % об. для этанола;
- 2) 10 % об. для изопропилового спирта;
- 3) 10 % об. для изобутилового спирта;
- 4) 7 % об. для третбутилового спирта;
- 5) 15 % об. для эфиров (С₅ и выше);
- 6) 10 % об. для других моноспиртов и эфиров.

При этом не допускается содержание метанола, а общее содержание кислорода в товарном бензине не должно превышать 2,7 % об.

Оксигенаты имеют достаточно высокую детонационную стойкость, что позволяет использовать их в качестве замены ароматических соединений, однако высокое содержание кислорода в бензине (более 2,7 % об.) снижает эффективность работы двигателя из-за сравнительно низкой теплоты сгорания кислородсодержащих соединений [10]. К тому же, исследования показывают склонность некоторых эфиров, в частности широко используемого в нашей стране МТБЭ, к накоплению в почвах и водоемах, что говорит о необходимости

строгoго контроля его содержания в товарных бензинах, с целью охраны окружающей среды.

1.3 Марки товарных бензинов, производимые на территории Российской Федерации

Производство товарных бензинов на территории Российской Федерации регламентируется следующими документами:

- 1) ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия»;
- 2) ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту».

Согласно перечисленным стандартам, бензины, выпускаемые на территории Российской Федерации и стран Таможенного союза должны принадлежать к одной из приведенных ниже марок:

- а) АИ-80;
- б) АИ-92;
- в) АИ-95;
- г) АИ-98.

А также, соответствовать одному из экологических классов: К2, К3, К4 или К5.

Требования, предъявляемые к товарным бензинам, согласно ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия», представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Требования к характеристикам автомобильных бензинов соответствующих марок [7]

Характеристики автомобильного бензина	Марка			
	АИ-80	АИ-92	АИ-95	АИ-98
Октановое число, не менее				
по исследовательскому методу	80	92	95	98
по моторному методу	76	83	85	88
Плотность при 15 °С, кг/м ³	720-775			
Доля отгона, % об. при 70 °С	15-50			
Доля отгона, % об. при 100 °С	40-70			
Доля отгона, % об. при 150 °С, не менее	75			
Конец кипения, °С, не выше	215			
Устойчивость к окислению, мин, не менее	360			
Концентрация смол, промытых растворителем, мг на 100 см ³ бензина, не более	5			
Коррозия медной пластинки (3 ч при 50 °С), единицы по шкале	Класс 1			
Внешний вид	Прозрачный и чистый			

Требования к характеристикам автомобильного бензина, предъявляемые согласно ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Требования к характеристикам автомобильных бензинов соответствующих экологических классов [11]

Характеристики автомобильного бензина	Единица измерения	Нормы в отношении			
		К 2	К 3	К 4	К 5
Массовая доля серы, не более	мг/кг	500	150	50	10
Объемная доля бензола, не более	%	5	1		
Концентрация железа, не более	мг/дм ³	отсутствие			
Концентрация марганца, не более	мг/дм ³	отсутствие			
Концентрация свинца, не более	мг/дм ³	отсутствие			
Массовая доля кислорода, не более	%	–	2,7		
Объемная доля углеводородов, не более:	%				
ароматических		–	42	35	
олефиновых		–	18		

Давление паров, не более:	кПа	
---------------------------	-----	--

Продолжение таблицы 1.2

в летний период		–	45-80	45-80	45-80
в зимний период		–	50-100	50-100	50-100
Объемная доля оксигенатов, не более:					
метанола		–	отсутствие		
этанола		–	5		
изопропанола		–	10		
третбутанола		–	7		
изобутанола		–	10		
эфиров, содержащих 5 или более атомов углерода в молекуле		–	15		
других оксигенатов (с температурой конца кипения не выше 210 °С)		–	10		
Объемная доля монометиланилина, не более	%	1	1	1	отсутствие

1.4 Технология производства товарных бензинов

Производство товарных бензинов представляет собой процесс смешения продуктов вторичной переработки нефти с добавлением различных модифицирующих добавок (присадок), целью которого является получение бензина соответствующего состава, обладающего требуемыми свойствами.

Основными процессами, продукты которых вовлекаются в приготовление товарных бензинов являются: каталитический риформинг, каталитический крекинг, алкилирование и изомеризация.

1.4.1 Каталитический крекинг

Каталитический крекинг – это процесс глубокой переработки нефти, позволяющий превращать тяжелое сырье в более легкие и ценные продукты, в частности, бензин и жирные олефинсодержащие газы [12].

Каталитический крекинг является эволюцией термического крекинга и к настоящему времени почти вытеснил последний, ввиду большего выхода по высокооктановому бензину и меньшего содержания тяжелых нефтяных топлив и легких газов в продуктах крекинга [13].

Типичным сырьем для процесса каталитического крекинга являются вакуумные газойли в чистом виде, либо содержащие остатки атмосферной и вакуумной перегонки, а также деасфальтизаты из гудрона.

Катализаторы крекинга должны обладать высокой активностью и селективностью по отношению к выходу бензинов; быть стойкими к закоксуванию и обеспечивать достаточную степень регенерации; проявлять устойчивость к отравлению азотистыми соединениями и металлами. В настоящее время катализаторами крекинга служат цеолитсодержащие алюмосиликатные вещества с включениями редкоземельных металлов, повышающих стабильность [14].

При ведении процесса каталитического крекинга образуется кокс, который, оставаясь на частицах катализатора, быстро снижает активность катализатора. Для поддержания активности катализатора на должном уровне необходимо производить своевременный выжиг кокса с поверхности катализатора, что достигается использованием в схеме реактора-регенератора.

Современные установки каталитического представляют собой установки с движущимся либо псевдоожиженным слоем катализатора. Наиболее современная схема установки включает в себя реактор с псевдоожиженным слоем, в котором реакция происходит непосредственно в потоке сырья (схема с лифт-реактором) [15].

Принципиальная схема подобной установки представлена на рисунке 1.1.

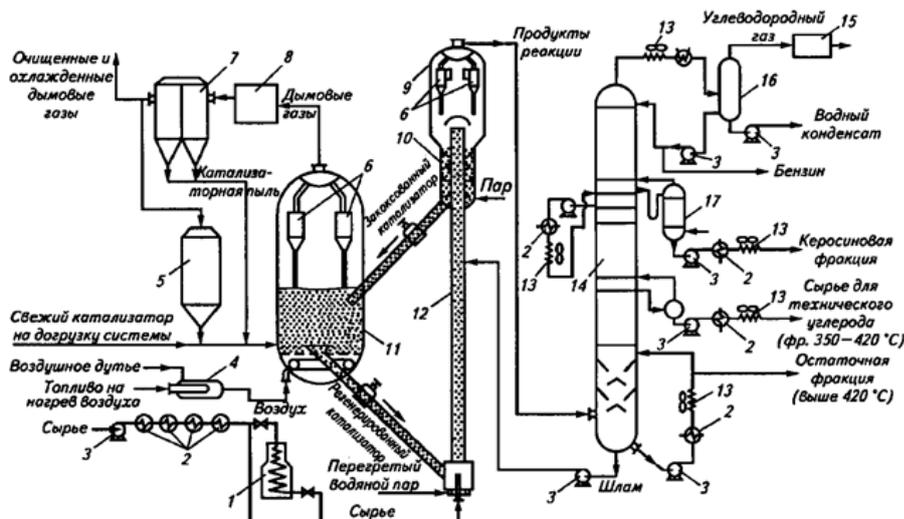


Рисунок 1.1. Принципиальная схема установки каталитического крекинга с лифт-реактором на микросферическом цеолитсодержащем катализаторе:

1 – трубчатая печь; 2 – теплообменник; 3 – насос; 4 – подогреватель воздуха; 5 – бункер для катализатора; 6 – циклоны; 7 – электрофильтр; 8 – котел-утилизатор; 9 – зона сепарации реактора; 10 – отпарная зона; 11 – регенератор с кипящим слоем; 12 – реактор сквозноточный; 13 – аппарат воздушного охлаждения; 14 – ректификационная колонна; 15 – газовый блок; 16 – емкость; 17 – отпарная колонна.

1.4.2 Каталитический риформинг

Каталитический риформинг – это процесс перестройки молекулярной структуры с образованием высокооктановых ароматических углеводородов при минимальной глубине крекинга [16].

Типичным сырьем для каталитического риформинга служат тяжелые прямогонные бензиновые фракции с интервалом кипения 82-190 °С и тяжелые бензиновые фракции гидрокрекинга

В ходе превращений, протекающих при каталитическом риформинге, имеют место реакции двух основных типов: циклизации и изомеризации. Таким образом, парафины в определенных количествах превращаются в нафтены, которые затем преобразуются в ароматические углеводороды; олефины насыщаются, образуя парафины, которые в дальнейшем изомеризуются; ароматические углеводороды практически не претерпевают изменений в ходе процесса. К числу нежелательных реакций относятся реакции деалкилирования боковых цепей нафтенов и ароматических углеводородов, а также крекинга нафтенов и парафинов [17].

Катализаторы процесса представляют собой платину, нанесенную на алюмосиликатный носитель. Платина является активным центром для реакций гидрирования и дегидрирования, а промотированный хлором оксид алюминия катализирует реакции изомеризации, циклизации и гидрокрекинга [17].

В зависимости от режима регенерации катализатора процессы риформинга подразделяют на периодические, циклические и непрерывные.

Процессы с периодической регенерацией характеризуются сравнительно низким уровнем капитальных затрат, однако для регенерации катализатора такие установки необходимо останавливать. В зависимости от жесткости ведения процесса, регенерация проводится с интервалами от 3 до 24 месяцев [17].

Непрерывные процессы подразумевают отбор и регенерацию либо замену катализатора без прерывания нормальной работы установки, однако они требуют значительно больших капитальных затрат.

Циклические процессы являются комбинацией двух вышеприведенных процессов: позволяют проводить процесс без прерывания работы установки, что достигается использованием сменного реактора. Когда активность катализатора в рабочем реакторе снижается ниже допустимых пределов, рабочий реактор останавливают на регенерацию, а процесс переключают на сменный реактор с регенерированным катализатором. На рисунке 1.2 представлена принципиальная схема установки каталитического риформинга.

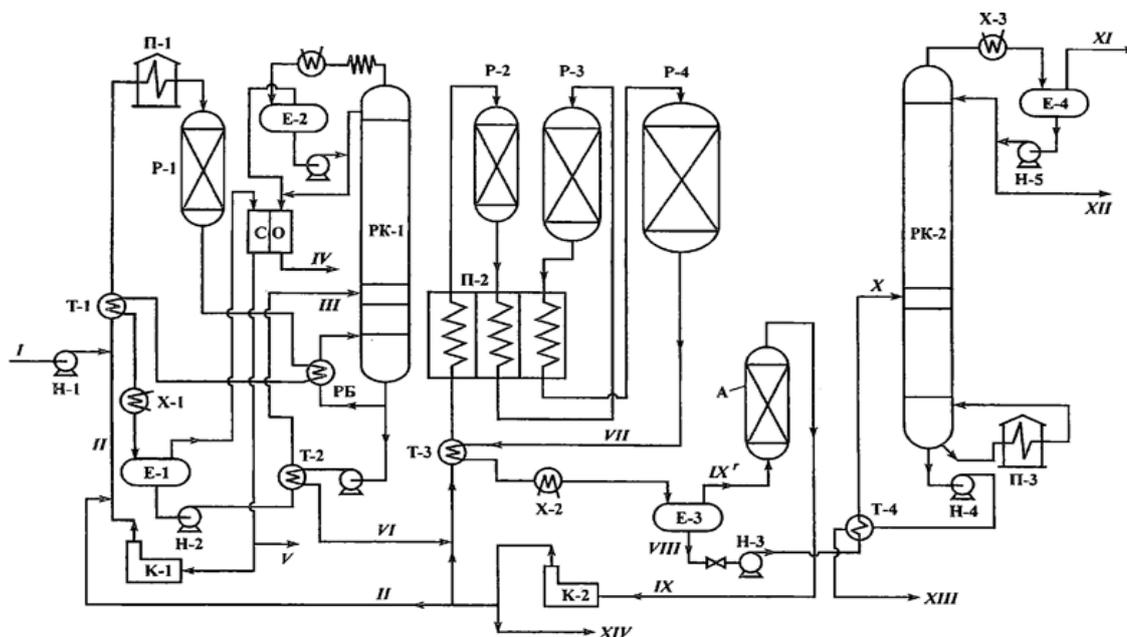


Рисунок 1.2. Принципиальная схема установки каталитического риформинга для получения высокооктанового бензина на стационарном катализаторе:

аппараты: P-1 – реактор гидроочистки; P-2,-3,-4 – реакторы риформинга; П-1,-2,-3 – трубчатые печи; РК-1,-2 – ректификационные колонны; А – адсорбер; СО – секция очистки газов; E-1,-3 – сепараторы высокого давления; E-2,-4 – сепарационные емкости колонн; Т – теплообменники; X – холодильники; Н – насосы; К-1,-2 – компрессоры;
потoki: I – бензин 85-180 °С; II – ВСГ; III – гидроочищенный катализат; IV, XI – углеводородные газы; V – отдув ВСГ; VI – гидроочищенный бензин на риформинг; VII – риформированный катализат; VIII – жидкая фаза; IX – ВСГ на очистку; X – нестабильный катализат риформинга; XII – сжиженный газ; XIII – стабильный высокооктановый бензин; XIV – товарный ВСГ.

1.4.3 Изомеризация

Изомеризация – это процесс превращения углеводородов (в частности, парафинов) нормального строения в их изомеры [18].

Основным сырьем для процессов изомеризации служит легкая прямогонная бензиновая фракция C_5 н.к. – 82 °С.

Изомеризация позволяет значительно увеличить октановое число сырья, так, например, для пентана разница между октановыми числами по исследовательскому методу углеводорода нормального строения (н-пентана) и его изомера (изопентана) составляет порядка 30 пунктов. Однократная изомеризация позволяет повышать октановое число по исследовательскому методу с 70 до 82-84 пунктов для легкой прямогонной бензиновой фракции. Если же нормальные компоненты реакционного потока дополнительно возвращать в реактор, то ОЧИ повышается до 87-93 пунктов [17].

Реакции изомеризации предпочтительно проводить при температурах, порядка 95-205 °С, что способствует сдвигу термодинамически равновесного превращения в благоприятную сторону. Для обеспечения приемлемых скоростей реакций при таких относительно низких температурах требуются катализаторы с очень высокой активностью.

Катализаторы изомеризации представляют собой платину, нанесенную на носители различного строения. В качестве носителя могут выступать цеолиты, либо различные металлооксидные структуры. Так же следует отметить, что цеолитные катализаторы требуют непрерывного введения небольших количеств органических хлоридов для поддержания высокой активности катализатора.

Типичная схема установки низкотемпературной изомеризации показана на рисунке 1.3.

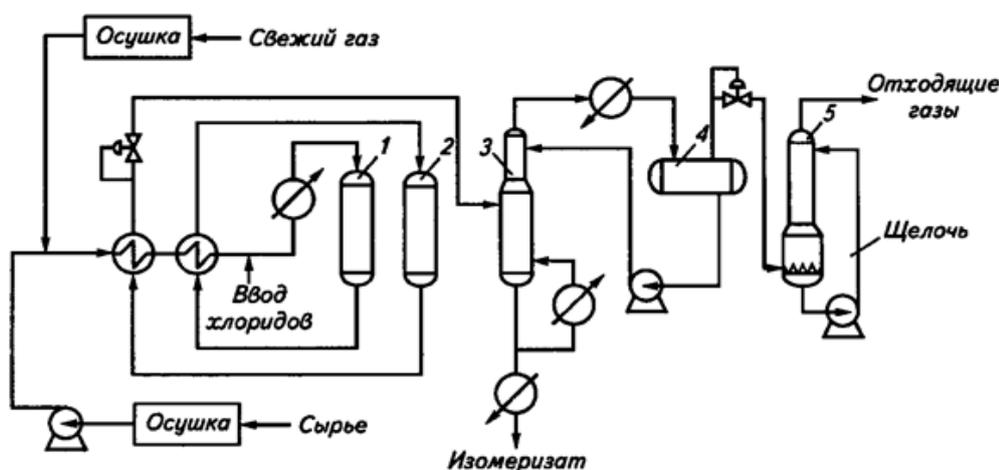


Рисунок 1.3. Установка изомеризации Н-О-Т Pernex (патент принадлежит компании UOP):

1,2 – реакторы; 3 – колонна стабилизации; 4 – сепаратор; 5 – скруббер отходящих газов.

1.4.4 Алкилирование

Алкилирование – это процесс присоединения алкильной группы к различным соединениям. В нефтепереработке алкилированием принято называть реакцию низкомолекулярных олефинов с изопарафинами.

Промышленное значение имеют процессы низкотемпературного каталитического алкилирования в присутствии серной или

фтористоводородной кислоты. При правильном выборе рабочих условий, большая часть продуктов, получаемых по этим процессам приходится на бензин с октановыми числами по моторному и исследовательскому методам в интервалах соответственно от 88 до 94 и от 94 до 99 пунктов [19].

Основным сырьем, вовлекаемым в процессы алкилирования являются газы крекинга, пиролиза и коксования; парафины с третичным атомом углерода и изобутилен.

С точки зрения эффективности выхода, процесс выгодно проводить при низких температурах, однако чрезмерное снижение температуры вызывает трудности с перемешиванием реагентов в реакционном объеме. В свою очередь, излишний подогрев реакционной смеси смещает равновесие реакции в сторону полимеризации, снижая выход целевых продуктов. Таким образом, температурные пределы, в которых целесообразно проводить процесс алкилирования это: 5-10 °С для серной кислоты и 21-38 °С для фтористоводородной кислоты [17]. Различие обусловлено различными физико-химическими свойствами кислот.

Кроме того, важным фактором, оказывающим влияние на качество получаемого продукта, является соотношение изобутан/олефин в сырье. В промышленной практике это соотношение обычно изменяется в пределах от 5/1 до 15/1 [17].

Катализаторами процесса, как уже было отмечено, являются серная либо фтористоводородная кислоты с концентрацией не ниже 88 % мас., поскольку снижение концентрации кислоты ниже этого значения приводит к интенсификации нежелательных реакций полимеризации.

На рисунке 1.4 представлена одна из возможных схем реализации процесса алкилирования с использованием серной кислоты в качестве катализатора.

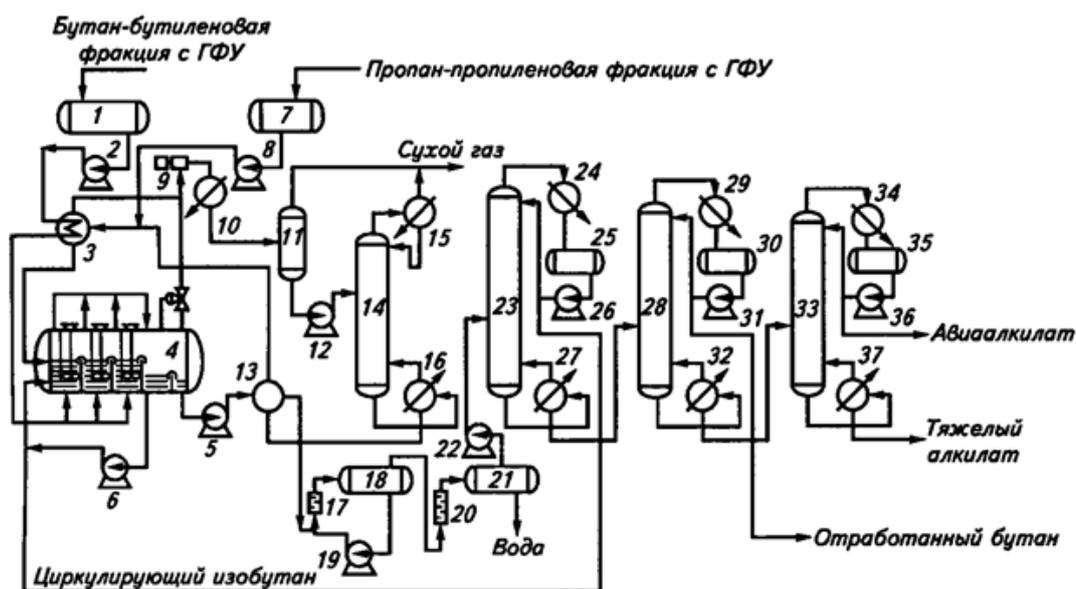


Рисунок 1.4. Технологическая схема алкилирования изобутана в автоохлаждающемся реакторе:

1 – емкость для исходного сырья; 2 – насос для подачи сырья; 3 – переохладитель бутан-бутиленовой фракции (ББФ); 4 – самоохлаждающийся реактор с мешалками; 5 – насос для подачи продуктов алкилирования на защелачивание; 6 – насос для циркуляции серной кислоты; 7 – емкость для пропан-пропиленовой фракции (ППФ); 8 – насос для подачи ППФ в систему холодильного блока; 9 – компрессор; 10 – конденсатор; 11 – газосепаратор; 12 – насос для подачи жидкой фазы газосепаратора на ректификацию; 13 – теплообменник; 14 – пропановая колонна; 15 – парциальный конденсатор; 16, 27, 32, 37 – подогреватель-испаритель; 17, 20 – смеситель; 18, 21 – отстойник; 19 – циркуляционный насос; 22 – насос для подачи продуктов алкилирования на ректификацию; 23 – изобутановая колонна; 24, 29, 34 – конденсатор; 25, 30, 35 – емкость для орошения; 26, 31, 36 – насос для подачи орошения; 28 – бутановая колонна; 33 – колонна вторичной перегонки алкилата.

1.4.5 Технология смешения товарных бензинов

Производство товарных бензинов путем смешения компонентов – компаундирование – представляет собой многоступенчатый технологический процесс, который сопряжен с рядом особенностей, значительно осложняющих его оптимизацию [20].

К основным особенностям относятся:

- Неаддитивность ряда свойств потоков, вовлекаемых в процесс смешения;
- Непостоянство состава компонентов, подаваемых на смешение;
- Возможная нехватка требуемых компонентов из-за непостоянства запасов товарного парка;
- Большое количество потоков на смешение (5-20 в зависимости от мощности завода и приготавливаемого продукта).

Аппаратурное обеспечение процессов компаундирования обязательно включает в себя смесительные устройства, работающие по одному из трех наиболее распространенных методов. Смесительное устройство может представлять собой резервуар с мешалками, в который подаются потоки на компаундирование; может использовать для перемешивания энергию потоков (циркуляционные смесители); либо смешение может производиться непосредственно в трубопроводах [21].

Чаще всего, на производствах используют циркуляционные смесители.

Типовая конструкция циркуляционных смесителей представлена на рисунке 1.5.

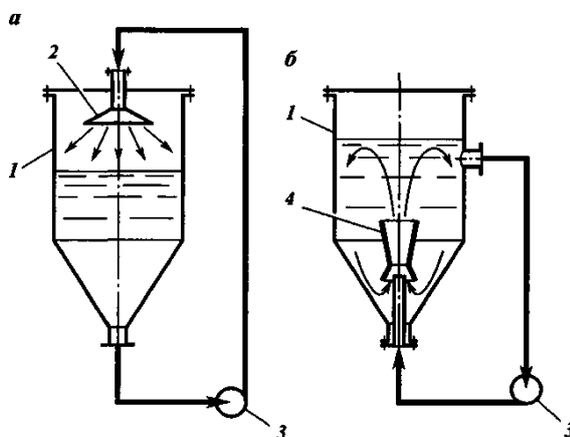


Рисунок 1.5. Циркуляционные смесители

а) смеситель с циркуляционным насосом; б) смеситель с циркуляционным насосом и эжектором; 1 – емкость; 2 – разбрызгиватель; 3 – циркуляционный насос; 4 – эжектор.

На первом этапе процесса смешения, компоненты будущего бензина, поступают с технологических установок в резервуарный парк установки смешения бензинов. Затем, необходимые, согласно используемой рецептуре, количества компонентов поступают в смесительный резервуар; после чего начинается процесс многократного циркуляционного перекачивания смеси в резервуаре, целью которого является достижения равномерности состава и свойств смеси; конечным этапом является выгрузка готовой смеси из аппарата-смесителя.

Конечным продуктом процесса компаундирования является товарный бензин, соответствующий по своему составу и свойствам всем нормам и требованиям, прописанным в регламентирующей документации.

2 Объект и методы исследования

2.1 Постановка задачи исследования

Процесс производства товарных бензинов сопряжен с рядом трудностей, таких как неаддитивность свойств смешиваемых компонентов, что существенно осложняет контроль за соблюдением требований, предъявляемых к товарным продуктам; нестационарность работы установок, производящих компоненты бензинов, что приводит к непостоянству свойств, поступающих на смешение потоков.

В связи с вышеперечисленным ведение процесса производства товарных бензинов должно быть спланировано и оптимизировано таким образом, чтобы обеспечить максимальную прибыль предприятия вкупе с соблюдением всех требований, предъявляемых к качеству товарной продукции.

Таким образом, производителю важно иметь возможность прогнозировать влияние различных факторов, таких как, изменение состава поступающего сырья, на свойства конечного продукта, чтобы вести процесс максимально эффективно. На этом этапе особенно важным является возможность прогнозного расчета основных регламентируемых свойств товарных бензинов.

К настоящему времени, на кафедре Химической технологии топлива и химической технологии ИПР ТПУ разработан программно-моделирующий комплекс «Compounding», позволяющий рассчитывать многие из регламентируемых свойств товарных бензинов, основываясь на данных хроматографического анализа, т.е. на углеводородном составе компонентов, поступающих на смешение.

Однако, такое важное регламентируемое свойство товарных бензинов, как фракционный состав, программно-моделирующим комплексом «Compounding» на сегодняшний день не рассчитывается.

В связи с чем, задачей данного исследования выступила разработка методики расчета фракционного состава товарных бензинов и их компонентов по углеводородному составу.

2.2 Объект и предмет исследования

Объектом исследования были выбраны товарные бензины.

На автомобильных заправочных станциях было закуплено 6 образцов товарных бензинов. Сведения о закупленных образцах представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Перечень исследованных образцов

№ образца	Компания дистрибьютор	Марка
Образец 1	ПАО «Газпром нефть»	АИ-95
Образец 2	ПАО «Лукойл»	АИ-95
Образец 3	ПАО НК «Роснефть»	АИ-95
Образец 4	ПАО «Газпром нефть»	АИ-92
Образец 5	ПАО «Лукойл»	АИ-92
Образец 6	ООО «Баррель»	АИ-92

Предметом исследования послужил прогнозный расчет регламентируемых свойств товарных бензинов с целью создания оптимальных рецептур смешения.

2.3 Методы исследования

Для разработки методики расчета фракционного состава товарных бензинов и их компонентов на основе их углеводородного состава был произведен анализ фракционного и углеводородного состава всех образцов товарного бензина.

Фракционный состав образцов определялся методом непосредственного фракционирования образцов на установке автоматического определения фракционного состава.

Углеводородный состав определялся методом капиллярной газовой хроматографии на хроматографе.

Для оптимизации рецептур смешения бензинов использовался программный комплекс «Compounding».

2.3.1 Методика определения фракционного состава

Фракционный состав образцов был экспериментально определен на установке «РАС Optidist» согласно и с соблюдением требований методики, представленной в ГОСТ ISO 3405-2013 «Нефтепродукты. Определения фракционного состава при атмосферном давлении».

Сущность метода: в зависимости от состава и ожидаемых характеристик испаряемости образец относят к одной из четырех групп. Для каждой группы характерны свое оборудование, температура холодильника и условия проведения испытания. При определенных условиях, соответствующих конкретной группе испытуемого образца, перегоняют 100 мл образца и регистрируют показания термометра и объем конденсата. Измеряют объем остатка в колбе после перегонки и регистрируют процент потерь при разгонке. Показания термометра корректируют на барометрическое давление и результаты используют при вычислениях в зависимости от группы образца и требований спецификации на продукцию [22].

Отличительной особенностью проведения испытаний на автоматической установке является то, что не нужно вручную снимать и коррелировать показания термометров, определять объем остатка и процент потерь при перегонке.

Принцип работы установки состоит в том, что образец, нагреваемый в испарительном блоке установки начинает постепенно испаряться. Система улавливает пары образца, измеряет их температуру и соотносит ее с объемом конденсата в цилиндре-приемнике. Далее пары конденсируются в холодильном блоке установки и попадают в цилиндр-приемник в виде конденсата.

Установка «РАС Optidist» представляет собой комплексный автономный инструмент по определению фракционного состава образцов. Для определения фракционного состава на данной установке нужно:

1. С помощью специального гибкого шомпола, прочистить внутренние части аппарата от остатков предыдущих образцов;

2. Поместить колбу Вюрца со 100 мл исследуемого образца в ячейку для образца, герметично соединить отвод колбы с патрубком установки и опустить прижимной рычаг электронагревателя;
3. Установить цилиндр-приемник в нижнюю камеру аппарата и закрыть ее;
4. По показаниям экрана состояния прибора убедиться в готовности всех систем к пуску испытания;
5. Выбрать режим испытания, в зависимости от предполагаемых характеристик исследуемого образца и нажать кнопку «Пуск»;
6. По окончании испытания, содержимое колбы и цилиндра-приемника вылить в слив для образцов, таблицу экспериментальных данных с прибора подать на печать;
7. Подготовить колбу и цилиндр-приемник к проведению следующего испытания.

Установка, использованная в данном исследовании изображена на рисунке 2.1

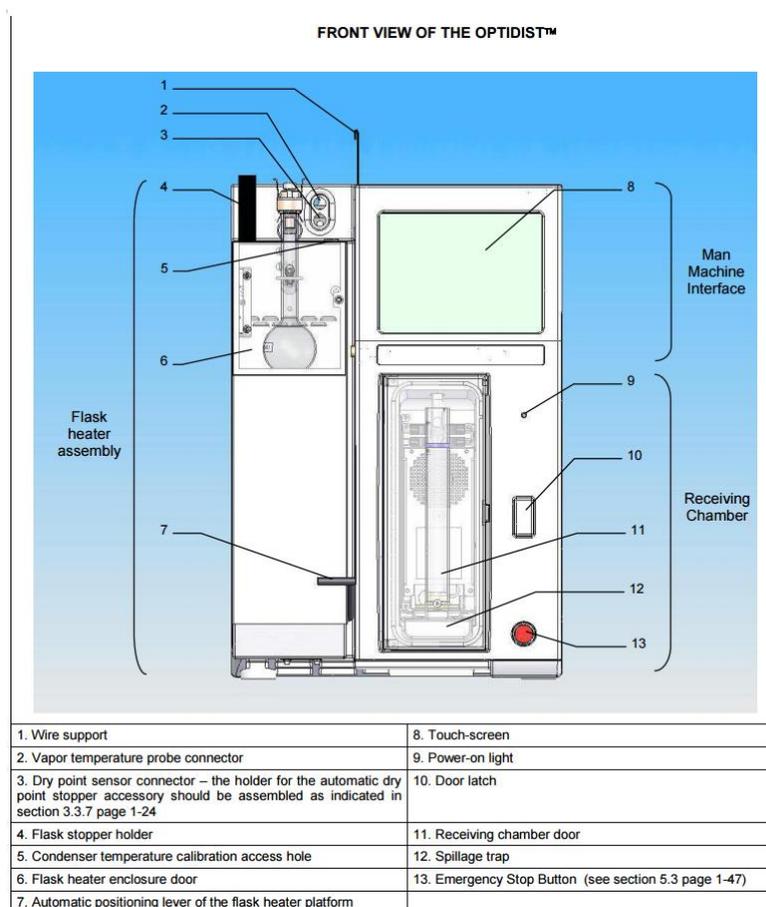


Рисунок 2.1. Схема автоматической установки определения фракционного состава «PAC Optidist»

Формат вывода результатов определения фракционного состава установки «PAC Optidist» представляет собой таблицу, в которой содержатся температуры выкипания 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 85, 90 и 95 % об., а также температура конца кипения смеси.

2.3.2 Методика определения углеводородного состава

Углеводородный состав образцов был определен методом капиллярной газовой хроматографии на хроматографе «Кристалл 2000М» производства СКБ «Хроматэк» согласно всем нормам и требованиям, изложенным в ГОСТ Р 52714-2007 «Бензины автомобильные. Определение индивидуального и группового углеводородного состава методом капиллярной газовой хроматографии».

Сущность метода заключается в хроматографическом разделении бензина на капиллярной колонке с неполярной неподвижной фазой с последующей регистрацией углеводородов пламенно-ионизационным детектором и обработкой полученной информации с помощью программного обеспечения [23].

Исследуемый образец бензина вводят в газовый хроматограф, оснащенный кварцевой капиллярной колонкой, содержащей в качестве твердой фазы метилсилоксан.

Под действием газа-носителя – гелия – образец проходит через колонку, в которой его компоненты разделяются по времени удерживания в колонке хроматографа. Компоненты регистрируются пламенно-ионизационным детектором при их элюировании из колонки. Сигнал детектора обрабатывается системой электронного накопления данных или интегрирующим компьютером.

Каждый получаемый пик идентифицируют путем сравнения его индекса удерживания со стандартными хроматограммами, в случае наличия соответствующего аппаратно-программного обеспечения, сравнение может происходить в автоматическом режиме.

Время одного испытания по данному методу составляет, в среднем, около 2 часов.

После проведения испытания колонку промывают чистым элюентом, для исключения влияния ранее исследованных проб на последующие результаты.

Схема хроматографа «Кристалл 2000М» изображена на рисунке 2.2.

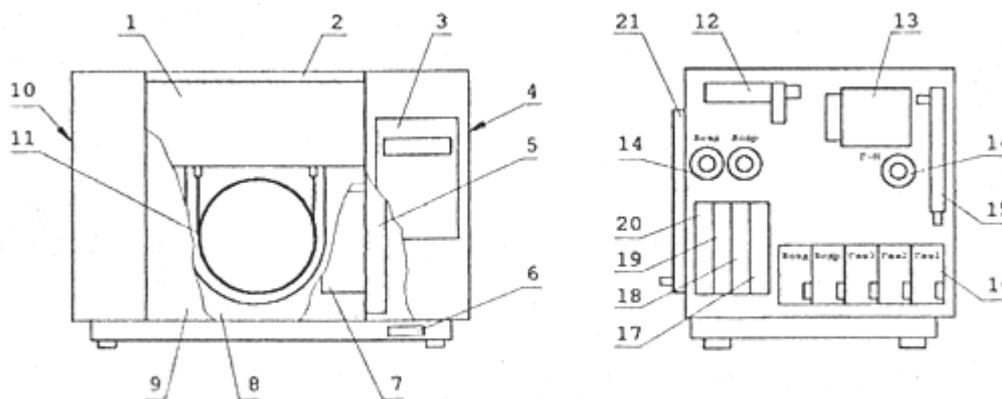


Рисунок 2.2. Внешний вид хроматографа «Кристалл 2000М»

1 – сменный модуль; 2 – крышка верхняя; 3 – панель управления; 4 – кожух правый; 5 – контроллер; 6 – тумблер СЕТЬ; 7 – источник питания; 8 – термостат колонок; 9 – дверка термостата; 10 – кожух левый; 11 – колонка; 12 – блок ФЭУ; 13 – коммутационная панель модуля; 14 – регулятор давления; 15 – фильтр сброса; 16 – РРГ10 (РРГ11); 17 – усилитель ЭЗД (ДТП); 18 – усилитель ПИД2; 19 – усилитель ПИД1; 20 – усилитель ПДФ; 21 – входной газовый фильтр.

2.3.3 Программный комплекс «Compounding»

Оптимизация рецептов смешения в данной работе производилась с использованием программного комплекса «Compounding», представляющего собой систему для расчета основных свойств товарных бензинов и их компонентов на основе данных об их углеводородном составе [24,25,26,27].

Исходными данными для программы являются хроматограммы исследуемых смесей. Хроматограммы, используемые программой для расчетов, предварительно пересчитываются путем группировки компонентов в ключевые псевдокомпоненты. Конечным результатом такого преобразования является файл, содержащий данные по массовой доле 110 ключевых компонентов в исследуемом образце.

Используемый метод группировки компонентов позволяет значительно упростить расчеты без существенной потери точности.

Программный комплекс «Compounding» позволяет осуществлять расчет следующих характеристик бензинов и углеводородных потоков:

1) Октановые числа по моторному и исследовательскому методу на основе учета межмолекулярных взаимодействий между углеводородами бензиновой смеси:

(2.1)

где $OЧ_{см}$ – октановое число смешения бензинов; B – суммарное отклонение октановых чисел от аддитивности; C_i – концентрация i -го компонента, отн. ед.

$$B = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=2}^n B_i B_j C_i C_j \quad (2.2)$$

B_i, B_j – величины, характеризующие склонность i -й молекулы к межмолекулярному взаимодействию с j -й молекулой, которую можно выразить через дипольные моменты молекул:

$$B_i = \alpha \left(\frac{D_i}{D_{max}} \right)^n \quad (2.3)$$

где α и n – кинетические параметры, определяющие интенсивность межмолекулярных взаимодействий в зависимости от дипольного момента D , для молекулы толуола численно равные 2,21 и 1,09 соответственно; D_{max} – максимальный дипольный момент молекул ароматических углеводородов C_{9+} .

2) Плотность смеси по формуле Менделеева:

$$\rho_4^t = \rho_4^{20} - \Delta t \cdot (t - 20) \quad (2.4)$$

где ρ_4^t – плотность при температуре t , кг/м³; ρ_4^{20} – плотность при температуре 20 °С, кг/м³; Δt – температурная поправка к плотности на 1 °С.

3) Вязкость смеси по формуле Оррика и Эрбара:

$$\ln \frac{\eta}{\rho M} = \alpha + \frac{\beta}{T} \quad (2.5)$$

где η – вязкость, сП; T – температура, К; ρ – плотность при $T = 20$ °С; M – молярная масса; α, β – константы, зависящие от природы вещества.

4) Давление насыщенных паров по уравнению Антуана:

$$\ln P_T = A - B / (T + C) \quad (2.6)$$

где T – температура, К; A , B , C – физико-химические константы.

5) Содержание различных углеводородов, таких как бензол, ароматические и олефиновые углеводороды.

Интерфейс одного из диалоговых окон программного комплекса «Compounding» изображен на рисунке 2.3.

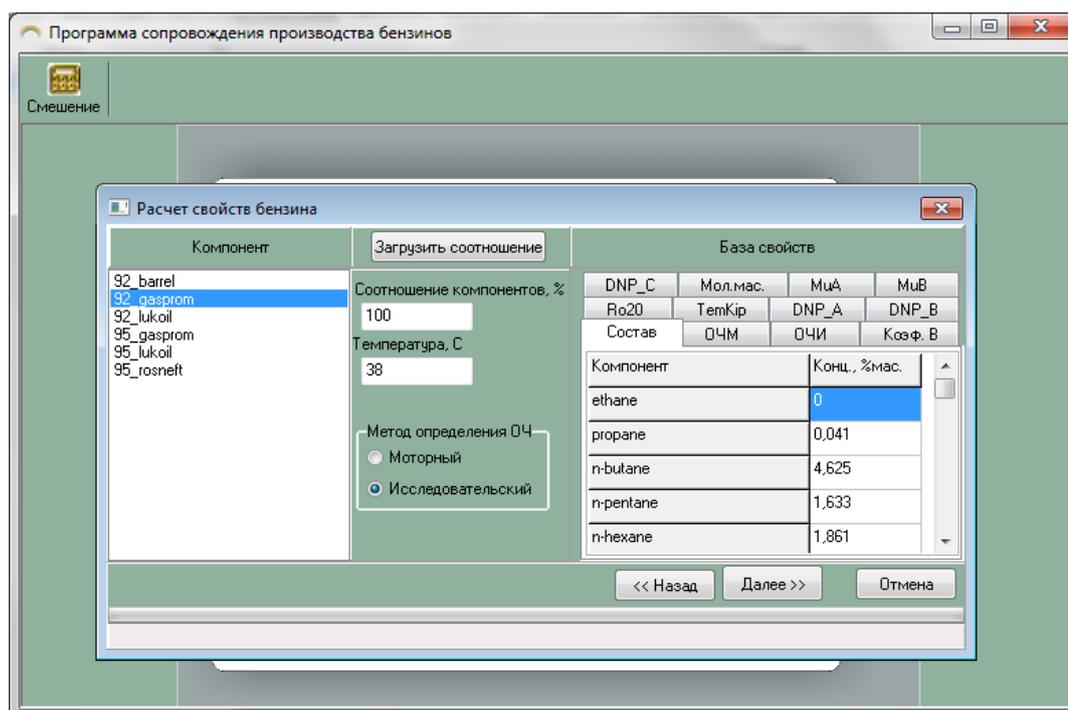


Рисунок 2.3. Внешний вид диалогового окна «Ввод рецептуры смешения» программного комплекса «Compounding»

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Предлагаемая разработка исследование имеет достаточно высокий коммерческий потенциал и является ресурсосберегающей технологией. Основными функциями являются: краткосрочный полуавтоматический расчет состава и свойств поступающих на смешение потоков и получаемых товарных бензинов и разработка оптимальных рецептур смешения, с учетом характеристик и запасов исходного сырья.

По результатам проведенного сегментирования рынка были определены основные потребители и сегменты, влияющие на спрос продукта (табл. 5.1).

Таблица 5.1 – Сегментирование рынка

Способ определения ОЧ		Размер компании		
		Малая	Средняя	Крупная
Расчетный Метод		+	+	+
	Экспериментальный метод	—	+	+

Таким образом видно, что предлагаемая разработка имеет более полный охват рынка по сравнению с экспериментальными способами определения ОЧ, что позволит найти покупателей на рынке данных услуг.

5.2 Анализ конкурентных технических решений

Практические преимущества разработки заключаются в точности производимых расчетов и реагировании на изменения в составе сырья, что позволяет сэкономить дорогостоящие компоненты, снизить нежелательный запас по качеству и минимизировать объем некондиционных партий бензина, что в конечном итоге отражается на ценовой характеристике бензина, увеличивая его конкурентоспособность.

В данном разделе проведен анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, с целью оценки сравнительной эффективности научной разработки, и определения направлений для дальнейшего развития. В оценочной карте (Таблица 5.2), сведены данные о трех конкурентных решениях и разработках, существующих на рынке: Aspen PIMS, BOSS, OpenBPC.

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}	К _{к3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
1. Повышение производительности труда пользователя	0,075	5	5	5	5	0,375	0,375	0,375	0,375
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,05	5	5	5	5	0,25	0,25	0,25	0,25
3. Помехоустойчивость	0,005	5	5	4	4	0,025	0,025	0,02	0,02
4. Энергоэкономичность	0,005	5	5	4	4	0,025	0,025	0,02	0,02
5. Надежность	0,03	4	5	4	4	0,12	0,15	0,12	0,12
6. Уровень шума	0,0005	5	5	5	5	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
7. Безопасность	0,0005	5	5	4	4	0,0025	0,0025	0,002	0,002
8. Потребность в ресурсах памяти	0,035	5	4	4	4	0,175	0,14	0,14	0,14
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,125	4	5	5	4	0,5	0,625	0,625	0,5
10. Простота эксплуатации	0,06	5	4	4	4	0,3	0,24	0,24	0,24
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	4	5	5	5	0,2	0,25	0,25	0,25
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,075	5	5	5	5	0,375	0,375	0,375	0,375
Экономические критерии оценки эффективности									
1. Конкурентоспособность продукта	0,08	4	5	5	5	0,32	0,4	0,4	0,4
2. Уровень проникновения на рынок	0,005	4	5	4	4	0,02	0,025	0,02	0,02
3. Цена	0,2	5	2	2	2	1	0,4	0,4	0,4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	5	5	0,25	0,25	0,25	0,25
5. Послепродажное обслуживание	0,1	5	4	4	4	0,5	0,4	0,4	0,4
6. Финансирование научной разработки	0,002	3	5	5	5	0,006	0,01	0,01	0,01
7. Срок выхода на рынок	0,002	3	5	5	5	0,006	0,01	0,01	0,01
8. Наличие сертификации разработки	0,05	5	5	5	5	0,25	0,25	0,25	0,25
Итого	1	-	-	-	-	4,702	4,205	4,1595	4,034

где B_{ϕ} – баллы предлагаемой разработки (комплексной системы для повышения ресурсоэффективности процесса производства бензинов);

B_{k1} – баллы первого конкурента (Aspen PIMS);

B_{k2} – баллы второго конкурента (BOSS);

B_{k3} – баллы третьего конкурента (Honeywell's Open Blend Property Control (OpenBPC)).

Анализ конкурентных технических решений производился по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 4,702, \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Коэффициент конкурентоспособности определялся по формуле:

$$KC = \frac{K}{K_{K_{\max}}} = \frac{4,702}{4,205} = 1,118, \quad (5.2)$$

где KC – коэффициент конкурентоспособности разработки;

$K_{K_{\max}}$ – максимальная конкурентоспособность конкурента.

Основываясь на знаниях о конкурентных решениях, можно заключить, что уязвимость позиции конкурентов обусловлена в основном высокой ценой их разработок, а также необходимостью предприятиям отдельно оплачивать дорогостоящую диагностику неполадок, отладку систем и регулярно приобретать обновления. Также, имеют место технические недостатки разработок, такие, как отсутствие учета физико-химической природы процесса производства бензинов, что в свою очередь, является сильной стороной данного проекта. За счет этого станет возможным занять нишу на рынке программного обеспечения, и сотрудничать со средними и крупными нефтеперерабатывающими предприятиями, предлагая им свою разработку в качестве альтернативы или дополнения к существующим на предприятии системам.

Апробации разработки на реальных промышленных данных подтвердили адекватность и точность производимых расчетов, что и являлось объектом интереса потенциальных партнеров. Дальнейшая работа будет направлена на улучшение интерфейса и стабильности работы предлагаемого программного обеспечения, а также, расширение функционала, что поможет создаваемому продукту оставаться на требуемом для эффективной работы уровне, быть удобным, эффективным и выгодным для конечного пользователя, таким образом способствуя расширению клиентской базы.

5.3 SWOT-анализ

Комплексный анализ научно-исследовательского проекта SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) представлен в Таблице 5.3.

Таблица 5.3 – SWOT-анализ проекта

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Программа способна выполнять точный расчет углеводородного состава компонентов бензинов и товарного продукта	Сл1. Относительно большой срок внедрения на производство
	С2. Программа способна выполнять точный одновременный расчет основных детонационных характеристик компонентов бензинов и товарного продукта	Сл2. Необходимость наличия данных хроматографического анализа
	С3. С помощью программы возможно осуществлять адекватный прогнозный расчет детонационных характеристик моторных топлив	Сл3. Необходимость доработки программы в связи с возможными изменением технологии смешения
	С4. Имеется возможность расчета оптимальных с точки зрения производства рецептур	Сл4. Отсутствие необходимого оборудования для проведения лабораторных исследований

	смещения и их корректировка в зависимости от изменений состава и свойств сырья	
	С5. Применение системы дает экономию дорогостоящих присадок и добавок	Сл5. Сравнительно узкий функционал, по сравнению с комплексными моделирующими системами
	С6. Применение системы позволяет сократить нежелательное накопление «слабых» компонентов на производстве	Сл6. Использование относительно неэффективного алгоритма поиска оптимальных рецептур
	С7. Применение системы дает уменьшение риска выпуска некондиционных партий бензина	Сл7. Реализация не в самом «гибком» языке программирования
	С8. Программа проста в использовании	
Возможности:	Стратегия «Сильные стороны и Возможности»: разработанный программный продукт, в силу своей простоты, наглядности, удобства и широкого функционала, может быть легко внедрен как на российские, так и на зарубежные НПЗ разной мощности, дополняя имеющиеся производственные системы, наращивая при этом точность и масштабы работы. Низкая цена разработки делает внедрение сравнительно недорогим для производства процессом, а эффективность разработки обеспечит быструю окупаемость вложений.	Стратегия «Слабые стороны и Возможности»: реализация продукта должна осуществляться таким образом, чтобы избежать трудностей внедрения на производство, а именно: необходимо заранее убедиться в наличии необходимого сопутствующего оборудования, иметь широкие временные сроки внедрения, а также постоянно работать над улучшением модели поиска оптимальных рецептур смещения, модернизировать продукт и делать его более гибким в широком диапазоне изменения условий производства.
В1. Повсеместное внедрение на малые, средние и крупные НПЗ		
В2. Постепенное увеличение точности расчетов программы путем накопления собственной базы данных программы		
В3. Интеграция в комплексную систему моделирования производства моторных топлив с учетом влияния процессов вторичной нефтепереработки на качество конечного продукта		
В4. Увеличение спроса на программу, как в России, так и за рубежом, путем активной рекламы и реализации программы импортозамещения		
В5. Прирост конкурентного преимущества в связи с увеличением цены на зарубежные аналоги		
Угрозы:	Стратегия «Сильные стороны и Угрозы»: поскольку главным отличием разработки от	Стратегия «Слабые стороны и Угрозы»: принимая во внимание масштабы проблемы и силу
У1. Разработка аналогов программы у конкурентов и		

их совершенствование с точки зрения физико-химических основ процесса смешения	имеющихся на рынке аналогов является описание нелинейностей смешения с физико-химической точки зрения, необходимо и далее совершенствовать эту модель, не допуская ее утечки на рынок (в виде исходного кода программы). Необходимо использовать гибкость программы для внедрения ее на НПЗ, по возможности иметь несколько копий программы в разных языках программирования	конкурентов, а также недоработки программы в плане модели поиска рецептов и самого языка программирования, необходимо заранее оговаривать это при контактах с потенциальными партнерами, во избежание недопонимания. Основным преимуществом здесь будет возможность постепенной модернизации программы в условиях производства, постоянный контакт с партнерами, качественное обслуживание и сервис, что увеличит шансы на распространение разработанного продукта.
У2. Несовместимость с имеющимся на НПЗ программным обеспечением, необходимость смены языка программирования		
У3. Отказ от внедрения в связи с удовлетворением нынешнего потребления продукции/отсутствия значительных проблем, связанных с производством топлив.		

Таблица 5.4 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта									
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	B1	+	+	+	+	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+	0	-	+	0
	B3	+	+	+	+	+	+	0	+
	B4	-	0	0	-	0	0	-	+
	B5	-	-	0	-	+	0	-	0

Таблица 5.5 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта								
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5	Сл6	Сл7
	B1	+	+	0	+	+	+	0
	B2	-	+	0	-	-	+	0
	B3	-	+	+	+	+	+	0
	B4	+	0	0	-	+	+	0
	B5	-	0	0	-	-	0	0

Таблица 5.6 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта									
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	У1	+	+	+	+	-	-	+	-
	У2	+	+	+	-	-	-	+	+
	У3	+	+	+	+	+	+	0	-

Таблица 5.7 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

		Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5	Сл6	Сл7
	B1	-	-	0	-	+	+	-
	B2	0	+	+	+	-	-	+
	B3	+	-	0	-	-	-	-

5.4 Планирование научно-исследовательских работ

5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в чей состав входят: бакалавр, научный руководитель, консультант по части социальной ответственности (СО) и консультант по экономической части (ЭЧ) выпускной квалификационной работы. Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и проведем распределение исполнителей по видам работ (таблица 5.8)

Таблица 5.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Составление и утверждение технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, консультант ЭЧ, СО, бакалавр
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр
	3	Обзор современных методов и патентных исследований по данному направлению	Руководитель, бакалавр,
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Поиск необходимого оборудования и материалов для проведения эксперимента	Руководитель, бакалавр
	6	Проведение экспериментов	Бакалавр
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, бакалавр
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ и оценка полученных результатов	Руководитель, бакалавр
	9	Оценка целесообразности	Руководитель

		исследования и создания продукта	
Проведение ВКР			
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка и усовершенствование расчетных методов	Руководитель, бакалавр
	11	Оценка эффективности производства и применения разработки	Руководитель, бакалавр, консультант по ЭЧ
	12	Разработка социальной ответственности по теме	Бакалавр, консультант СО
Оформление комплекта документации по ВКР	13	Составление пояснительной записки	Бакалавр

5.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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 формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

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

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i – ой работы, 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:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож i}}{Ч_i},$$

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

$t_{ож i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел. – дн.;

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

Таблица 5.9 – Временные показатели проведения научного исследования.

№	Название работ	Трудоемкость работ									Исполнители	Т _р , раб. дн.			Т _р , кал. дн.		
		t _{min} , чел-дн.			t _{max} , чел-дн.			t _{ож} , чел-дн.				Исп.1	Исп.2	Исп.3	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 технического задания	0,2	0,2	0,2	1	1	1	0,5	0,5	0,5	Р	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
		0,2	0,2	0,2	1	1	1	0,5	0,5	0,5	Б	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
		0,2	0,2	0,2	1	1	1	0,5	0,5	0,5	КЭ	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
		0,2	0,2	0,2	1	1	1	0,5	0,5	0,5	КС	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
2	Выбор направления исследований	0,5	0,5	0,5	2	2	2	1	1	1	Р	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
		0,5	0,5	0,5	2	2	2	1	1	1	Б	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
3	Обзор современных методов и патентных исследований по данному направлению	5	5	5	10	10	10	7	7	7	Р	3,5	3,5	3,5	4,2	4,2	4,2
		10	10	10	15	15	15	12	12	12	Б	6	6	6	7	7	7
4	Календарное планирование работ по теме	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Р	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
		1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Б	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
5	Поиск необходимого оборудования и материалов для проведения эксперимента	7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	Б	4,1	4,1	4,1	5	5	5
		7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	Р	4,1	4,1	4,1	5	5	5
6	Проведение эксперимента	5	5	5	7	7	7	5,8	5,8	5,8	Р	2,9	2,9	2,9	3,5	3,5	3,5

	ов	15	15	15	20	20	20	17	17	17	Б	8,5	8,5	8,5	10	10	10
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	5	5	5	10	10	10	7	7	7	Р	3,5	3,5	3,5	4,2	4,2	4,2
		10	10	10	15	15	15	12	12	12	Б	6	6	6	7	7	7
8	Анализ и оценка полученных результатов	15	15	15	20	20	20	17	17	17	Б	8,5	8,5	8,5	10	10	10
		7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	Р	4,1	4,1	4,1	5	5	5
9	Оценка целесообразности исследования и создания продукта	0,2	0,2	0,2	1	1	1	0,5	0,5	0,5	Р	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
10	Разработка и усовершенствование расчетных методов	10	10	10	15	15	15	12	12	12	Б	6	6	6	7	7	7
		7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	Р	4,1	4,1	4,1	5	5	5
11	Оценка эффективности производства и применения разработки	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	КЭ	0,6	0,6	0,6	1	1	1
		7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	Б	2,7	2,7	2,7	3	3	3
		5	5	5	7	7	7	5,8	5,8	5,8	Р	2	2	2	2	2	2
12	Разработка социальной ответственности по теме	7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	Б	4,1	4,1	4,1	5	5	5
		3	3	3	5	5	5	3,8	3,8	3,8	КС	1,9	1,9	1,9	3	3	3
13	Составление пояснительной записки	20	20	20	30	30	30	24	24	24	Б	24	24	24	27	27	27

5.4.3. Разработка графика проведения научного исследования

Для иллюстрации календарного плана проекта приведена диаграмма Ганта, на которой работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства отображения каждый месяц разделен на декады.

Таблица 5.10 – Календарный план-график проведения НИОКР

Вид работы	Исполнители	T_{ki} , дней	Продолжительность выполнения работ												
			февраль		март			апрель			май				
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Составление технического задания	Руководитель, бакалавр, консультант ЭЧ, СО	0,1	■												
Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр	0,6	■												
Обзор современных методов и патентных исследований по данному направлению	Руководитель, бакалавр	7	■	■											
Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр	0,8	■	■											
Поиск необходимого оборудования и материалов для проведения эксперимента	Руководитель, бакалавр	5		■	■										
Проведение экспериментов	Руководитель, бакалавр	10			■	■	■								

Вид работы	Исполнители	T _{кi} , дней	Продолжительность выполнения работ														
			февраль		март			апрель			май						
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, бакалавр	7			■	■											
Анализ и оценка полученных результатов	Руководитель, бакалавр	10			■	■	■										
Оценка целесообразности исследования и создания продукта	Руководитель	0,5				■											
Разработка и усовершенствование расчетных методов	Руководитель, бакалавр	10					■	■	■								
Оценка эффективности производства и применения разработки	Руководитель, бакалавр, консультант ЭЧ	3						■	■	■							
Разработка социальной ответственности по теме	Бакалавр, консультант СЧ	5							■	■	■	■	■				
Составление пояснительной записки	Бакалавр	27									■	■	■	■	■	■	■

Руководитель	Бакалавр	Консультант ЭЧ	Консультант СО

5.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов) и прочие материальные затраты, необходимые для данной разработки, сведены в Таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Затраты на сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Наименование	Ед-ца измерения	Количество		Цена за ед. с НДС, руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Руководитель (Р)	Бакалавр (Б)	Исп 1.	Исп 2.	Исп 3.	Исп 1.	Исп 2.	Исп 3.
Образцы компонентов, поступающих на узел смешения	шт.	45		Поставляются бесплатно в рамках договора	550	730	—	24750	32850
Образцы готового товарного бензина	шт.	5		Поставляются бесплатно в рамках договора	550	730	—	2750	3650
Бумага для принтера	листов	700		1	0,75	1	700	525	700
Тетрадь для записей	шт.	2	4	28	25	20	168	150	120
Ручка	шт.	2	4	15	20	10	90	120	60
Картридж для принтера	шт.	3		750	700	770	2250	2100	2310
Итого, руб.							3358	30545	39810

Затраты на специальное оборудование для научных работ, включая 15% на затраты по доставке и монтажу, а также расчет стоимости электроэнергии отображены в Таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Расчет бюджета затрат на спецоборудование для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Мощность электроприбора, кВт·ч	Затраты на электроэнергию, тыс. руб
			Исп 1	Исп 2	Исп 3		
1	Компьютер для проведения расчетов	2	25	40	37	0,75	1,628
2	Хроматограф Для обработки проб	1	Есть в наличии			0.7	1,519
3	Лабораторный анализатор фракционного состава	1	Есть в наличии			1,0	2,171
4	Лазерный принтер	1	Есть в наличии			0,05	0,108

	Исполнение 1	Исполнение 2	Исполнение 3
Итого, тыс. рублей	60,41	86,95	81,06

Расчет стоимости электроэнергии:

$$E_1 = C \cdot N_1 \cdot H \cdot D = 4,36 \cdot 0,75 \cdot 6 \cdot 83 = 1628.5 \text{ руб} \quad (5.3)$$

$$E_2 = C \cdot N_2 \cdot H \cdot D = 4,36 \cdot 0,05 \cdot 6 \cdot 83 = 108.6 \text{ руб},$$

где: E_1 – общее потребление электроприбором №1 энергии на весь срок научного исследования;

N – мощность электроприбора, кВт·ч;

C – стоимость электроэнергии для юридических лиц по Томской области (4,36 руб/кВт·ч);

H – норма рабочих часов в день (6 часов в день);

D – общий срок научного исследования (83 дня).

5.5.1 Основная заработная плата исполнителей

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИТ, (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:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп} ,$$

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

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

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot Т_p ,$$

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

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

$Т_p$ – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot М}{F_d} ,$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$М$ – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

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

В таблице 5.13 приведен баланс рабочего времени каждого работника НИТ.

Таблица 5.13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр	Консультант ЭЧ	Консультант СО
Календарное число дней	140	140	140	140
Количество нерабочих дней				
выходные дни:	16	16	16	16
праздничные дни:	6	6	6	6
Потери рабочего времени				
отпуск:	0	0	0	0
невыходы по болезни:	0	0	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	118	118	118	118

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p,$$

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

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

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 таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Расчет основной заработной платы

Категория	$Z_{мс}$, руб.	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дон}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель							
	23264,9	0,35	1,3	39922,5	1330,75	31	41253,3
Бакалавр							
	2200	0,35	1,3	4719	157,3	83	13055,9
Консультант ЭЧ							
	20080,9	0,35	1,3	34458,8	1148,6	2	2297,3
Консультант СО							
	20080,9	0,35	1,3	34458,8	1148,6	2	2297,3

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 5.15.

Таблица 5.15 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{зн}$, руб.
Руководитель	41253,3	8250,6	49503,9
Бакалавр	13055,9	2611,18	15667,1
Консультант ЭЧ	2297,3	459,5	2756,8
Консультант СО	2297,3	459,5	2756,8

5.5.2 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 этих отчислений определяется по формуле:

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

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2017 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 5.17.

Таблица 5.16– Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	41253,3	8250,6
Бакалавр	13055,9	2611,18
Консультант ЭЧ	2297,3	459,5
Консультант СО	2297,3	459,5
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,30	
Итого:	21205,4	

5.5.3 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 5.17.

Таблица 5.17 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Затраты на сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	3358	30545	39810	Таблица 5.5.1
2. Затраты на приобретение и эксплуатацию спецоборудования для научных работ	60410	86950	81060	Таблица 5.5.2
3. Затраты по основной	58903,8	58903,8	58903,8	Таблица

заработной плате исполнителей				5.5.1.2
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	11780,8	11780,8	11780,8	Таблица 5.5.1.3
5. Отчисления во внебюджетные фонды	21205,4	21205,4	21205,4	Таблица 5.5.2.1
6. Бюджет затрат НТИ	155658	209385	212760	Сумма ст. 1-5

Как видно из таблицы 5.17, наиболее выгодным является проведение НТИ по первому (предлагаемому в исследовании) варианту исполнения, а наибольшая статья бюджета НТИ — затраты на приобретение и эксплуатацию спецоборудования для научных работ.

5.5.4 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 показатель финансовой эффективности научного исследования был получен в ходе оценки бюджета затрат для трех вариантов исполнения научного исследования.

Интегральный финансовый показатель разработки равен:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{155658 \text{ р.}}{5000000 \text{ р.}} = 0,03 \quad (5.7)$$

Интегральный финансовый показатель первого аналога равен:

$$I_{\phi}^{A1} = \frac{\Phi_{A1}}{\Phi_{\max}} = \frac{4100000 \text{ р.}}{5000000 \text{ р.}} = 0,82 \quad (5.8)$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – ориентировочная стоимость варианта исполнения текущей разработки;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в качестве максимальной стоимости взята стоимость существующей на рынке системы Honeywell OpenBPC в базовой комплектации (5000000 р); стоимость системы BOSS составляет ориентировочно 4100000 р.).

Интегральный показатель ресурсоэффективности аналогов проекта определяется следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (5.9)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя приведен в Таблице 5.19.

Таблица 5.18 – Сравнительная оценка характеристик аналогов проекта

ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1 (BOSS)	Аналог 2 (OpenBPC)
Критерии				
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5	5
3. Помехоустойчивость	0,15	4	4	4
4. Энергосбережение	0,20	4	3	3
5. Надежность	0,25	3	5	4
6. Материалоемкость	0,15	5	4	3
ИТОГО	1	4	4,3	3,9

Разработка: $I_m^p = 5*0,1+4*0,15+4*0,15+4*0,2+3*0,25+5*0,15=4;$

Аналог 1 (BOSS): $I_m^{A1} = 5*0,1 + 5*0,15 + 4*0,15 + 3*0,2 + 5*0,25 + 4*0,15 = 4,3$;

Аналог 2 (OpenBPC): $I_m^{A1} = 5*0,1 + 5*0,15 + 4*0,15 + 3*0,2 + 4*0,25 + 3*0,15 = 3,9$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр}^P$):

$$I_{финр}^P = \frac{I_m^P}{I_{\phi}^P} = \frac{4}{0,03} = 133,3 \quad (5.10)$$

Интегральный показатель эффективности аналога №1:

$$I_{финр}^{A1} = \frac{I_m^{A1}}{I_{\phi}^P} = \frac{4,3}{0,82} = 5,243 \quad (5.11)$$

Интегральный показатель эффективности аналога №2:

$$I_{финр}^{A2} = \frac{I_m^{A2}}{I_{\phi}^P} = \frac{3,9}{1} = 3,9 \quad (5.12)$$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^P}{I_{финр}^{A1}} = \frac{133,3}{5,243} = 25,42, \quad \mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^P}{I_{финр}^{A2}} = \frac{133,3}{3,9} = 34,18 \quad (5.13)$$

где \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта; $I_{mэ}^P$ – интегральный показатель разработки; $I_{mэ}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 5.19 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Текущий проект	Аналог 1 (BOSS)	Аналог 2 (OpenBPC)
Интегральный финансовый показатель разработки	0,03	0,82	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4	4,3	3,9
Интегральный показатель эффективности	133,3	5,243	3,9
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	-	19,073	25,641

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет сделать вывод, что текущая разработка вследствие своей низкой цены и широкого функционала является эффективной по сравнению с представленным на рынке программным обеспечением