

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Совершенствование технологии производства товарных бензинов

УДК 665.633-027.236

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Мурашова Екатерина Евгеньевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чузлов Вячеслав Алексеевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ивашкина Елена Николаевна	Д.Т.Н.		

Томск – 2022 г.

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

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

	4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5 Социальная ответственность
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	Рыжакина Татьяна Гавриловна
<i>Социальная ответственность</i>	Сечин Андрей Александрович

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чузлов Вячеслав Алексеевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Мурашова Екатерина Евгеньевна		

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

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

Форма представления работы:

<i>Магистерская диссертация</i>

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
11.03.2022 г.	Введение	10
25.03.2022 г.	Компаундирование товарных бензинов. Характеристики качества товарных бензинов. Присадки и добавки. Требование, предъявляемые к качеству автомобильных бензинов. Технология производства и компоненты автомобильных бензинов. Методы расчета основных физико-химических свойств компонентов смешения и товарных бензинов.	10
08.04.2022 г.	Цель и задачи исследования. Характеристика объекта исследования. Функционирование комплекса производства компонентов автомобильных бензинов в условиях переменного углеводородного состава исходного сырья. Математическое моделирование блоков разделения и каталитической переработки углеводородного сырья.	20
29.04.2022 г.	Обсуждение результатов. Моделирование блока ректификации широкой бензиновой фракции. Расчет процессов изомеризации и каталитического риформинга с использованием строгих математических моделей. Расчет оптимальных соотношений компонентов при смешении товарных бензинов различных марок с учетом экономической эффективности и обеспечения выпуска продукции заданного качества.	50
20.05.2022 г.	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».	10

	Раздел «Социальная ответственность».	
	Заключение.	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чузлов Вячеслав Алексеевич	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Мурашова Екатерина Евгеньевна		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ивашкина Елена Николаевна	К.Т.Н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ02	Мурашова Екатерина Евгеньевна

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

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования: материальных, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с научной литературой, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах
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 разработки проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Планирование и формирование бюджета разработки	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение бюджета научного исследования
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности разработки	Проведение оценки экономической эффективности, ресурсоэффективности и сравнительной эффективности различных вариантов исполнения исследования
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения и бюджет проекта 4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности разработки	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	31.01.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		31.01.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Мурашова Екатерина Евгеньевна		31.01.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
2ДМ02		Мурашова Екатерина Евгеньевна	
Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение химическое инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 «Химическая технология топлива и газа»

Тема ВКР:

Совершенствование технологии производства товарных бензинов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p>Объект исследования – технология процесса производства автомобильных бензинов Область применения – нефтехимическая промышленность Рабочая зона – компьютерный класс ОХИ ТПУ Наименование оборудования рабочей зоны – персональный компьютер (1 шт) Рабочие процессы – разработка математической модели</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018); ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. ГОСТ Р 50923-96. Дисплей. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Анализ вредных и опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вещества, обладающие острой токсичностью по воздействию на организм; – повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека; – отклонение показателей микроклимата; – превышение уровня шума;

	<ul style="list-style-type: none"> – недостаточная освещенность рабочей зоны. <p>Средства защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> – размещение электрооборудования с учетом защиты персонала от случайных прикосновений к токоведущим частям; – аварийное отключение электрооборудования при возникновении аварийных ситуаций в результате нарушения технологического процесса; – спецодежда; – соблюдение техники безопасности. <p>Расчет уровня вредного производственного фактора:</p> <ul style="list-style-type: none"> – расчет системы искусственного освещения.
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения	На литосферу оказывают влияние отходы, образующиеся при выполнении работ: бумага, пластик, отработанные люминесцентные лампы и т.д. Основной задачей предотвращения влияния является подбор способов их утилизации. На гидросферу и атмосферу в процессе разработки математической модели влияние минимально.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения	Возможные ЧС: пожар, взрыв, разлив компонентов товарных бензинов. Наиболее типичная ЧС: пожар.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Мурашова Екатерина Евгеньевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 143 страницы, 26 рисунков, 52 таблицы, 65 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: бензин, компаундирования, октановое число, моделирование, рецептура, риформинг, изомеризация.

Целью данной работы является интенсификация и оптимизация процесса производства товарных бензинов для достижения экономической эффективности.

Объектом исследования в данной работе является комплекс производства бензинов, состоящий из трех блоков: разделения, каталитической переработки бензиновых фракций и приготовления товарных бензинов.

Предметом исследования является состав фракций, получаемых в результате работы блока разделения сырья, продукты их каталитической переработки и рецептуры смешения товарных бензинов.

В работе предложен комплекс мероприятий, направленных на повышение объема выпуска товарных бензинов при сокращении потребления дорогостоящих октаноповышающих присадок.

Практическая значимость работы заключается в рекомендациях по корректировке режима разделения исходного сырья процессов изомеризации и каталитического риформинга, а также определении оптимальных соотношений потоков смешения при которых достигается экономическая эффективность производства при сохранении требуемого запаса по качеству товарной продукции.

Содержание

Введение.....	14
1 Литературный обзор.....	16
1.1 Аналитический обзор технологий процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций.....	16
1.1.1 Технологии процесса изомеризации.....	17
1.1.2 Отечественный и зарубежный опыт повышения эффективности процесса изомеризации.....	23
1.1.3 Математические модели процесса изомеризации.....	25
1.2 Аналитический обзор процесса каталитического риформинга бензинов.....	26
1.2.1 Технологии процесса каталитического риформинга.....	28
1.2.2 Методы снижения бензола в риформате.....	31
1.2.3 Математические модели процесса риформинга.....	33
1.3 Компаундирование товарных бензинов.....	36
1.3.1 Методы расчета физико-химических характеристик компонентов смешения и товарных бензинов.....	37
1.3.2 Подходы к моделированию процесса приготовления автомобильных бензинов.....	42
2 Объекты и методы исследования.....	45
2.1 Математическая модель ректификации сырья.....	46
2.2 Математическая модель процессов изомеризации и риформинга.....	47
2.3 Математическая модель процесса компаундирования товарных бензинов.....	48
3 Повышение эффективности процесса производства товарных бензинов.....	51
3.1 Блок разделения.....	51
3.2 Блок каталитической переработки бензиновых фракций.....	52
3.3 Блок смешения автомобильных бензинов.....	55
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	62
4.1 Предпроектный анализ.....	62
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	62
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	63
4.1.3 SWOT – анализ.....	64
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	68

4.1.5	Методы коммерциализации научно-технического исследования	70
4.2	Инициация проекта	70
4.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	72
4.3.1	Иерархическая структура работ проекта.....	72
4.3.2	План проекта.....	73
4.4	Бюджет научного исследования	75
4.4.1	Организационная структура проекта	79
4.4.2	План управления коммуникациями проекта	80
4.4.3	Реестр рисков проекта	80
4.5	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	81
4.5.1	Оценка абсолютной эффективности исследования.....	81
4.5.2	Оценка сравнительной эффективности исследования.....	86
4.6	Выводы по разделу.....	88
5	Социальная ответственность	90
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	90
5.2	Производственная безопасность.....	93
5.2.1	Отклонение показателей микроклимата.....	94
5.2.2	Недостаточная освещенность рабочей зоны	95
5.2.3	Повышенное значение электромагнитного излучения и напряжения в электромагнитной цепи	96
5.2.4	Психофизиологические производственный факторы	97
5.2.5	Повышенный уровень шума	98
5.2.6	Пожарная безопасность	98
5.2.7	Расчет искусственного освещения	99
5.3	Экологическая безопасность.....	101
5.3.1	Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду.....	101
5.3.2	Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	102
5.3.3	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	103
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	104
5.4.1	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	104

5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	104
5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС.....	105
5.5 Выводы по разделу.....	106
Заключение.....	108
Список использованных источников.....	109
Приложение А.....	116
Приложение Б.....	118
Приложение В.....	126

Введение

Автомобильный бензин является широко востребованным продуктом вне зависимости от экономической ситуации. Даже не смотря на рост цен на топливо, Россия остается в списке стран с доступным топливом.

Проблема повышения экономической эффективности производства автомобильных бензинов считается одной из основных в современной нефтеперерабатывающей промышленности. Показатели качества товарных бензинов формируются, как правило, на этапе смешения. Компоненты, идущие на смешение, являются продуктами различных процессов переработки нефти. Каждый компонент обладает своими свойствами и стоимостью. Во избежание получения некондиционных партий необходимо строго соблюдать технологические параметры всех процессов нефтепереработки. Кроме того, с 1 июля 2016 года введен запрет на производство товарных автомобильных бензинов ниже экологического класса ЕВРО-5 [1].

Одной из основных задач на Российских НПЗ является планирование и совершенствование технологии производства автомобильных бензинов, повышение качества продукции и определение оптимальных рецептур бензинов, учитывая качество и количество сырья.

Для повышения эффективности переработки нефти, а также улучшения качественных характеристик выпускаемых товарных бензинов наиболее важными являются несколько процессов, среди которых можно выделить процессы изомеризации и риформинга, и, главным образом, компаундирование [2].

В настоящее время для оптимизации процесса и планирования выпуска бензинов используют математические алгоритмы и моделирующие системы. С помощью этих инструментов можно с высокой точностью спрогнозировать и скорректировать технологический режим и характеристики получаемой продукции. Рецептуры смешения бензинов представляют собой соотношение различных продуктов нефтепереработки, которые имеют разные свойства и

показатели качества [3]. Во избежание получения некондиционных партий и лишних затрат, необходимо строго соблюдать технологические параметры всех процессов нефтепереработки.

Исходя из вышесказанного можно утверждать, что эффективность работы НПЗ и количество и качество производимой ими продукции напрямую зависит от эффективного планирования производства.

Цель работы – интенсификация и оптимизация процесса производства товарных бензинов, включающего стадии разделения сырья, изомеризации, риформинга и смешения.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Разработать математическую модель установки разделения сырья и провести анализ полученных составов на соответствие регламентирующей документации;

2. С использованием математических моделей процессов изомеризации и риформинга рассчитать состав потоков, идущих на компаундирование;

3. Разработать рецептуры смешения для бензинов следующих марок: «АИ-92-5», «АИ-95-5» и «АИ-98-5».

Объектом исследования в данной работе является комплекс производства бензинов, состоящий из трех этапов: разделение, каталитическая переработка бензиновых фракций и смешение.

1 Литературный обзор

1.1 Аналитический обзор технологий процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций

Процесс изомеризации парафиновых углеводородов является одним из самых рентабельных способов получения высокооктановых компонентов бензинов с улучшенными экологическими свойствами.

Актуальность использования установок изомеризации возрастает с каждым годом из-за введения сверхжестких требований к эксплуатационным и экологическим свойствам товарных бензинов, что связано с негативным воздействием на окружающую среду выхлопных газов. Качество товарных бензинов строго регламентируется и контролируется по содержанию олефиновых и ароматических углеводородов (в частности, бензола), а также серосодержащих соединений. При увеличении содержания этих веществ в бензине происходит увеличение их содержания в автомобильных выбросах. Поэтому перед производителями остро стоит проблема снижения содержания токсичных веществ в топливе.

В связи с вступлением в России технического регламента, запрещающего производство товарных бензинов ниже 5-го экологического класса, требования по содержанию серы и ароматических углеводородов ужесточились. В соответствии с данным регламентом объемная доля ароматических углеводородов не должна превышать 35 об. %, бензола - 1 об. %, которые являются основными компонентами риформата [4]. Для снижения содержания данных компонентов в риформате, его разбавляют высокооктановыми неароматическими компонентами, такими как изомеризат, алкилат и оксигенаты.

На нефтеперерабатывающих заводах процесс изомеризации используют давно. Изомеризат характеризуется высоким октановым числом (ОЧИ = 89 – 90), не содержит ароматических углеводородов, олефинов и серы, а его себестоимость в три раза ниже, чем алкилата. Для того, чтобы минимизировать

выход олефиновых и ароматических углеводородов, необходимо правильно подобрать катализатор, а также оптимальный технологический режим.

Важнейшим показателем эффективности процесса изомеризации является повышение октанового числа в бензиновых фракциях, что позволяет снизить жесткость проведения риформинга. Для проведения изомеризации также необходим водород, получаемый в процессе риформинга.

Раньше процессы изомеризации были предназначены для получения изобутана из н-бутана при невысоких температурах (90-120 °С) на хлористом алюминии. Доведение октанового числа до нужного значения производилось путем добавления присадок, например, метилтретбутилового эфира (МТБЭ).

Для снижения использования присадок в качестве сырья стали использовать пентан-гексановую фракцию, а процесс вели на бифункциональном катализаторе [5].

В последнее время на производствах активно изучается и развивается процесс, в котором в качестве сырья изомеризации используют гептановую фракцию (C₇). Использование такой фракции в качестве сырья способствует выпуску бензинов, соответствующих классу ЕВРО-5. На данный момент сведений о процессе и установках еще мало, но известно, что для проведения данного процесса необходима разработка селективного катализатора для предотвращения реакций крекинга [5].

1.1.1 Технологии процесса изомеризации

Сущность процесса изомеризации состоит в преобразовании неразветвленных низкооктановых парафиновых углеводородов в разветвленные изопарафины с высоким октановым числом.

Температурный режим ведения процесса имеет прямое влияние на изменение октанового числа. Для получения разветвленных парафинов (повышения октанового числа) необходимо снижать температуру процесса, так как при высоких температурах скорость реакций крекинга увеличивается, что

приводит к закоксуыванию катализатора. Влияние температуры на изменение октанового числа показано на рисунке 1.1.

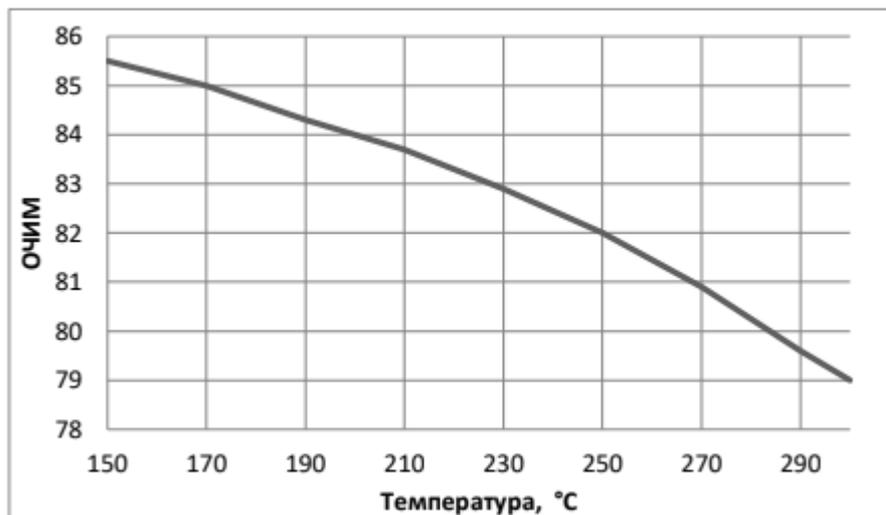


Рисунок 1.1 - Влияние температуры на октановое число изомеризата [12]

Первый тип классификации технологий процессов изомеризации основывается на разнице в аппаратном оформлении [12]:

1. «за проход»;
2. с рециклом по непревращенному н-пентану;
3. с рециклом по неправращенным гексанам и деизогексанизацией;
4. с рециклом по неправращенным гексанам и н-пентану.

При использовании технологии «за проход» большая глубина изомеризации достигается при низкой температуре. Для полного превращения сырья необходимо использовать технологии с рециклом.

Остановимся более подробно на некоторых отечественных и зарубежных технологиях изомеризации.

Одной из самых известных отечественных технологий является технология «Изомалк-2», которую используют для изомеризации пентан-гексановой фракции. В качестве катализатора применяют низкотемпературный катализатор «СИ-2», разработкой которого занимается ООО НПП «Нефтехим» [13].

Реакторный блок «Изомалк-2» состоит из одного или двух реакторов с промежуточным охлаждением потока. С помощью данной технологии можно

перерабатывать пентан-гексановые фракции с содержанием бензола 5-8 % и содержанием фракции C_7 до 10 %.

На рисунках 1.2-1.5 представлены варианты технологии «Изомалк-2», отличающиеся аппаратным оформлением и в зависимости от октанового числа получаемого продукта.

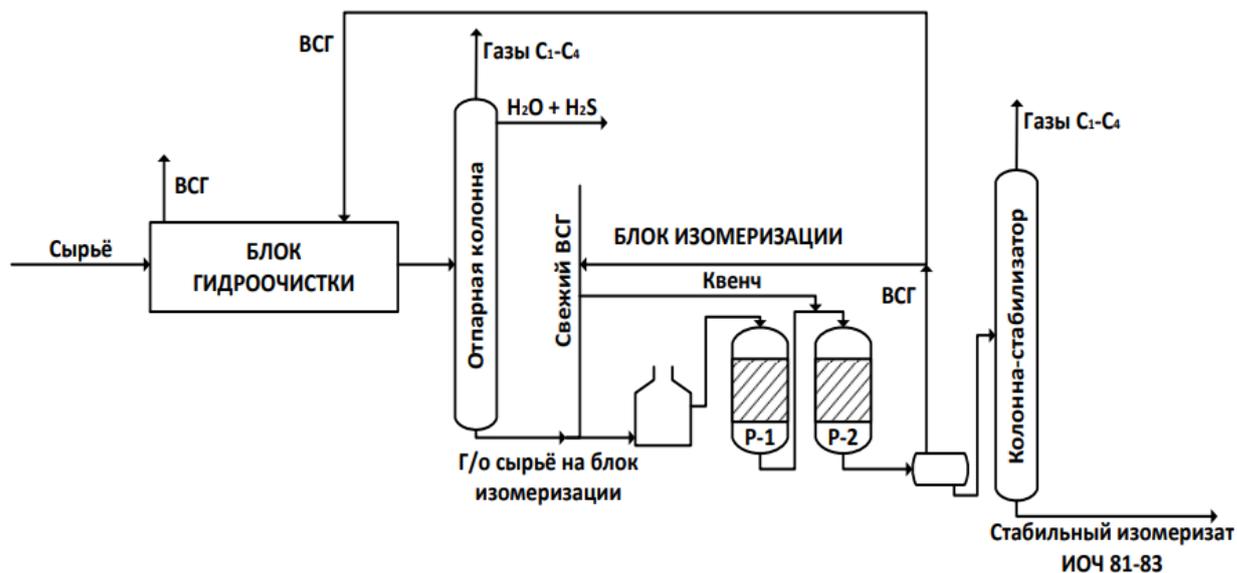


Рисунок 1.2 - Блок-схема установки изомеризации «за проход» [14]

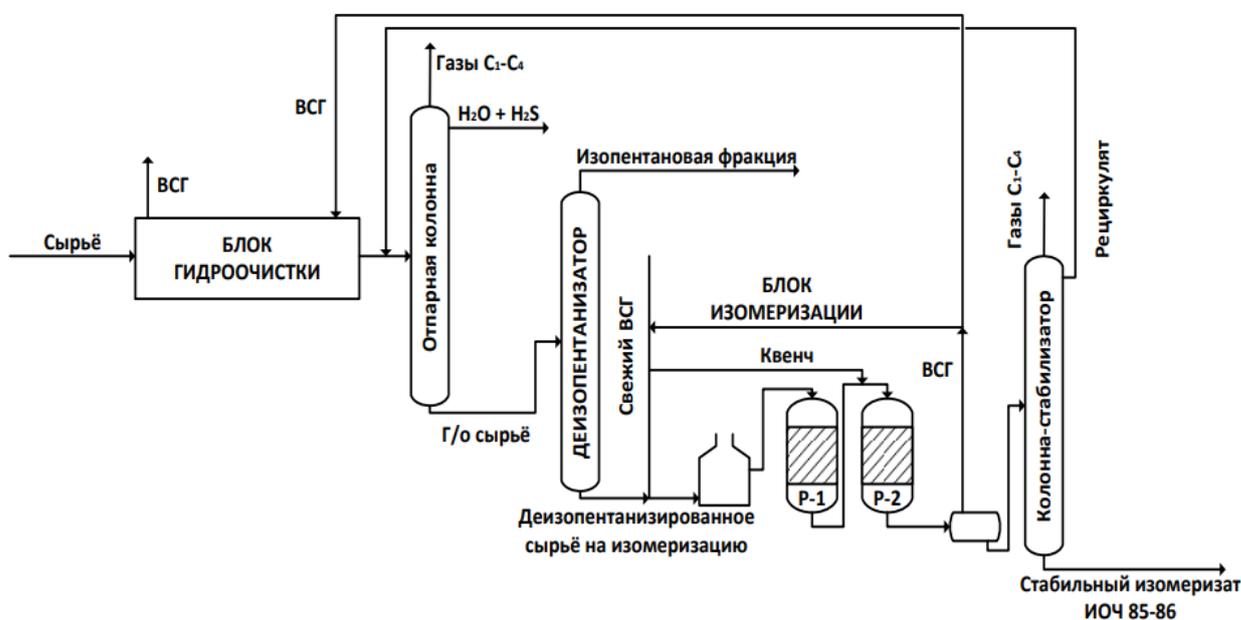


Рисунок 1.3 - Блок-схема установки изомеризации с рециклом по непревращённому n-пентану [14]

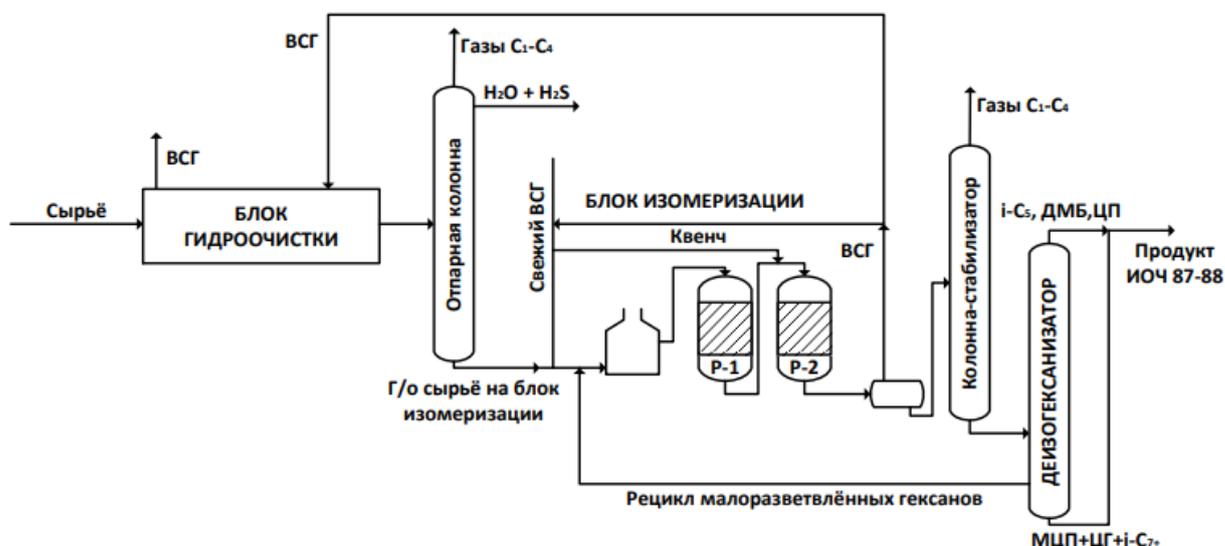


Рисунок 1.4 - Блок-схема установки изомеризации с рециклом по неперевращенным гексанам и деизогексанизацией [14]

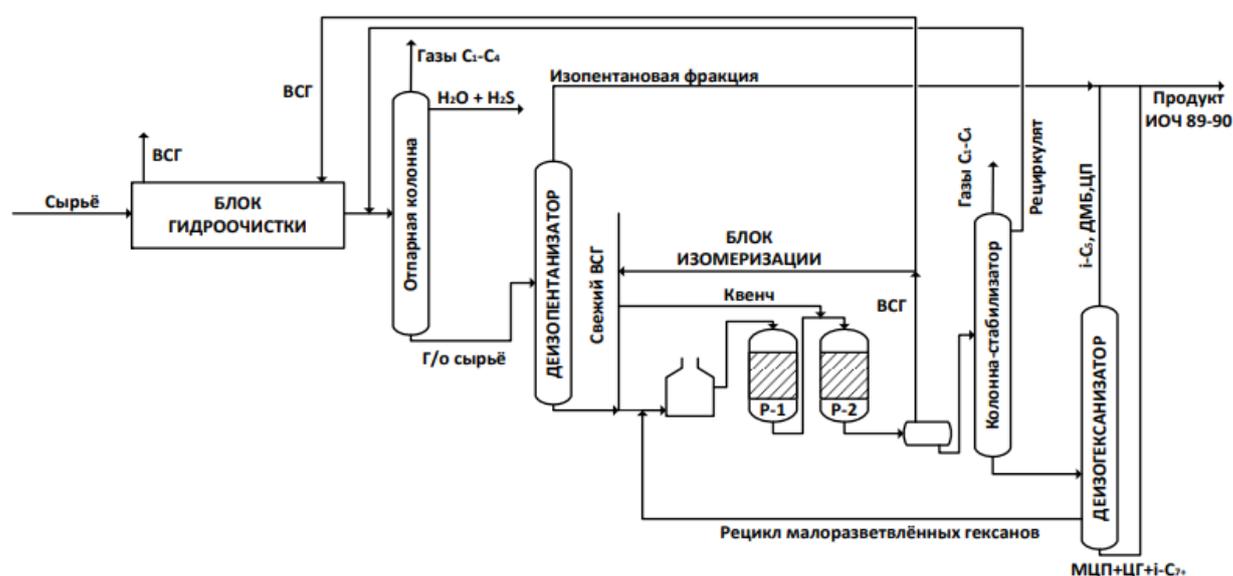


Рисунок 1.5 - Блок-схема установки изомеризации с рециклом по неперевращенным гексанам и n-пентану [14]

В таблице 1.1 представлено сравнение различных технологий «Изомалк-2».

Механизм превращения сырья зависит от типа выбранного катализатора. Для увеличения срока службы катализатора процесс ведут под давлением в атмосфере водорода.

Таблица 1.1 – Сравнение различных вариантов технологии «Изомалк-2» [15]

Вариант схемы изомеризации	ОЧИ	Выход, %
«за проход»;	81-84	99+
с рециклом по непревращенному н-пентану;	87-88	98+
с рециклом по неправообращенным гексанам и деизогексанизацией;	89-90	98+
с рециклом по неправообращенным гексанам и н-пентану	91-93	98+

Еще один вариант классификации процесса изомеризации – по типу используемого катализатора:

1. изомеризация на цеолитных катализаторах;
2. изомеризация на хлорированных катализаторах;
3. изомеризация на катализаторах с сульфатированным оксидом циркония.

При проведении процесса на цеолитных катализаторах, в технологической схеме обязательно должны присутствовать подогреватели сырья, например, печи для того, чтобы нагреть сырье до температуры реакции [16]. Кроме того, в подобной схеме необходимо поддерживать высокое соотношение водород:сырье. Это необходимо как для проведения изомеризации, так и для проведения гидроочистки сырья. Технологическая схема представлена на рисунке 1.6.

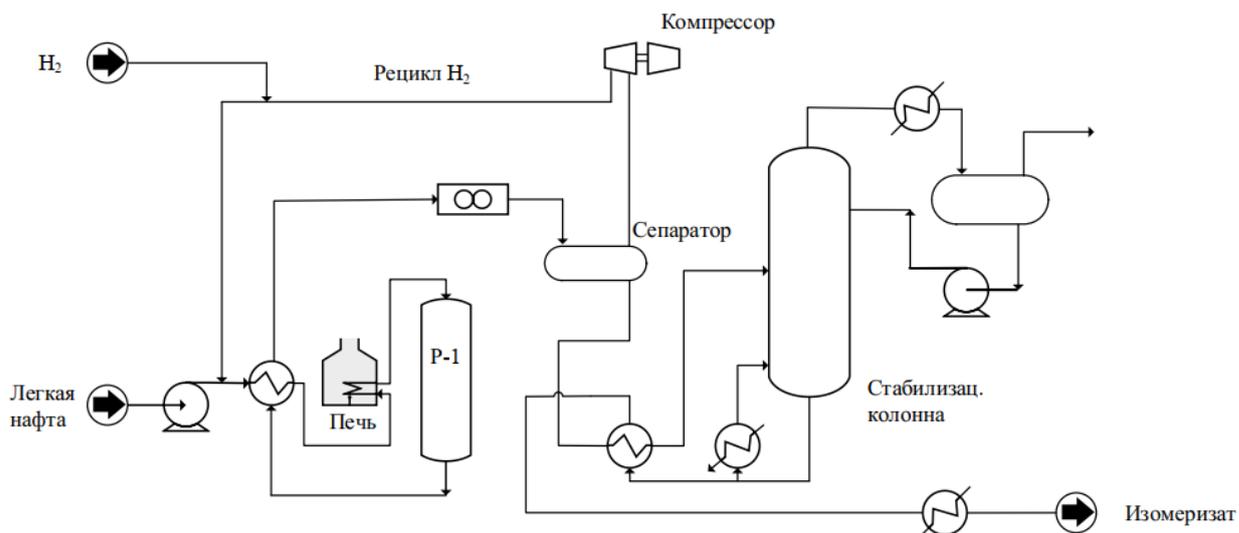


Рисунок 1.6 - Технологическая схема изомеризации на цеолитных катализаторах [17]

Процесс изомеризации на хлорированных катализаторах отличается сложностью и металлоемкостью, так как необходимо непрерывно подавать водород в сырье и хлорсодержащие соединения. Кроме того, в технологическую схему нужно включить предварительную гидроочистку и осушку сырья, а также скруббер для щелочной промывки от хлоридов (рисунок 1.7).

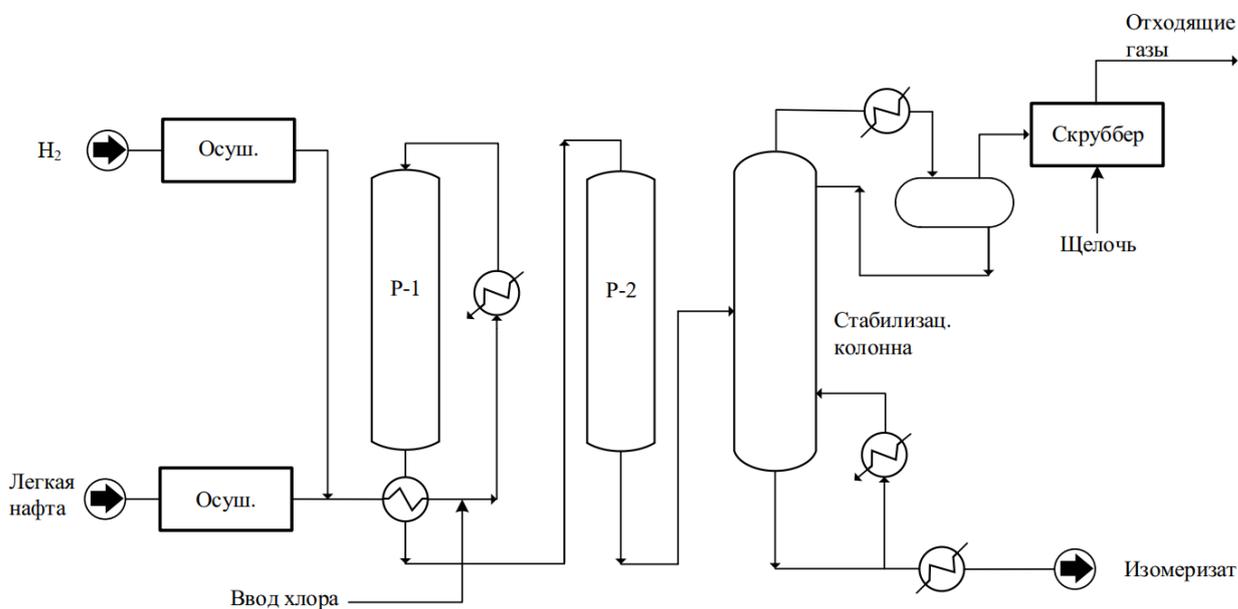


Рисунок 1.7 - Схема изомеризации на хлорированных катализаторах [17]

Технологическая схема изомеризации на катализаторах с сульфатированным оксидом циркония схожа со схемой на цеолитных катализаторах. Главное отличие этих схем - отсутствие печи (рисунок 1.8).

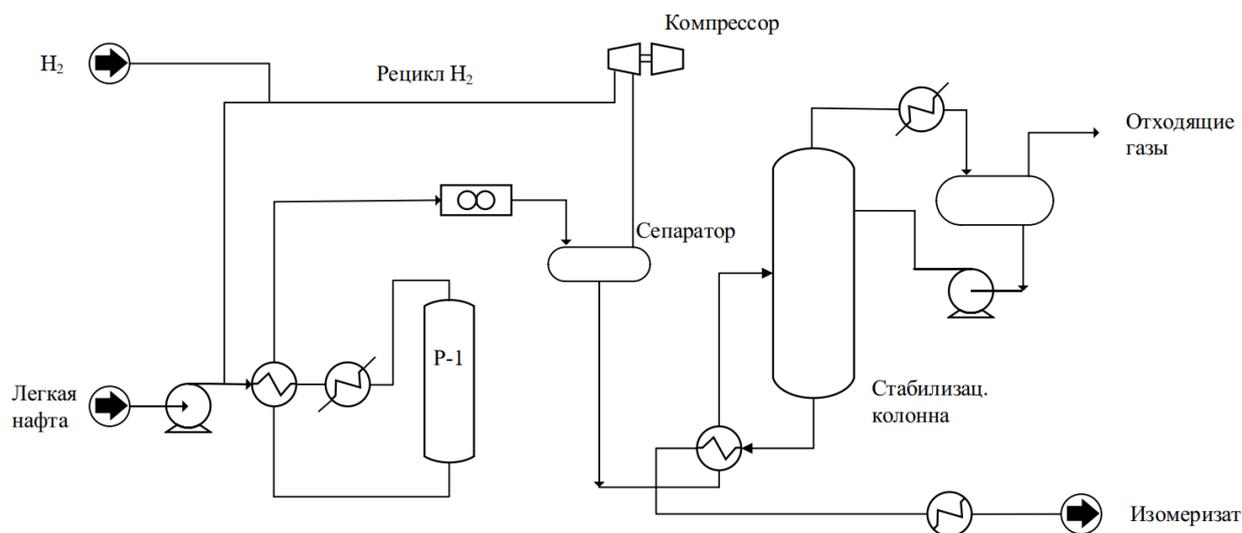


Рисунок 1.8 - Схема изомеризации на катализаторах с сульфатированным оксидом циркония [17]

1.1.2 Отечественный и зарубежный опыт повышения эффективности процесса изомеризации

Процесс изомеризации является одним из самых экономически обоснованных процессов производства высокооктановых компонентов бензинов с улучшенными экологическими свойствами. На рынке появляется все больше оптимизированных технологий.

Главным разработчиком технологий изомеризации в России является ООО «НПП Нефтехим». Предприятие представило на рынок четыре технологии «Изомалк», одновременно улучшая катализаторы под каждую отдельную технологию.

Одной из таких технологий является «Изомалк-3» [13]. Для ведения процесса по данной технологии был разработан катализатор СИ-3, который имеет ряд преимуществ над катализатором СИ-2. Среди них:

- отсутствие необходимости подачи хлорсодержащих соединений;
- уменьшение металлоемкости процесса и капитальных затрат, так как не требуется секция щелочной очистки;
- устойчивость катализатора к проскокам каталитических ядов и влаги;

- большой срок службы катализатора (8 лет).

Обратимся к технологии «Изомалк-4». Уникальность данной технологии состоит в том, что она позволяет получить высокооктановый изомеризат из фракции С₇. Подготовка сырья проводится на блоке гидроочистки. Процесс ведут на новом усовершенствованном катализаторе СИ-4 при температуре 160-200 °С. Катализатор СИ-4 отличается высокой селективностью, стабильностью и устойчивостью к каталитическим ядам. Технология изомеризации «Изомалк-4» получила статус Национального проекта.

Еще одной популярной Российской технологией является «Peton», разработанная ООО «Пентон» в Уфе. Суть технологии заключается в увеличении октанового числа изомеризата путем создания оптимальных условий работы катализатора, а также минимизируется количество потребляемой энергии. Октановое число продукта составляет 93-94 пункта по исследовательскому методу. Использование данной технологии также позволяет вовлекать низкооктановую бензиновую фракцию в производство.

Среди зарубежных лицензиаров можно отметить американскую компанию UOP. Более половины установок изомеризации по всему миру работают по их технологии «Penex». Процесс ведут на хлорированном алюмооксидном катализаторе I-82/84 при температуре 100-150 °С. Около 25% мировых установок работают по технологии TIR (цеолитный катализатор, T = 250-300 °С).

Стоит отметить, что в настоящее время активно ведутся работы по разработке катализаторов для изомеризации фракции С₇. Самое большое количество патентов разработано в США и России.

В США проводят исследования изомеризации гептановой фракции на платиновом катализаторе на основе хлорированного и фторированного оксида алюминия, а также работают над созданием катализаторов на основе сульфатированного оксида циркония. Подобные исследования также проводятся в России и Италии.

В Японии разработали катализаторы на основе платины и вольфрамированного диоксида циркония. Вольфрамированный диоксид циркония используют для раскрытия циклических углеводородов.

1.1.3 Математические модели процесса изомеризации

Для повышения эффективности процесса каталитической изомеризации используют метод математического моделирования. На данный момент математические модели разработаны только для изомеризации пентан-гексановой фракции. Для описания изомеризации фракции C₇ модели отсутствуют.

Для моделирования процесса изомеризации пентан-гексановой фракции существуют два основных подхода [18,19].

Традиционный подход

Традиционные математические модели учитывают изменения параметров ведения процесса (температуры и давления). Применение модели возможно только при небольших колебаниях группового состава.

При традиционном подходе в качестве исходных данных для создания модели используются данные с промышленной установки (состав сырья и продукты). С помощью этих данных составляются основные реакции, определяется энергия Гиббса и изменение энтальпии реакции. Кинетическую модель записывают на основании закона действующих масс, а математическая модель представляется системой дифференциальных нелинейных уравнений. Для решения такой системы уравнений применяется метод Кутты-Мерсона пятого порядка [18].

Поверхности отклика

Поверхности отклика лежат в основе программного обеспечения Design Expert. При создании данной модели использовались данные с установки Penex за 4 года. Созданная модель позволяет подобрать условия проведения процесса с учетом состава сырья (содержание нафтеновых и ароматических

углеводородов), изменения температуры и давления в реакторе, соотношения водород:сырье, объемной скорости подачи сырья и активности катализатора [19].

При сравнении двух вышеописанных методов можно сделать следующие выводы:

1. Применение традиционного подхода позволяет построить модель на основе данных, полученных за короткий период, однако модель имеет узкое применение;

2. Модель на основе поверхности отклика является более гибкой для применения, но необходим большой объем данных для ее построения.

1.2 Аналитический обзор процесса каталитического риформинга бензинов

Каталитический риформинг является одним из ведущих процессов нефтепереработки, несмотря на ужесточение экологических требований к товарным бензинам. При смешении бензинов риформат используется в небольшом количестве, так как содержит достаточное количество ароматических углеводородов. Отличительной особенностью риформинга является образование дешевого ВСТ.

В процессе риформинга протекает множество химических реакций, в результате которых низкооктановая фракция 62-180 °С превращается в риформат, который обладает высоким октановым числом (96-98 пунктов по исследовательскому методу).

Основными реакциями каталитического риформинга являются [20]:

- дегидрирование шестичленных нафтен (наиболее быстрая реакция);
- дегидроизомеризация пятичленных нафтен (медленнее на порядок);
- ароматизация (дегидроциклизация) парафинов (медленнее на полпорядка);

- изомеризация нафтенов и парафинов;
- реакции раскрытия кольца;
- деалкилирование;
- гидрокрекинг и гидрогенолиз;
- коксообразование.

Целевыми реакциями являются дегидрирование, дегидроизомеризация, ароматизация и изомеризация. Во время протекания этих реакций образуются ароматические соединения, за счет которых увеличивается октановое число получаемого продукта. Термодинамически выгодными условиями для проведения реакций являются высокие температуры и низкие парциальные давления водорода.

Промышленные установки каталитического риформинга состоят, как правило, из трех-шести реакторов с промежуточным нагреванием потоков. Для сырья каталитического риформинга необходима обязательная гидроочистка для удаления серы, азота и остатков металлов.

Каталитический риформинг служит для получения одного из базовых высокооктановых компонентов бензинов в России и за рубежом. В составе автомобильных бензинов, производимых на Российских НПЗ риформат занимает 50-55 % об., в то время как на долю изомеризата приходится 1,5 % об., а алкилата - 0.3 % об [21].

Модернизация установок процесса каталитического риформинга осуществляется каждый год за счет усовершенствования уже имеющихся установок, использования отечественных катализаторов, а также разработки новых катализаторов и реакторов. Процесс проводят при более жестких условиях, например, при пониженном давлении. Для этого используют высокостабильные катализаторы и устанавливают дополнительный реактор для непрерывной регенерации катализатора.

1.2.1 Технологии процесса каталитического риформинга

Каталитический риформинг – один из базовых процессов нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, предназначенный для повышения детонационной стойкости бензинов, получения ароматических углеводородов и водородсодержащего газа. Процесс риформинга – это совокупность нескольких одновременно протекающих реакций. В зависимости от состава и свойств сырья, а также применяемых катализаторов получают продукты с высокими концентрациями ароматических соединений (в частности бензол, толуол, ксилол). Водородсодержащий газ отделяют для использования в других процессах.

Реактор риформинга состоит, как правило из секции реакции и секции извлечения продукта. Подготовка сырья заключается в гидроочистке и дистилляции. Иногда один из реакторов в схеме используется для регенерации катализатора.

Классификацию процессов риформинга проводят в соответствии с режимом регенерации катализатора [24]:

1. Полурегенеративный (стационарный слой катализатора);
2. Циклический;
3. Непрерывный.

Наиболее распространенной является полурегенеративная технология (периодическая регенерация катализатора). Процесс осуществляется при температуре 470 - 520 °С и давлении 1,4 - 3,1 МПа, а выход риформата составляет 80 - 88 мас. % с октановым числом 94-98 пунктов по исследовательскому методу [25].

Циклическая технология ведения процесса риформинга является менее популярной, так как проводится при более жестких условиях. Температура ведения процесса составляет 510 - 560 °С, давление - от 0,9 до 2,2 МПа [26]. Цикл между регенерацией составляет 5-40 дней. Октановое число риформата составляет 95-103 пункта по исследовательскому методу.

Непрерывная технология риформинга является самой перспективной. Процесс ведут при низком давлении (0,35-0,9 МПа) и температуре 550 °С. Межрегенерационный цикл катализатора может быть до трех лет, а октановое число достигает наивысшего значения среди технологий (100-102 пункта по исследовательскому методу).

Рассмотрим также некоторые коммерческие технологии процесса риформинга: платформинг (platforming), энергоформинг (powerforming) и ультраформинг (ultraforming) [27].

Платформинг (Platforming)

Платформинг является первым процессом, где в качестве катализатора использовалась платина на оксиде алюминия. Первой установка была запущена в 1949 году фирмой «UOP» [23].

В процессе используется биметаллический катализатор с периодической и непрерывной регенерацией. В полурегенеративных установках применяют ступенчатую загрузку катализатора, тем самым увеличивая производительность. Кроме того, использование биметаллического катализатора позволяет увеличить выход риформата.

Обязательным этапом проведения платформинга является подготовка сырья (гидроочистка). Перед подачей в печь, гидроочищенное сырье смешивают с водородом. Смесь проходит через ряд последовательных реакторов со стационарным слоем катализатора. Между реакторами также предусмотрены печи для подогрева сырья. Из последнего реактора смесь направляют в сепаратор. С верха сепаратора отбирают водородсодержащий газ, который отправляют на рециркуляцию, а кубовый продукт отправляют на стабилизацию. С низа стабилизационной колонны отбирают целевой продукт – риформат, а из верха – легкие фракции, которые отправляют на газофракционирование. На рисунке 1.9 представлена технологическая схема.

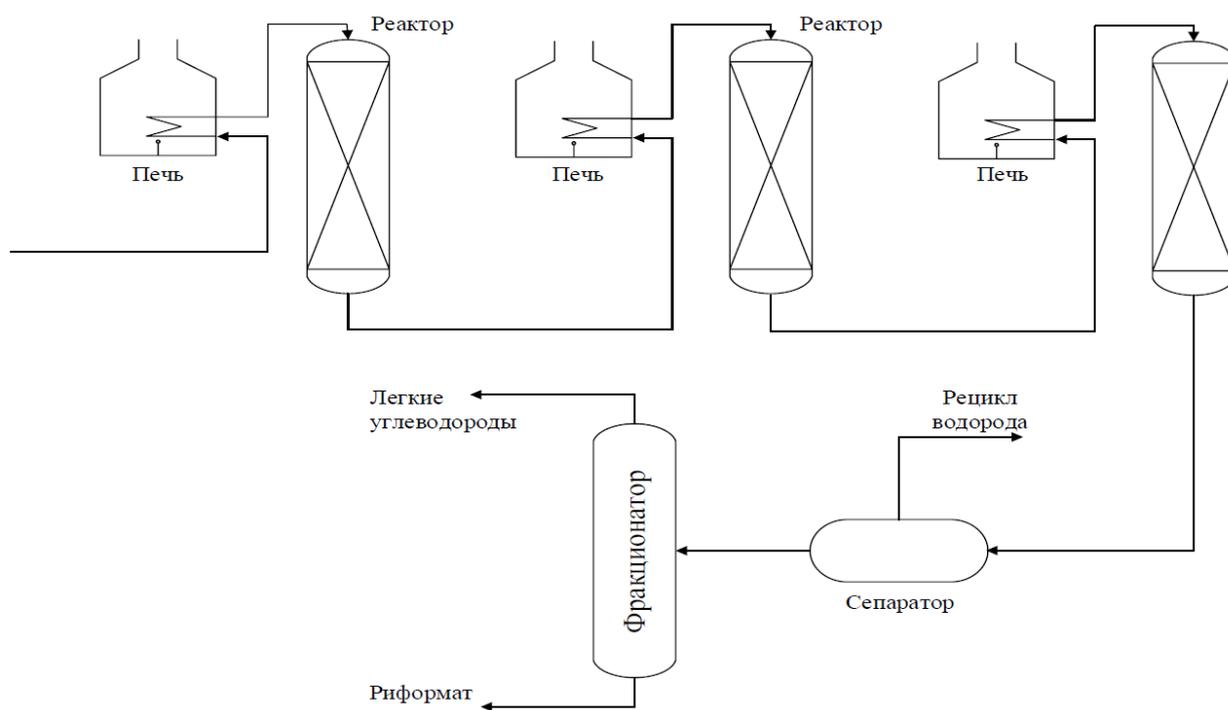


Рисунок 1.9 - Технологическая схема процесса платформинга [27]

Пауэрформинг (Powerforming)

Пауэрформинг предназначен для производства высокооктановых компонентов бензинов из нефти, также для получения большого количества водорода, который в дальнейшем используют для других процессов на НПЗ, а также для компонентов авиационного топлива.

Установки работают в режиме периодической и циклической регенерации катализатора. Каталитическая система адаптирована под конкретные запросы клиента. Ступенчатая загрузка помогает поддерживать необходимую активность и селективность катализатора. Основное преимущество установок пауэрформинга – невысокая мощность и небольшая стоимость с получением высокооктанового риформата (100-102 пункта по исследовательскому методу) [27].

Технологическая схема данного процесса включает четыре последовательно соединенных реактора и один подвижный реактор-регенератор. Им можно заменить любой из четырех реакторов в схеме при этом не

останавливая работу. Частота регенерации зависит от целей и жесткости проведения процесса. Максимальный цикл работы реактора – 6 лет.

Ультраформинг (Ultraforming)

Процесс ультраформинга используется не только для получения высокооктанового риформата и ароматических углеводородов, но и для обогащения высокооктановых компонентов. Схема ультраформинга представлена в виде циклической системы. В реакционную секцию схемы включен вращающийся реактор со стационарным слоем катализатора. Схема также может работать в режиме периодической регенерации катализатора. При таком режиме работы используется три последовательных реактора.

Процесс ведут в жестких условиях при низком давлении с частой регенерацией катализатора. Катализатор обладает высокой прочностью, низким содержанием примесей, а срок службы при циклической схеме составляет 4 года, при полурегенеративной - до 8 лет. В циклической схеме ультраформинга любой реактор может быть заменен на вращающийся для регенерации катализатора.

При проведении каталитического риформинга по любой технологии очень важно соблюдать меры безопасности. Во время проведения риформинга возможен пожар, утечка бензола, сероводорода и оксида углерода. При загрузке слоев катализатора также необходима осторожность, так как при раздавливании мелкие частицы могут вызвать неисправность оборудования [27].

1.2.2 Методы снижения бензола в риформате

В последнее время отечественная топливная индустрия активно переходит к требованиям европейских стандартов по экологическим свойствам товарных бензинов. Для этого необходимо снижать содержание олефиновых и ароматических углеводородов (в частности, бензола). Спрос на высокооктановые марки бензинов (АИ-92 и АИ-95) существенно растет, в то время как марка АИ-80 постепенно уходит с рынка [28].

Бензин каталитического риформинга является основным носителем бензола в товарных бензинах. Количество бензола в риформате достигает до 6 %, а его количество в товарных бензинах не должно превышать 1 % [4].

Бензол – наиболее токсичный из применяемых в промышленности углеводородов. Кроме того, бензол в автомобильных бензинах увеличивает нагарообразование в двигателе и концентрацию сажи.

Методы снижения содержания бензола в риформате можно разделить на две группы методов [29]:

1. Предфракционирование (удаление бензола и бензолобразующих компонентов);
2. Постфракционирование (выделение легкой части из риформата).

В первом случае фракционный состав сырья установки риформинга регулируют так, чтобы удалить из него бензол и предшествующие ему углеводороды C₆. При повышении температуры начала кипения до 90-103 °C содержание бензола в продукте снижается до 0,9-1,1 об %.

Однако, использование данного метода сокращает ресурсы сырья на 30-35 %, утяжеляет фракционный состав и повышает температуру выкипания 10 % об. фракции.

При постфракционировании из риформата выделяют легкую часть путем ректификации. Для того, чтобы содержание бензола не превышало 1 % об., температуру конца кипения бензолсодержащей фракции поддерживают около 85 °C. Извлекаемая фракция не используется для компаундирования, однако ее можно переработать следующими способами: экстракцией бензола из катализата, алкилированием бензола с олефинами, гидрированием бензола в циклогексан и гидроизомеризацией бензола в метилциклопентан.

Существует еще ряд способов снижения содержания бензола в риформате [30]:

- извлечение бензола путем экстракции. Наиболее популярным процессом является Silfolane компании «UOP»;

- изомеризация легкого риформата. Легкий риформат, обогащенный бензлом, выделяет ректификацией с последующей изомеризацией. Для этого варианта необходима дополнительная установка ректификационной колонны и установки изомеризации;
- алкилирование риформата пропиленом с установки каталитического крекинга. Получается высокооктановый продукт, не содержащий бензол.
- предфракционирование сырья и снижение жесткости риформинга. В этом случае уменьшается суммарное содержание бензола и аренов.

1.2.3 Математические модели процесса риформинга

Проблема формулировки математической модели такого процесса, как каталитический риформинг всегда является актуальной, так как экономическая выгода от этого процесса достаточно велика.

Каталитический риформинг – сложный процесс как с химической, так и технологической точек зрения. Решение подобных задач возможно с использованием метода математического моделирования [32,33].

Существует целое множество кинетических моделей процесса риформинга. На рисунке 1.10 представлена эволюция моделей каталитического риформинга.

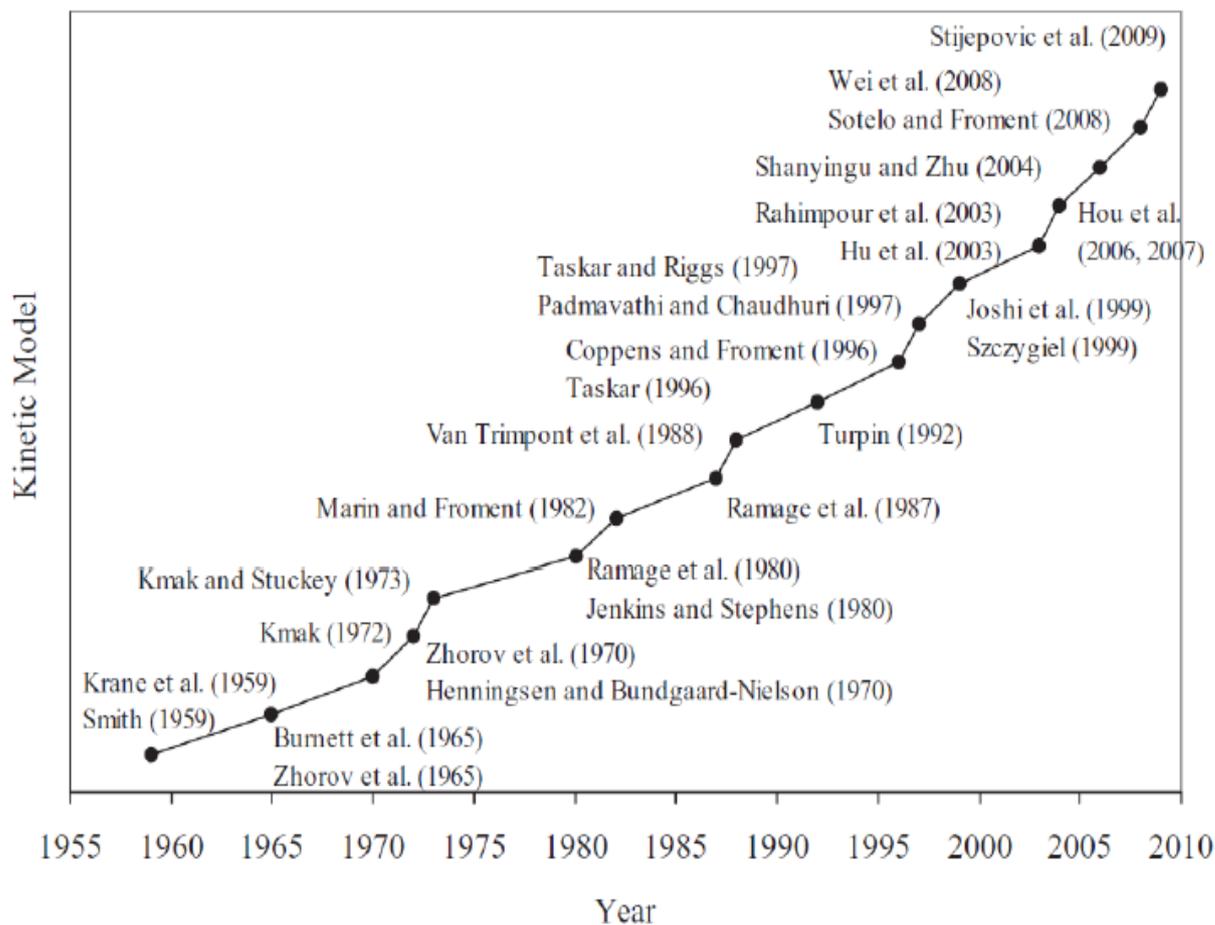


Рисунок 1.10 - Эволюция кинетических моделей процесса каталитического риформинга [31]

Одна из первых содержательных моделей каталитического риформинга была сформулирована в 1959 году Крейном. Он представил данные о кинетических константах для 53 реакций первого порядка, которые учитывают превращения 20 компонентов. Использовать эти данные невозможно, так как они относятся к конкретному катализатору, но с их помощью можно прогнозировать скорости реакций. Модель описывает процесс только при 496 °С, поскольку автор не смог установить зависимость константы скорости от температуры.

Также в 1959 году Дж.М.Смит составил упрощенную (групповую) модель каталитического риформинга (рисунок 1.11).

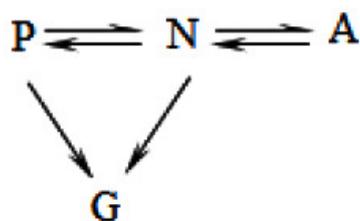


Рисунок 1.11 - Схема превращения углеводородов (P - парафины, N - нафтены, A - ароматические углеводороды, G - газы (C₁ - C₄)) [34].

Данная схема учитывает превращение не отдельных углеводородов, а группы углеводородов одного гомологического ряда. Каждая группа углеводородов рассматривается как псевдокомпонент, свойства которого усредняют свойства углеводородов группы. В данной модели не учитываются реально протекающие реакции (изомеризация парафинов и нафтенов, деалкилирование алкилароматических углеводородов, расщепление тяжелых компонентов, которое не приводит к образованию газообразных продуктов). Автор рассматривает свойства псевдокомпонентов постоянными на протяжении процесса [34].

В 1965 году Барнетт с группой соавторов предложили кинетическую модель первого порядка, которая включала только углеводороды C₇. Позже в 1970 году Жоров включил в модель связь между константами скоростей реакций и составом сырья (включая углеводороды C₅-C₆), а также образование ароматических углеводородов. В том же 1970 году ученые Хеннингсен и Бундгаард-Нильсон выразили константы скорости реакции в виде уравнения Аррениуса, чтобы учесть влияние температуры. Они также учли дезактивацию катализатора [35].

В 1980-х годах были разработаны несколько моделей каталитического риформинга. Ремейдж с группой авторов разработали детальную кинетическую модель. В кинетическую модель включено достаточное количество веществ и направлений реакций, учитывается различие реакционной способности отдельных веществ и групп, а также дезактивация катализатора при образовании кокса. Модель включала углеводороды C₆-C₈ [33].

Позже в 1990-х ученые разрабатывали модели для оптимизации установок риформинга. Они учитывали влияние технологических параметров (Таскар, Риггс), включали в модели диффузионные эффекты (Коппенс и Фромент), все больше псевдокомпонентов (Джоши) и даже предложили алгоритм оптимизации пористой структуры катализатора (Сцигель).

В 2009 году Сиджеповик с группой ученых разработали полуэмпирическую кинетическую модель, которая состояла из 18 компонентов на основе парафинов, изопарафинов, нафтенов и ароматических углеводородов. Для каждой отдельной реакции рассматривались разные значения энергии активации. Модель прогнозирует выход водорода и легких газов [36].

Учитывая сложность и многостадийность процесса каталитического риформинга, можно сделать вывод, что полная кинетическая математическая модель представляет собой множество уравнений и определение всех параметров является трудозатратным процессом. Такие модели не применяют в инженерной практике. Для проведения расчетов используют упрощенные модели, группируя реагенты и реакции, но при этом происходит снижение точности модели. В целом подобные модели считаются эффективными, так как объединяют в себе простоту и точность.

1.3 Компаундирование товарных бензинов

Компаундирование – сложный многостадийный процесс, который характеризуется смешением низкооктановых компонентов бензина с октаноповышающими присадками и добавками. Данный процесс представляется сложным для оптимизации, так как обладает следующими особенностями:

- детонационная стойкость не подчиняется правилу аддитивности;
- потоки, поступающие на смешение, имеют непостоянный состав, вследствие чего необходимо постоянно контролировать рецептуру и проводить ее корректировку;
- не всегда имеется необходимое количество сырья.

Несмотря на то, что на современном нефтеперерабатывающем заводе существует большое разнообразие процессов, ни один поток, идущий на смешение, не удовлетворяет всем требованиям, которые предъявляются к бензинам. Таким образом, компаундирование – конечная стадия производства готового продукта.

1.3.1 Методы расчета физико-химических характеристик компонентов смешения и товарных бензинов

Расчет октанового числа

Проблема оптимизации процесса получения высокооктановых бензинов заключается в отсутствии надежных методов, позволяющих с высокой точностью произвести оценку октанового числа смесевых бензинов и установить наиболее подходящую рецептуру смешения потоков для получения продукта требуемого качества. Использование методов, разработанных на учете механизма взаимодействия углеводородов, добавок и присадок считается общепризнанным.

Известен способ определения октанового числа автомобильных бензинов, состоящий в сравнении детонационной стойкости испытуемого и эталонного топлива на специальном стандартизированном двигателе внутреннего сгорания. При определении находят экспериментальную зависимость степени сжатия рабочей смеси в двигателе от содержания изооктана в эталонном топливе, а затем по этой зависимости после испытания анализируемого бензина находят значение его октанового числа [37].

$$A = A_1 + (A_2 - A_1) \cdot \frac{a_1 - a}{a_1 - a_2}, \quad (1.1)$$

где A_2 – содержание изооктана в смеси с нормальным гептаном, детонирующей слабее испытуемого топлива, об. %;

A_1 – то же для смеси, детонирующей сильнее испытуемого топлива, об. %;

a – среднее арифметическое из расчетов по указателю детонации для испытуемого топлива;

a_1 и a_2 – то же соответственно для смесей первичных эталонов.

Существует способ расчета октанового числа бензинов с учетом влияния конструктивных параметров двигателя. Наиболее существенное влияние оказывает диаметр цилиндра и степень сжатия. С увеличением степени сжатия мгновенно возрастает температура, которая приводит к протеканию предпламенных реакций, а с увеличением диаметра цилиндра время пребывания конечных порций топлива в камере сгорания становится больше. Найдена эмпирическая зависимость между октановым числом топлива, необходимым для бездетонационной работы двигателя, степенью сжатия и диаметром цилиндра (формула Аронова Д.М.) [38]:

$$\text{ОЧ} = 125,4 - \frac{413}{\varepsilon} + 0,183 \cdot D, \quad (1.2)$$

где ОЧ – октановое число;

ε – степень сжатия;

D – диаметр цилиндра.

Для прямогонных бензинов Башкирским научно-исследовательским институтом по переработке нефти (БашНИИ НП) была предложена формула [39]:

$$\text{ОЧ}_m = 250,9 - 281\rho_4^{20}, \quad (1.3)$$

где ρ_4^{20} – относительная плотность бензина.

Метод оценки показателей разгонки по ASTM (метод графического суммирования)

Данный метод используется при определении следующих параметров: температуры начала кипения (НК), температуры отгона 10%, температуры отгона 20-90% и температуры конца кипения (КК) по ASTM.

Определения температур НК и отгона 10%, 20-90% по ASTM.

Данный метод применим к смесям, содержащим дистиллятные фракции, у которых температура начала кипения по ASTM выше 29 °С, а конца кипения – ниже 371 °С. Он основан на том, что точки, характеризующие разгонку смеси по

ASTM, ложатся на суммирующую прямую линию. Наклон этой линии таков, что сумма отогнанных пропорциональных долей каждого компонента смеси соответствует точке ее пересечения с кривой разгонки по ASTM. Для перегонки по истинным температурам кипения (ИТК) суммирующие линии идут параллельно оси объемных процентов на графике перегонки по ASTM. Значения наклона представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Значения наклона суммирующей линии

Точка отгона	Наклон суммирующей линии, °С
НК	100 °С для 100%-го диапазона перегонки
10%	100 °С для 100%-го диапазона перегонки
20%	56 °С для 100%-го диапазона перегонки
30%	44 °С для 100%-го диапазона перегонки
40%	28 °С для 70%-го диапазона перегонки
50-90%	11 °С для 70%-го диапазона перегонки

Точки 10-90% по ASTM

Кривые разгонки по ASTM вычерчиваются отдельно для каждого компонента смеси. Температура откладывается по вертикальной оси, а отогнанный объем – по горизонтальной. Разгонка для всех компонентов должна проводиться единообразно.

Условно принимается то значение температуры, при которой должна отгоняться заданная доля смеси, и на графике отмечается соответствующая точка. Через эту точку проводится суммирующая линия определенного наклона. Опустив перпендикуляр на ось абсцисс из точки пересечения суммирующей линии с кривой разгонки по ASTM для каждого компонента, считывается объемный процент отгона (рисунок 1.12). Суммы для всех компонентов смеси должны равняться первоначально принятой доле отгона смеси. В противном случае задается новое значение температуры, при которой будет отгоняться заданная доля смеси, после чего операция повторяется.

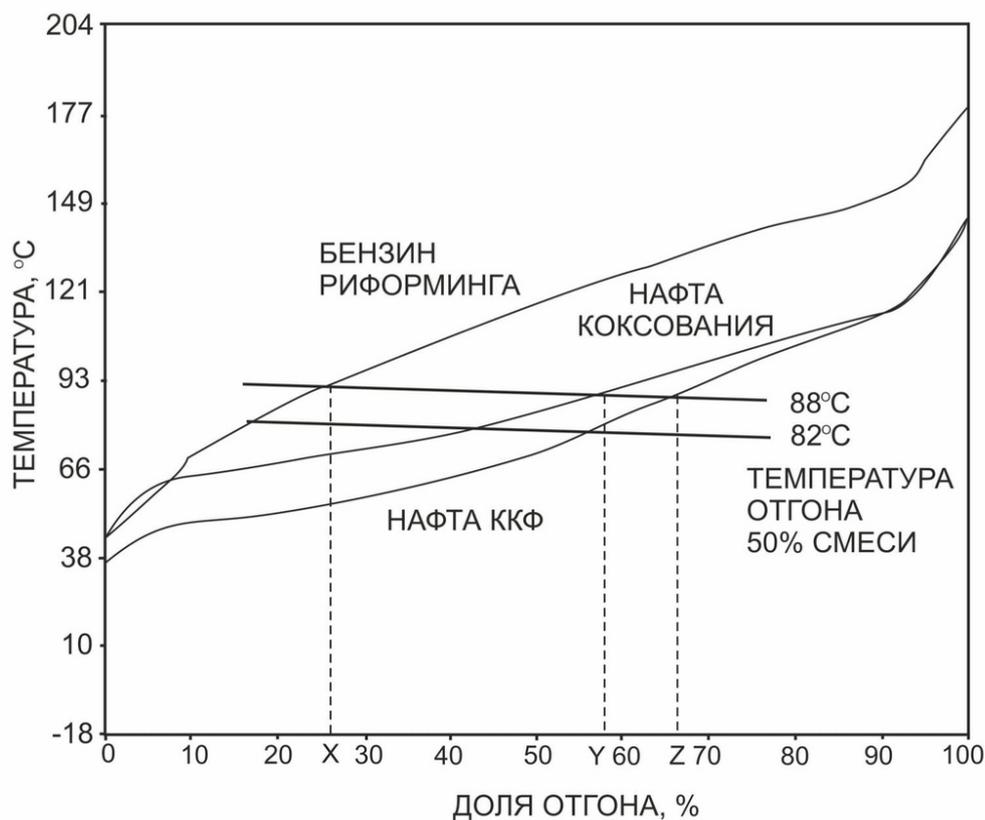


Рисунок 1.12 - Порядок расчета разгонки по ASTM для смеси

Температура начала кипения

Данный способ отличается от способа 10-90% тем, что кривые перегонки экстраполируются для компонентов относительно $-1,4\%$. Поэтому $-1,4\%$ становится нулем на новой шкале, а 10% преобразуется в $11,4\%$. Для получения точки НК на кривой ASTM по ранее описанной процедуре рассчитывают отогнанную долю, равную $1,4\%$ [40].

Расчет плотности

Расчет плотности бензинов является важным этапом оценки показателей качества. Плотность зависит от фракционного и углеводородного состава.

Определение плотности может проводиться при любой температуре (ρ_4^t), а затем определить значение (ρ_4^{20}), при этом используя различные алгоритмы определения плотности. Расчет плотности смеси компонентов можно производить по следующей формуле [41]:

$$\rho_{\text{см}} = \frac{\rho_1 \cdot V_1 + \rho_2 \cdot V_2 + \dots + \rho_n \cdot V_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n}, \quad (1.4)$$

где ρ_1, ρ_2, ρ_n - плотность каждого компонента при постоянных условиях;
 V_1, V_2, V_n – объемная доли каждого компонента.

Расчет вязкости

Вязкость – свойство жидкости оказывать сопротивление перемещению одного слоя относительно другого. Для характеристики вязкости бензинов наиболее широко применяется кинематическая вязкость (ν). В нефтяной промышленности для расчета кинематической вязкости распространены следующие формулы:

- Формула Рейнольдса – Филонова:

$$\ln \nu = a + bT, \quad (1.5)$$

где ν – кинематическая вязкость жидкости;

T – температура жидкости;

a и b – эмпирические коэффициенты, характеризующие исследуемую жидкость (находятся по двух экспериментальным точкам);

- Формула Вальтера

$$\lg(\lg(\nu+c)) = a + bT, \quad (1.6)$$

где a, b и c – эмпирические коэффициенты, характеризующие исследуемую жидкость (находятся по трем экспериментальным точкам).

Для возможности применения формулы Вальтера зачастую принимают коэффициент $c = 0,8$.

- формула Фогеля – Фульчера – Таммана:

$$\nu = \nu_{\infty} e^{\frac{b}{T-\theta}}, \quad (1.7)$$

где ν_{∞}, b, θ – эмпирические коэффициенты, характеризующие исследуемую жидкость (находятся по трем экспериментальным точкам).

Для определения вязкости смеси компонентов применяют формулу Кендалла – Монроэ [42]:

$$v_{mix}^{1/3} = \sum_{i=1}^n x_i v_i^{1/3}, \quad (1.8)$$

где x_i , v_i – объемная (массовая) доля и кинематическая вязкость i -го компонента

Расчет давления насыщенных паров

Давление насыщенных паров (ДНП) – важное свойство бензина, которое характеризует физико-химическую сущность фазовых переходов. Этот показатель определяет также эксплуатационные свойства нефтепродуктов.

Исследования показали, что для расчета ДНП товарных бензинов с достаточной точностью можно использовать методику Ашворта.

Для разработки адекватной модели ДНП в качестве исходной математической функции принимают выражение Антуана при известных константах (A , B , C), которые зависят от природы вещества и температуры кипения [41]:

$$\lg P_T = A - B / (T - 273,15 + C), \quad (1.9)$$

где T – температура.

Для расчета ДНП бензина можно воспользоваться правилом аддитивности:

$$\text{ДНП}_i = \sum_{i=1}^n \text{ДНП}_i \cdot C_i \quad (1.10)$$

1.3.2 Подходы к моделированию процесса приготовления автомобильных бензинов

Главная задача процесса компаундирования – получение товарных бензинов заданного качества на основе свойств используемых компонентов. Для того, чтобы избежать выпуска некондиционных партий необходимо заранее рассчитать соотношение компонентов на смешение. Эта задача может быть решена с использованием компьютерной моделирующей системы. С помощью такой системы можно учесть особенности, усложняющие процесс оптимизации приготовления товарных бензинов.

При моделировании процесса компаундирования необходимо обязательно учесть, что детонационные свойства потоков, вовлекаемых в процесс смешения, не поддаются правилу аддитивности. Кроме того, состав потоков непостоянный, поэтому необходимо всегда контролировать и, в случае необходимости, изменять рецептуры бензинов. Также количество потоков может достигать большого объема в зависимости от мощности производства [42].

Задачу планирования выпуска товарных бензинов обычно решают с помощью численного линейного программирования [43]. Следует отметить, что рецептуры являются постоянными, а характеристикам бензинов при смешении свойственно нелинейное поведение. Для получения более точных результатов используют нелинейное программирование.

Модели, используемые при оптимизации процесса компаундирования можно разделить на две группы: дискретные и непрерывные. В дискретных моделях временной интервал делится на несколько периодов известной продолжительностью с точным временем начала и окончания. В непрерывных моделях временной интервал делится на несколько периодов, продолжительность которых определяется в процессе оптимизации.

На данный момент существует несколько моделей процесса компаундирования. Одна из разработанных моделей – непрерывная. Она используется при одновременном планировании смешения бензинов и операций распределения. Линейность модели поддерживается за счет заданных рецептур [43]. Еще одна разработанная модель содержит общую временную сетку для всего оборудования процесса и включает эксплуатационные ограничения [43]. Обе модели оптимизируют процесс с помощью индексов смешения.

Кроме того, уже создана модель, представляющая собой трехуровневый алгоритм декомпозиции, в котором используются линейные и нелинейные правила смешивания [43]. В этой модели решены проблемы распределения смеси, учтена работа параллельных смесителей и поворотных резервуаров.

Для каждого уровня создана дискретно-временная модель. Первый уровень оптимизирует рецептуры, второй формирует график производства, а

третий уровень способен рассчитать подробный график компаундирования и доставки. В последнем обновлении в модель добавлена возможность решения проблемы распределения смеси, а также добавлены некоторые важные операционные функции и ограничения [44]. Алгоритм преобразует сложные многопараметрические выражения путем выполнения преобразований логарифмов. Данная модель уже используется в промышленности и ее эффективность доказана показателями производства.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Все расчеты производились с помощью методического пособия [46]. Для проведения анализа потребителей результатов исследования, необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Предлагаемая математическая модель процесса производства автомобильных бензинов имеет достаточно высокий коммерческий потенциал и является ресурсосберегающей технологией. Целевым рынком для данной разработки являются: нефтеперерабатывающие заводы и образовательные учреждения.

На рисунке 4.1 представлена карта сегментирования рынка по виду оказываемой услуги с применением математической модели процесса производства автомобильных бензинов.

Потребитель	Вид услуги		
	Продажа программного продукта	Оказание услуг по исследованию и оптимизации	Продажа тренировочной версии
Крупные НПЗ			
Средние НПЗ			
Мелкие НПЗ			
Образовательные учреждения			

Рисунок 4.1- Карта сегментирования рынка услуг


 Фирма А Фирма Б Фирма В

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

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

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 4.1, где Ф – разрабатываемый проект, к1 – разработка первого конкурента (AspenPIMS), к2 – разработка второго конкурента (FoxboroBOSS).

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _Ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _Ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,13	5	4	4	0,65	0,52	0,52
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,12	5	3	3	0,6	0,36	0,36
3. Простота эксплуатации	0,11	4	3	4	0,44	0,33	0,44
4. Качество интеллектуального интерфейса	0,13	5	5	4	0,65	0,65	0,52
5. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,10	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,14	5	4	3	0,7	0,56	0,42
2. Цена	0,15	5	3	2	0,75	0,45	0,3
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,12	5	5	5	0,6	0,6	0,6
Итого	1	39	32	30	4,89	3,97	3,66

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

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

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где: K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Основываясь на проведенном анализе конкурентов, можно сказать, что проект превосходит конкурентные исследования, что связано с ценой, производительностью, а также скоростью разрабатываемого проекта. Однако уязвимость разрабатываемого проекта в том, что требуется больше времени на его выполнение.

4.1.3 SWOT – анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ научно-исследовательской разработки, который применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Анализ проводится в 3 этапа.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Предварительная матрица представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Предварительная матрица SWOT-анализа

<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Оптимизация процесса производства бензинов на НПЗ.</p> <p>С2. Повышение эффективности переработки нефти.</p> <p>С3. Улучшение качества производимой продукции.</p> <p>С4. Экологичность технологии.</p> <p>С5. Способность программы выполнять расчет углеводородного состава компонентов автомобильных бензинов.</p> <p>С6. Расчет оптимальных параметров проведения процесса.</p> <p>С7. Уменьшение риска выпуска некондиционных партий бензина.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p> <p>Сл2. Необходимость доработки модели в связи с возможными изменениями норм качества и стандартов продукции.</p> <p>Сл3. Слабая эффективность сбытовой сети.</p> <p>Сл4. Наличие конкурентов.</p> <p>Сл5. Отсутствие рекламной политики для продвижения на рынке.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Интеграция в комплексную систему моделирования производства автомобильных бензинов с учетом влияния процессов нефтепереработки на качество конечного продукта.</p> <p>В2. Повышение экономичности и энергоэффективности процесса</p> <p>В3. Постепенное увеличение точности расчетов математической модели путем накопления собственной базы данных.</p> <p>В4. Внедрение модели в образовательную сферу в качестве компьютерного тренажера для обучения студентов.</p> <p>В5. Внедрение разработанной модели на предприятиях нефтепереработки для оптимизации процесса производства автомобильных бензинов.</p> <p>В6. Сокращение затрат путем оптимизации процесса производства бензинов.</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. Изменение законов, правил и норм качества и стандартов продукции в нефтехимической отрасли.</p> <p>У2. Увеличение спроса на новые технологии у конкурентов.</p> <p>У3. Развитие сбытовой сети конкурентами.</p> <p>У4. Ограничения на экспорт научной разработки.</p> <p>У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p> <p>У6. Внедрение других моделей на предприятия НПЗ.</p>

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 4.3. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта						
		С1.	С2.	С3.	С4.	С5.	С6.	С7.
Возможности проекта	В1.	+	+	+	0	+	+	0
	В2.	+	+	+	+	+	+	+
	В3.	+	+	+	-	+	+	+
	В4.	-	-	+	-	+	+	-
	В5.	+	+	+	+	+	+	0
	В6.	+	+	+	+	+	+	+
			Слабые стороны проекта					
		Сл1.	Сл2.	Сл3.	Сл4.	Сл5.		
Возможности проекта	В1.	+	-	+	+	+		
	В2.	+	+	-	-	-		
	В3.	-	+	-	-	-		
	В4.	-	+	-	+	-		
	В5.	-	+	+	+	-		
	В6.	0	+	-	0	+		
			Сильные стороны проекта					
		С1.	С2.	С3.	С4.	С5.	С6.	С7.
Угрозы	У1.	-	+	+	-	+	+	+
	У2.	+	+	-	-	-	+	-
	У3.	-	+	-	-	-	-	-
	У4.	-	-	-	-	-	-	-
	У5.	-	0	+	-	+	+	+
	У6.	+	+	+	-	+	-	-
			Слабые стороны проекта					
		Сл1.	Сл2.	Сл3.	Сл4.	Сл5.		
Угрозы	У1.	-	+	-	-	-		
	У2.	+	-	+	+	+		
	У3.	+	-	+	+	+		
	У4.	-	-	+	+	0		
	У5.	+	+	-	+	+		
	У6.	+	+	-	+	-		

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 4.4).

Таблица 4.4 - SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Оптимизация процесса производства бензинов на НПЗ. С2. Повышение эффективности переработки нефти. С3. Улучшение качества производимой продукции. С4. Экологичность технологии. С5. Способность программы выполнять расчет углеводородного состава компонентов автомобильных бензинов. С6. Расчет оптимальных параметров проведения процесса. С7. Уменьшение риска выпуска некондиционных партий бензина.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой. Сл2. Необходимость доработки модели в связи с возможными изменениями норм качества и стандартов продукции. Сл3. Слабая эффективность сбытовой сети. Сл4. Наличие конкурентов. Сл5. Отсутствие рекламной политики для продвижения на рынке.</p>
<p>Возможности: В1. Интеграция в комплексную систему моделирования производства автомобильных</p>	<p>СиВ: Оптимизация производства автомобильных бензинов и повышение эффективности</p>	<p>СЛиВ: Поспособствовать повышению квалификации кадров у потенциальных потребителей.</p>
<p>бензинов с учетом влияния процессов нефтепереработки на качество конечного продукта. В2. Повышение экономичности и энергоэффективности процесса В3. Постепенное увеличение точности расчетов математической модели путем накопления собственной базы данных. В4. Внедрение модели в образовательную сферу в качестве компьютерного тренажера для обучения студентов. В5. Внедрение разработанной модели на предприятиях нефтепереработки для оптимизации процесса производства автомобильных бензинов. В6. Сокращение затрат путем оптимизации процесса производства бензинов.</p>	<p>переработки нефти благодаря данной модели, позволит получить продукты высокого качества, а также способность программы выполнять расчет углеводородного состава компонентов автомобильных бензинов, позволит производить продукцию требуемого состава. Расчет оптимальных параметров проведения процесса способствует энерго- и ресурсоэффективности процесса. Расширение аудитории потребителей путем внедрения модели в образовательную сферу в качестве компьютерного тренажера для обучения студентов.</p>	<p>СЛиВ: Поспособствовать повышению квалификации кадров у потенциальных потребителей. Выбрать интенсивный путь расширения рынка сбыта и задействовать максимальное количество точек сбыта модели процесса. Также следует сформировать комплекс рекламных мероприятий, который обеспечит максимальных охват целевой группы при наименьших материальных затратах. Создать тренировочную версию для обучения студентов основам процесса получения автомобильных бензинов. А также необходимо постоянно работать над улучшением модели и делать ее более гибкой в широком диапазоне изменения условий.</p>

Продолжение таблицы 4.4

<p>Угрозы: У1. Изменение законов, правил и норм качества и стандартов продукции в нефтехимической отрасли. У2. Увеличение спроса на новые технологии у конкурентов. У3. Развитие сбытовой сети конкурентами. У4. Ограничения на экспорт научной разработки. У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства. У6. Внедрение других моделей на предприятия НПЗ.</p>	<p>СиУ: Устойчивое положение на отечественном рынке нефтепродуктов (в частности уверенность потребителя в качестве продукции компании). Повышение эффективности процесса и его оптимизация простимулируют НПЗ в освоении новых рынков сбыта продукции (как в РФ, так и за рубежом) и сократит угрозу выхода компаний-конкурентов на «потенциальные» рынки сбыта. Получение продуктов высокого качества и уменьшение риска выпуска некондиционных партий бензина, поспособствует развитию конкурентной среды и финансированию. Более широкий спектр опций, таких как ведение в модель чувствительности к составу сырья и подбор оптимальных параметров для проведения процесса снизит риски внедрения других моделей на НПЗ.</p>	<p>СЛиУ: Увеличение точности расчетов математической модели путем накопления собственной базы данных позволит доработать модель в связи с возможным изменением норм качества и стандартов продукции. Также следует сформировать комплекс рекламных мероприятий, который обеспечит максимальных охват целевой группы при наименьших материальных затратах. Заинтересованности предприятий по внедрению инновационного проекта может стать возможность постепенной модернизации модели в условиях производства, постоянный контакт с операторами, что увеличит шансы на распространение разработанного проекта. Продвижение программы с целью создания спроса.</p>
--	--	--

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации. Для этого заполнена специальную форму, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта (таблица 4.5).

При проведении анализа по таблице, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю,

2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 4.5 – Оценка готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	5
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	3
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	3
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	3	4
ИТОГО БАЛЛОВ		51	57

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

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. В итоге получилось, что разработка является перспективной, а уровень имеющихся знаний у разработчика выше среднего.

4.1.5 Методы коммерциализации научно-технического исследования

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

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

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

Данные методы коммерциализации будут наиболее продуктивными в отношении данного проекта.

4.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта (таблица 4.6).

Таблица 4.6 - Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ	Выпуск высококвалифицированных специалистов
Нефтеперерабатывающие предприятия	Разработка рекомендаций по оптимизации блока смешения компонентов товарных бензинов.

В таблице 4.7 представлена иерархия целей проекта и критерии их достижения.

Таблица 4.7 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Установление оптимальных параметров процесса и оптимизация рецептур смешения товарных бензинов.
Ожидаемые результаты проекта:	Повышение эффективности процесса на стадии приготовления товарных бензинов, путем повышения качества компонентов смешения.
Критерии приемки результата проекта:	Адекватность полученной математической модели (минимальное расхождение между расчетными и экспериментальными значениями) должна составлять не менее 90%
Требования к результату проекта:	Возможность внедрения модели на производство в виде технологической моделирующей системы.

В таблице 4.8 представлена организационная структура проекта (роль каждого участника, их функции, трудозатраты).

Таблица 4.8 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1	Чузлов В.А., НИ ТПУ, доцент ОХИ ИШПР	Руководитель проекта	Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения.	600
2	Мурашова Е.Е., магистрант ОХИ ИШПР	Исполнитель по проекту	Выполнение задач по проекту, написание проекта и оформление полученных результатов.	1600
ИТОГО:				2200

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы

проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта (таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	1312467,1
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	Сентябрь 2020-Май 2022
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	10.09.2020
3.2.2. Дата завершения проекта	Май 2022

4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

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

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта (рисунок 4.2).

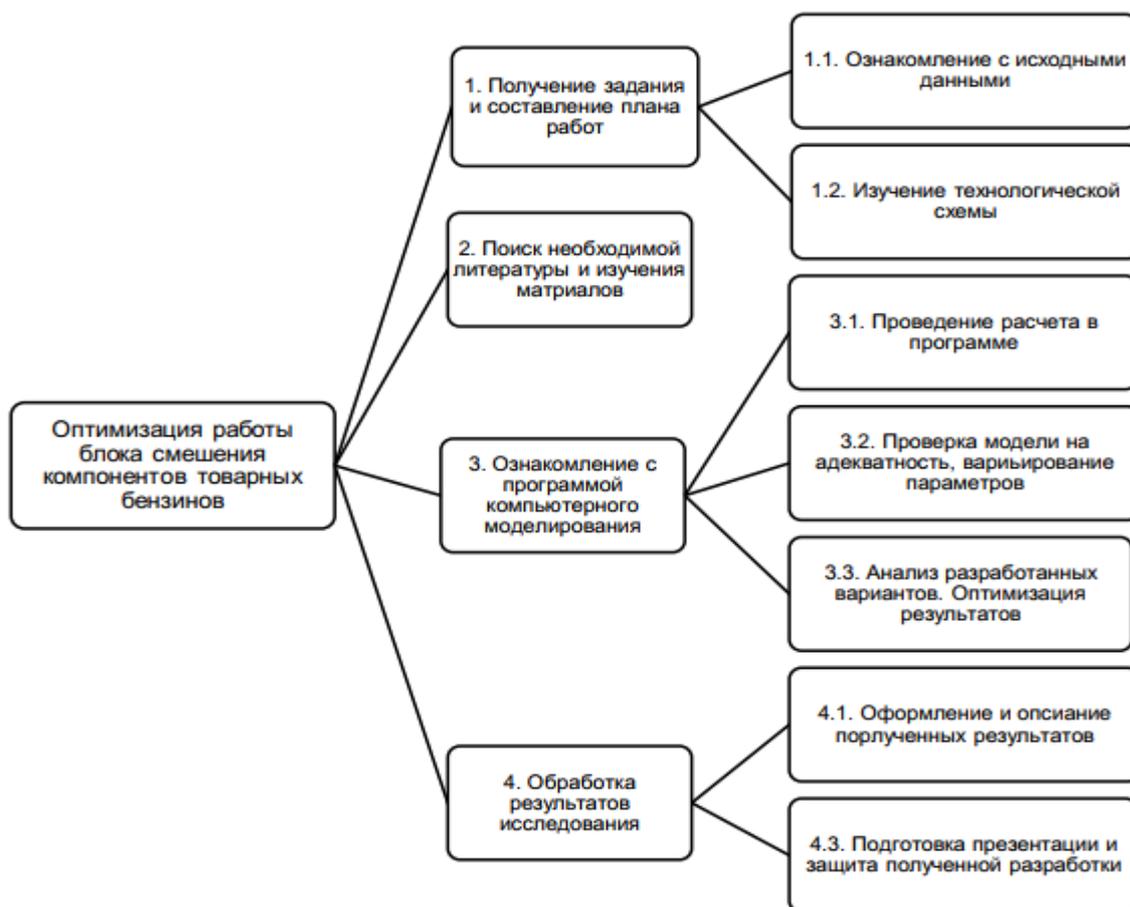


Рисунок 4.2 – Иерархическая структура проекта

4.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта.

Таблица 4.10 – Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Утверждение темы магистерской диссертации	7	01.09.19	07.09.19	Мурашова Е.Е., Чузлов В.А.
Согласование плана работ	7	08.09.19	15.09.19	Мурашова Е.Е., Чузлов В.А.
Литературный обзор	138	16.09.19	31.01.20	Мурашова Е.Е., Чузлов В.А.
Обработка полученных данных и обсуждение результатов	292	01.02.20	20.12.20	Мурашова Е.Е., Чузлов В.А.
Составление пояснительной записки	162	21.12.20	31.05.21	Мурашова Е.Е.
Оформление презентации, подготовка к защите	8	01.06.21	09.06.21	Мурашова Е.Е.

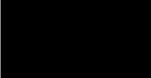
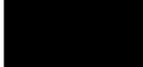
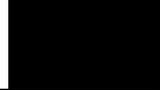
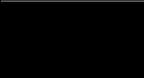
Продолжение таблицы 4.10

Защита магистерской диссертации	1	10.06.21	10.06.21	Мурашова Е.Е.
Итого:	615			

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу (таблица 4.11).

Таблица 4.11 - Календарный план график проведения НИОКР по теме

Код работ	Вид работы	Т, дней	Исполнители	01.09.20	16.09.20	28.09.20	01.03.21	26.12.21
				- 15.09.20	- 25.09.20	- 28.02.21	- 25.12.21	- 31.05.22
1	Утверждение темы магистерской диссертации	15	Руководитель Магистрант	 				
2	Согласование плана работ	10	Руководитель Магистрант		 			
3	Литературный обзор	154	Магистрант					
4	Обработка полученных данных и обсуждение результатов	300	Руководитель Магистрант				 	
5	Написание отчета	156	Магистрант					
i		635						



- Магистрант



- Руководитель

4.4 Бюджет научного исследования

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

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

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов). В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме (таблица 4.12).

Таблица 4.12 – Расходы по статье «Сырье и материалы»

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Бумага	шт.	350	1	350
Ручка	шт.	5	50	250
Чернила для принтера	мл	1	1150	1150
Всего за материалы				1750
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				87,5
Итого по статье C_m				1837,5

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ. В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 4.13).

Таблица 4.13 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Персональный компьютер	1	40000	40000
2	Принтер	1	5000	5000
3	Программное обеспечение Microsoft Office	1	7000	7000
4	Лицензия на программный пакет Compounding	1	45000	45000
Итого, руб.:				97000

Расчет основной заработной платы. В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 4.14.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$

месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчет заработной платы научно – производственного и прочего персонала проекта проводили с учетом работы 2-х человек – научного руководителя и исполнителя. Баланс рабочего времени исполнителей представлен в таблице 14.

Таблица 4.14 - Баланс рабочего времени

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

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p$$

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

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

$$Z_m = Z_b \cdot K_p$$

где Z_b – базовый оклад, руб.; K_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Согласно информации сайта Томского политехнического университета, должностной оклад (ППС) доцента кандидата наук в 2022 году без учета РК составил 33664 руб. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	k _{пр}	k _д	k _р	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	T _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	33664,0	1	0,02	1,3	43763,2	2312,0	212	490144,0
Магистрант	1923,0	-	-	1,3	2499,9	122,6	212	25998,0

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

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

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

В таблице 4.16 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.16 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	490144,0	25998,0
Дополнительная зарплата	49014,4	2599,8
Зарплата исполнителя	539158,4	28597,8
Итого по статье С _{зп}	567756,2	

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

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

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

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

Отчисления на социальные нужды составляют:

$$C_{\text{внеб}} = (0,3 \cdot 539158,4) + (28597,8) = 190345,32 \text{ руб.}$$

Накладные расходы. Расчет накладных расходов провели по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = (0,8 \cdot 539158,4) + (0,8 \cdot 28597,8) = 454205$$

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

Таким образом, затраты проекта составляет 1312467,1, которые приведены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Затраты научно-исследовательской работы

Затраты по статьям	Затраты на вид исследования, руб		
	Данное исследование	Аналог 1	Аналог 2
1 Сырье, материалы	416,0	1500	1000
2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	42999,0	60000	75000
3 Основная заработная плата	567756,2	657802,3	688454,6
4 Дополнительная заработная плата	56775,6	65780,2	68845,5
5 Отчисления на социальные нужды	190345,32	197340,7	206536,4
6 Накладные расходы	454205,0	526241,8	550763,7
Итого плановая себестоимость	1312467,1	1508665,0	1590600,0

4.4.1 Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 3.

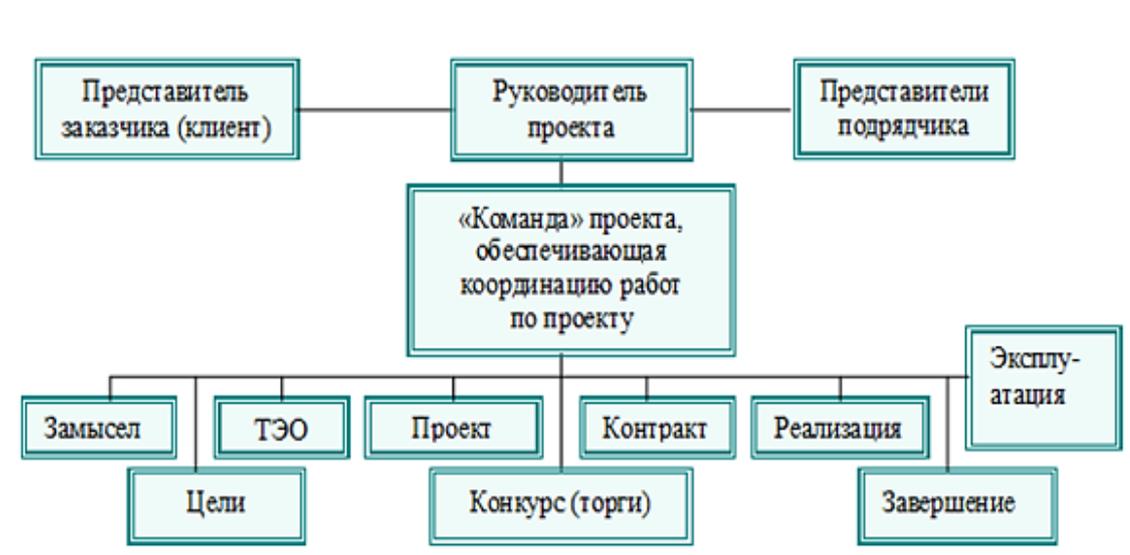


Рисунок 4.3 – Иерархическая структура проекта

4.4.2 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – План управления коммуникациями

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

4.4.3 Реестр рисков проекта

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

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 4.19.

Таблица 4.19 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Прекращение финансирования	3	4	Средний	Привлечение инвестиций	Отсутствие интереса со стороны потенциальных потребителей
2	Создание более дешевой модели	3	4	Средний	Оптимизация затрат на реализацию проекта	Повышение уровня конкуренции
3	Трудности внедрения продукта на рынок	4	5	Высокий	Провести анализ рынка	Отсутствие рекламы, высокая конкуренция в области моделирующих программ.

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

4.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

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

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

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

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

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

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

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

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 4.20. Работы, связанные с математическим моделированием, имеют высокую рентабельность. Данный вид работ не требует проведения экспериментов. Анализируя стоимость услуг, предлагаемых крупными зарубежными компаниями (AspenTech), можно принять рентабельность проекта 25 %. Амортизационные отчисления 10 %.

Таблица 4.20 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	1640583,9	1640583,9	1640583,9	1640583,9
2	Итого приток, руб.	0	1640583,9	1640583,9	1640583,9	1640583,9
3	Инвестиционные издержки, руб.	-1312467,1	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб.	0	459363,5	459363,5	459363,5	459363,5
5	Налогооблагаемая прибыль (1-4)	0	1181220,4	1181220,4	1181220,4	1181220,4
6	Налоги 20 %, руб.(5*20%)	0	236244,1	236244,1	236244,1	236244,1
7	Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	944976,3	944976,3	944976,3	944976,3
8	Чистый денежный поток (ЧДП), руб. (чистая прибыль+амортизация)	-1312467,1	1076223,0	1076223,0	1076223,0	1076223,0
9	Коэффициент дисконтирования $i=20\%$ (КД)	1	0,833	0,694	0,579	0,482

Продолжение таблицы 4.20

10	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.(9*10)	-1312467,1	896852,5	747377,1	622814,2	519011,9
11	\sum ЧДД	2786055,7				
12	Итого NPV, руб.	1473588,6				

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

где: i – ставка дисконтирования, 20 %;

t – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 736216 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала.

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

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

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{2786055,7}{1312467,1} = 2,12$$

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

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или =0. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе

экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 4.21 и на рисунке 4.4.

Таблица 4.21 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	-1312467,1	1076223,0	1076223,0	1076223,0	1076223,0	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,579	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	0,1	-1312467,1	978384,5	889440,5	808582,3	735074,8	2099015,0
	0,2	-1312467,1	896852,5	747377,1	622814,2	519011,9	1473588,6
	0,3	-1312467,1	827863,8	636818,3	489860,3	376815,6	1018890,9
	0,4	-1312467,1	768730,7	549093,4	392209,5	280149,7	677716,2
	0,5	-1312467,1	717482,0	478321,3	318880,9	212587,3	414804,4
	0,6	-1312467,1	672639,4	420399,6	262749,8	164218,6	207540,2
	0,7	-1312467,1	633072,4	372395,5	219056,2	128856,6	40913,5
	0,8	-1312467,1	597901,7	332167,6	184537,6	102520,9	-95339,4
	0,9	-1312467,1	566433,2	298122,7	156906,7	82582,5	-208422,1
	1,0	-1312467,1	538111,5	269055,8	134527,9	67263,9	-303508,0

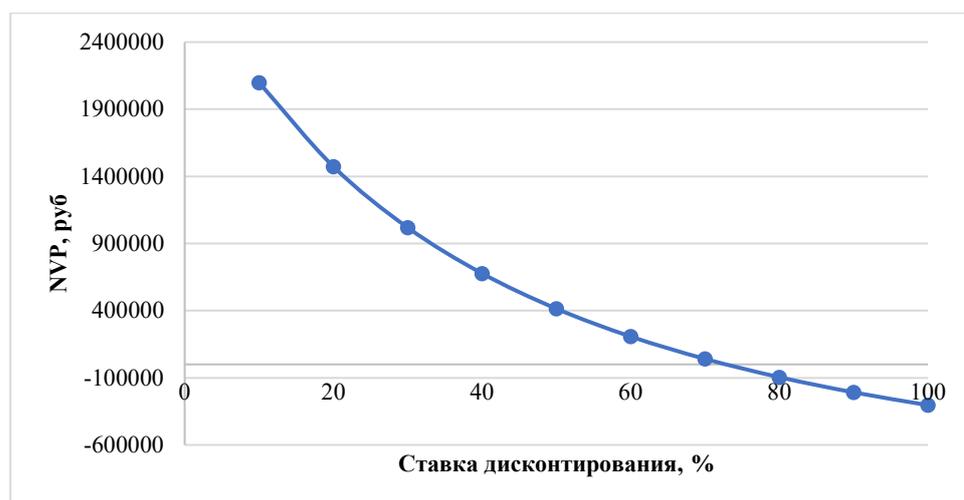


Рисунок 4.4 - Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 75%.

Запас экономической прочности проекта: $75\% - 20\% = 55\%$

Дисконтированный срок окупаемости. Одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени. Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 4.22).

Таблица 4.22 - Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ($i = 0,20$), руб.	-1312467,1	896852,5	747377,1	622814,2	519011,9
2	То же нарастающим итогом, руб.	-1312467,1	-415614,6	331762,5	954576,7	1473588,6
3	Дисконтированный срок окупаемости	$DPP_{дск} = 1 + (415614,6 / 747377,1) = 1,6$ года				

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты (таблица 4.23).

Таблица 4.23 - Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Ресурсозатратные расчеты технологических условий на действующих установках	Экономичная оптимизация процесса с помощью математической модели
Трудности в подборе рецептур смешения товарных бензинов	Получение более высококачественных товарных бензинов

4.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

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

где, $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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

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

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности в таблице 4.24.

Таблица 4.24 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Снижает материальные затраты	0,25	5	3	4
2. Удобство и простота эксплуатации	0,10	4	4	4
3. Оптимизация процесса для повышения производительности	0,20	5	3	3
4. Определение слабых мест процесса	0,20	5	3	4
5. Энергосбережение	0,10	5	5	5
6. Материалоемкость	0,15	4	5	5
Итого	1	28	26	26

$$I_m^p = 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,10 + 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,15 = 4,75$$

$$I_1^A = 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,10 + 3 \cdot 0,20 + 3 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,10 + 5 \cdot 0,15 = 3,60$$

$$I_2^A = 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,10 + 3 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,10 + 5 \cdot 0,15 = 4,05$$

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

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

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

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

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

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 4.25.

Таблица 4.25 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,83	0,95	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,75	3,60	4,05
3	Интегральный показатель эффективности	5,72	3,79	4,05
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,4	0,66	0,71

4.6 Выводы по разделу

По рассчитанной сравнительной эффективности (таблица 4.25) можно сделать вывод о том, что текущая разработка является эффективной по сравнению с представленным на рынке программным обеспечением с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость (NPV), равная 1473588,6 руб.; индекс доходности $PI=2,12$, внутренняя ставка доходности $IRR=75\%$, срок окупаемости $DPP_{дск} = 1,6$ года.

Таким образом мы имеем ресурсоэффективный проект с запасом финансовой прочности 55%.

5 Социальная ответственность

Данный раздел дипломной работы посвящен исследованию оптимальных условий труда инженера. В качестве объекта исследования выступают оборудование, рабочее место инженер-оператора и помещение, в котором оно находится.

Выпускная квалификационная работа заключалась в разработке математической модели процесса производства автомобильных бензинов для повышения эффективности процесса. Область применения – нефтеперерабатывающая промышленность.

Выполнение работы проводилось в Инженерной школе природных ресурсов (ИШПР) Томского Политехнического Университета (ТПУ) в отделении химической инженерии (ОХТ).

Экспериментальная часть магистерской диссертации осуществлялась на персональном компьютере (далее ПК) при работе с различными программными обеспечениями. Рабочая зона представляет собой аудиторию, оборудованную системами отопления, кондиционирования воздуха и естественным и искусственным освещением. Также в аудитории находится аптечка первой медицинской помощи, углекислотный огнетушитель для тушения пожара. Рабочее место – стационарное, оборудованное компьютером.

Основными средствами для выполнения выпускной квалификационной работы являлись персональный компьютер с необходимым программным обеспечением и локальная вычислительная сеть с выходом в Интернет.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основным нормативным документом, отражающим права и обязанности сотрудника и работодателя, является Федеральный закон "Об основах охраны труда в Российской Федерации" от 17.07.1999 N 181-ФЗ. Настоящий Федеральный закон устанавливает правовые основы регулирования отношений

в области охраны труда и направлен на создание условий труда, соответствующих требованиям сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности [1].

К основным нормативным документам также можно отнести Федеральный закон "Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний" от 24.07.1998 N 125-ФЗ. Данный ФЗ устанавливает в Российской Федерации правовые, экономические и организационные основы обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний и определяет порядок возмещения вреда, причиненного жизни и здоровью работника при исполнении им обязанностей по трудовому договору и в иных установленных настоящим Федеральным законом случаях.

Для реализации приведенных выше законов приняты Постановления Правительства РФ "О государственном надзоре и контроле за соблюдением законодательства РФ о труде и охране труда", "О службе охраны труда", "О Федеральной инспекции труда" и др.

Также одним из основных документов, устанавливающих государственные гарантии трудовых прав и свобод граждан является "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ.

Основными задачами трудового законодательства являются создание необходимых правовых условий для достижения оптимального согласования интересов сторон трудовых отношений, интересов государства, а также правовое регулирование трудовых отношений и иных непосредственно связанных с ними отношений по [47]:

- организации труда и управлению трудом;
- трудоустройству у данного работодателя;
- подготовке и дополнительному профессиональному образованию работников непосредственно у данного работодателя;
- социальному партнерству, ведению коллективных переговоров, заключению коллективных договоров и соглашений;

- участию работников и профессиональных союзов в установлении условий труда и применении трудового законодательства в предусмотренных законом случаях;
- материальной ответственности работодателей и работников в сфере труда;
- государственному контролю (надзору), профсоюзному контролю за соблюдением трудового законодательства (включая законодательство об охране труда) и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права;
- разрешению трудовых споров;
- обязательному социальному страхованию в случаях, предусмотренных федеральными законами.

Рассмотрим более подробно организацию рабочего места сотрудника. Правильная организация рабочего места оказывает непосредственное влияние на производительность труда. Повышению трудовой деятельности способствует просторное хорошо проветриваемое помещение, в котором соблюден баланс освещения. Согласно гигиеническим нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [48], помещение в целом и рабочее место должны быть освещены достаточно и равномерно. При оборудовании рабочей зоны необходимо также учесть, что яркий солнечный свет порождает блики на мониторе, следовательно, существует потребность в установке жалюзи.

Так как трудовая деятельность в данном случае непосредственно связана с работой на ЭВМ, необходимо соблюдать меры безопасности, направленные на сохранение полноценного зрения сотрудника:

- экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 600 – 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов;
- уровень глаз при вертикально расположенном экране должен приходиться на центр или 2/3 высоты экрана. Линия взора должна быть перпендикулярна центру экрана и оптимальное её отклонение от

перпендикуляра, проходящего через центр экрана в вертикальной плоскости, не должно превышать 5 градусов, допустимое 10 градусов.

Для того, чтобы минимизировать последствия «сидячей» работы, необходимо оборудовать рабочее место подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20 градусов.

5.2 Производственная безопасность

Произведем анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникать при проведении моделирования процесса производства бензинов, при разработке или эксплуатации проектируемого решения.

В таблице 5.1 указан перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды по ГОСТ 12.0.003- 2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [49].

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Возможные опасные и вредные факторы [49]

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата в закрытом помещении.	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2.Недостаточная освещенность рабочей зоны.	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95; ГОСТ Р 55710 – 2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.

Продолжение таблицы 5.1

3.Повышенное значение электромагнитного излучения и напряжения в электрической цепи.	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов; ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
4.Психофизиологические производственные факторы.	+	+	+	ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы; Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018);

5.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Нормы производственного микроклимата установлены в СанПиН 2.2.4.548-96 [50]. Они едины для всех производств и всех климатических зон с некоторыми незначительными отступлениями.

В этих нормах отдельно нормируется каждый компонент микроклимата в рабочей зоне производственного помещения: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха в зависимости от способности организма человека к акклиматизации в разное время года, характера одежды, интенсивности производимой работы и характера тепловыделений в рабочем помещении.

Нормирование параметров микроклимата осуществляется для оптимальных и допустимых метеорологических условий.

Оптимальные микроклиматические условия определяются сочетанием параметров микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения терморегуляции. Они создают ощущение теплового комфорта. Категория работ 1а и 1б.

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочем месте для помещений данных категорий приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2. – Оптимальные характеристики микроклимата

Оптимальные значения характеристик микроклимата				
Период года	Температура воздуха, °С.	Температура поверхностей, °С.	Относит. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	21-25	40-60	0,1
Теплый	23-25	22-26	40-60	0,1
Допустимые значения характеристик микроклимата				
Период года	Температура воздуха, °С.	Температура поверхностей, °С.	Относит. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	20-25	19-26	15-75	0,1
Теплый	21-28	20-29	15-75	0,1-0,2

На рабочих местах пользователей ПК должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата в соответствии с таблицей 5.2. Например, физиологически оптимальной является относительная влажность 40–60 %. Относительная влажность менее 25 % приводит к высыханию слизистых оболочек и снижению защитной деятельности мерцательного эпителия верхних дыхательных путей, что приводит к ослаблению организма и снижается работоспособность.

Рекомендуется устанавливать системы охлаждения воздуха для поддержания относительной влажности в оптимальных пределах. Для обеспечения требуемого микроклимата воздушной среды предложена искусственная вентиляция или кондиционирование.

5.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Плохое освещение негативно воздействует на зрение, приводит к быстрому утомлению, снижает работоспособность, вызывает дискомфорт, является причиной головной боли и бессонницы.

Согласно [51] в помещениях для эксплуатации ПК организовано естественное освещение через светопроемы, обеспечивающее коэффициенты естественной освещенности (КЕО) не ниже 1,5%. Искусственное освещение представлено комбинированной системой. Поскольку монитор ПК также

является источником света, то рекомендуется в целях снижения мерцания экрана устанавливать частоту кадров 60 Гц для ЖКИ–мониторов.

Освещённость на рабочем месте составляет 300-500 лк, для помещений, в которых эксплуатируются персональные компьютеры и видеодисплейные терминалы; для работников вычислительных центров – 750 лк. Естественная освещённость в дневное время суток в операторной составляет 1,5%, поэтому установлены окна, которые обеспечивают необходимое освещение, и при этом устойчивые к вибрационному воздействию.

Для обеспечения нормируемых значений освещённости в рабочих помещениях проводится чистка стекол оконных рам и светильников два раза в год и своевременная замена перегоревших ламп. Необходимо ограничивать прямую блёскость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей в поле зрения не превышает 200 кд/м². Яркость бликов на экране персональных компьютеров не превышает 40 кд/м², а яркость потолка, при применении системы отраженного освещения, не превышает 200 кд/м², что соответствует параметрам ГОСТ Р 55710 – 2013 [52].

5.2.3 Повышенное значение электромагнитного излучения и напряжения в электромагнитной цепи

Источником электромагнитного излучения является любой предмет, работающий на электрическом токе, в нашем случае это компьютер. Электрические установки, к которым относятся ЭВМ, представляют для человека большую потенциальную опасность. В процессе эксплуатации или при проведении профилактических работ человек может коснуться частей, находящихся под током.

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, биологическое и механическое воздействие. Действие электрического тока на человека приводит к травмам или гибели людей. Для переменного тока частотой 50 Гц допустимое значение напряжения прикосновения составляет 2 В, а силы тока – 0,3 мА, для тока частотой 400 Гц,

соответственно – 2 В и 0,4 мА, для постоянного тока – 8 В и 1 мА [53].

Основными техническими способами и средствами защиты от поражения электрическим током являются [53]: защитное зануление; выравнивание потенциалов; защитное заземление; электрическое разделение сети; изоляция токоведущих частей; оградительные устройства и другое.

Для контроля состояния электрической изоляции проводов, производят периодические испытания изоляции. Периодическое измерение сопротивления изоляции позволяет своевременно выявить и устранить повреждения.

5.2.4 Психофизиологические производственный факторы

Согласно [54] психофизиологические опасные и вредные производственные факторы по характеру действия подразделяются на физические и нервно-психические перегрузки. Физические перегрузки подразделяются на статические и динамические, а нервно-психологические — на умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки.

Поскольку основным каналом получения информации от ПК является монитор, то неизбежно увеличивается нагрузка на зрительную систему.

Ведущими компонентами трудового процесса при работе на компьютере служат однообразные многократно повторяющиеся нагрузки на верхние конечности и постоянное зрительное напряжение, особенно при необходимости моторно-зрительной координации, а также нервно-эмоциональное напряжение, стрессы, связанные с ответственностью за решение выполняемых задач.

Поэтому при работе за компьютером рекомендуется устраивать перерывы. Регламентируемые перерывы продолжительностью 20-30 минут, являющиеся составной частью режимов труда, устанавливаются через каждые 1-2 часа после начала смены и через 2 часа после обеденного перерыва [54].

5.2.5 Повышенный уровень шума

Повышенный уровень шума связан с работой агрегатов персонального компьютера. В производственных помещениях при выполнении основных или вспомогательных работ с использованием ПЭВМ уровни шума на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами (таблица 5.3.)

Таблица 5.3. – Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровень звука в дБа
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
86 дБ	71 дБ	61 дБ	54 дБ	49 дБ	45 дБ	42 дБ	40 дБ	38 дБ	50

Для уменьшения общего уровня шума шумящее оборудование (печатающие устройства, серверы и т.п.), уровни шума которого превышают нормативные, должно размещаться вне помещений с ПЭВМ.

5.2.6 Пожарная безопасность

Работа с персональными компьютерами связана с рисками возгорания электрического оборудования, в связи с чем в зданиях должны быть предусмотрены конструктивные, объемно-планировочные и инженерно-технические решения, обеспечивающие в случае пожара:

- возможность эвакуации людей независимо от их возраста и физического состояния наружу на прилегающую к зданию территорию (далее - наружу) до наступления угрозы их жизни и здоровью вследствие воздействия опасных факторов пожара;
- возможность спасения людей;

- возможность доступа личного состава пожарных подразделений и подачи средств пожаротушения к очагу пожара, а также проведения мероприятий по спасению людей и материальных ценностей;
- нераспространение пожара на рядом расположенные здания, в том числе при обрушении горящего здания;
- ограничение прямого и косвенного материального ущерба, включая содержимое здания и само здание, при экономически обоснованном соотношении величины ущерба и расходов на противопожарные мероприятия, пожарную охрану и ее техническое оснащение [55].

5.2.7 Расчет искусственного освещения

Источники света, применяемые для искусственного освещения, делят на две группы - газоразрядные лампы и лампы накаливания. Для общего освещения, как правило, применяются газоразрядные лампы как энергетически более экономичные и обладающие большим сроком службы. Наиболее распространёнными являются люминесцентные лампы. В лабораториях зрительные работы часто относятся к первой группе работ по освещенности. И это говорит об особой важности качественного освещения в ее стенах, поэтому в качестве искусственного освещения чаще всего, используются лампы дневного света.

Таблица 5.4 – Основные характеристики люминесцентных ламп [56]

Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Световой поток ЛД, лм
15	127	835
20	127	1060
30	220	2020
40	220	2800
65	220	4600
80	220	5200
125	220	-

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина $\lambda = L/h$, характеризующая наилучшее относительное

расстояние между светильниками. Уменьшение λ удорожает устройство и обслуживание освещения, а чрезмерное увеличение ведёт к резкой неравномерности освещённости. В таблице 5.5 приведены значения λ для разных светильников.

Таблица 5.5 – Наиболее выгодное расположение светильников [56]

Наименование светильников	λ
Люминесцентные с защитной решёткой ОДР, ОДОР, ШЛД, ШОД	1,1-1,3
Люминесцентные без защитной решётки типов ОД, ОДО	1,4
ПВЛ	1,5
ГС, ЛЦ	1,6
У, ПУ с отражателем	1,8
ШМ, ПУ без отражателя, плафоны	2,3
СЗ-4-ДРЛ	1,0

Помещение с размерами: длина $A=19$ м, ширина $B = 5$ м, $H = 7$ м, Высота рабочей поверхности $h_{рп}=0,8$ м. Уровень освещенности в лабораториях должен составлять от 500 лк. Коэффициент отражения стен $R_c= 30 \%$, потолка $R_n = 50 \%$. Коэффициент запаса $k=1,5$, коэффициент неравномерности $Z=1,1$.

Рассчитаем систему общего люминесцентного освещения.

Выберем светильники типа ОД с $\lambda = 1,4$.

Примем, что $h_c = 0,5$ м, тогда расчётная высота будет равна [56]:

$$h = H - h_c - h_{рп} = 7 - 0,5 - 0,7 = 5,7 \text{ м}$$

Расстояние L между светильниками будет равно:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 5,7 = 7,9 \text{ м}$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены [56]:

$$L = \frac{L}{3} = \frac{7,9}{3} = 2,7 \text{ м}$$

Количество рядов светильников, с люминесцентными лампами определяется по формуле [56]:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{(B - \frac{2}{3} \cdot L)}{L} + 1 = \frac{(5 - \frac{2}{3} \cdot 2,7)}{2,7} + 1 = 2$$

Количество светильников с люминесцентными лампами [56]:

$$n_{\text{св}} = \frac{(A - \frac{2}{3} \cdot L)}{l_{\text{св}} + 0,5} = \frac{(19 - \frac{2}{3} \cdot 2,7)}{1,23 + 0,5} = 10$$

Светильники размещаем в 2 ряда. В каждом ряду установим по 10 светильников типа ОД мощностью 40 Вт. Длина каждого светильника составляет 1,23 м, разрыв между светильниками в ряду 50 см. В каждом светильнике установлено по 2 лампы. Общее количество светильников в помещении составляет $N = 20$ штук.

Индекс освещения будет равен [56]:

$$i = S / (h \cdot (A + B)) = 19 \cdot 5 / (7 \cdot (19 + 5)) = 0,6$$

Коэффициент использования светового потока будет равен [56]:

$$\eta = 0,33$$

Определим световой поток ламп [56]:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N_l \cdot \eta} = \frac{(500 \cdot 95 \cdot 1,5 \cdot 1,1)}{40 \cdot 0,5} = 3918,75 \text{ лм}$$

Из таблицы [56] выбираем стандартную лампу - ЛБ 65 Вт со световым потоком 4600 лм. Делаем проверку выполнения условия [56]:

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

Получаем:

$$- 10\% \leq 17,03\% \leq +20\%$$

Мощность осветительной установки:

$$P = 65 \cdot 40 = 2600 \text{ Вт}$$

5.3 Экологическая безопасность

5.3.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду

В результате разработки алгоритма процесса производства автомобильных бензинов источниками загрязнения окружающей среды могут стать вышедшие из строя ПЭВМ, оргтехника и бытовой мусор.

Вышедшая из строя ПЭВМ и сопутствующая оргтехника относится к IV классу опасности и подлежит специальной утилизации. Для оказания наименьшего влияния на окружающую среду, необходимо проводить

специальную процедуру утилизации ПЭВМ и оргтехники, при которой более 90% отправится на вторичную переработку и менее 10% будут отправлены на свалки. При этом она должна соответствовать процедуре утилизации ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов [57].

В ходе деятельности организация также создает бытовой мусор (канцелярские, пищевые отходы, искусственные источники освещения), который должен быть утилизирован в соответствии с определенным классом опасности или переработан, чтобы не оказывать негативное влияние на состояние литосферы.

5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

В рамках нефтеперерабатывающего завода автоматическая станция смешения бензинов (далее АССБ) является объектом средней степени воздействия на окружающую среду. Далее будут описаны существующие угрозы для окружающей среды.

5.3.2.1 Атмосфера

На атмосферу могут оказывать вредное воздействие выбросы из вентиляционных труб, которые не проходят очистку и выбросы из резервуаров, которые также не очищаются перед выбросом. Однако на установках осуществляется контроль по содержанию в выбросах углеводородов С1-С5, бензола, толуола и ксилола, которые не должны превышать установленных норм на предприятии [58].

Общий уровень загрязнения воздуха рабочей зоны вредными веществами может быть оценен как низкий - концентрации вредных веществ не превышают соответствующих ПДК. Кратковременное повышение концентрации вредных веществ возможно только при возникновении внештатных ситуаций.

5.3.2.2 Гидросфера

Аварийные ситуации могут оказывать негативное воздействие на гидросферу. При разливе компонентов бензинов или товарной продукции происходит неконтролируемое скопление жидкой фазы на объекте. При попадании разливов нефтепродуктов в сточные воды необходимо провести их анализ на содержание вредных примесей, так как не допускается утечка нефти и нефтепродуктов согласно [59].

Разлив засыпается песком, который затем вывозится на полигон. Не допускается проведение каких-либо огневых работ, эксплуатация насосного оборудования, техники вблизи мест разлива. Разлитый метанол смывается большим количеством воды (в помещении) или засыпается песком, который затем вывозится на полигон. Также на АССБ есть загрязненные дренажные воды, которые спускаются в промышленную канализацию, однако для экологической безопасности существует установленная норма содержания загрязнений в стоках – 1500 мг/л.

5.3.2.3 Литосфера

На АССБ существуют отходы в виде шлама от очистки трубопроводов, емкостей от нефти и нефтепродуктов, которые могут отрицательно влиять на литосферу. Для их утилизации существует специальный контейнер, который вывозится автотранспортом на городской полигон для захоронения промышленных отходов [60].

5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Перечень мероприятий по охране окружающей среды, направленных на защиту окружающей среды: строительство современных экологических установок с передовой технологией с одновременным выводом из эксплуатации морально и физически устаревших установок; внедрение новых технологических процессов по очистке газовых выбросов и промышленных стоков, утилизация промтоходов; производство нефтепродуктов с улучшенными экологическими

свойствами; внедрение автоматизированной системы экологического мониторинга окружающей среды.

Для борьбы с загрязнением атмосферы, гидросферы и литосферы на установке компаундирования применяют следующие меры: воздух, с компрессорных установок проходит очистку в центробежных циклонах, после чего сбрасывается в атмосферу; совершенствование производства и создания новых технологий (например, безотходная технология для совместного получения АИ–93 и А–76, переход на производство неэтилированного бензина, уменьшение ароматических углеводородов в бензине; каталитический дожиг выбросов; использование котлов утилизаторов для использования тепла отходящих газов с целью снижения теплового загрязнения атмосферы; сооружения линий аварийных сбросов давления в факельную линию).

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

К возможным чрезвычайным ситуациям на рабочем месте разработки алгоритма процесса производства автомобильных бензинов выделяют внезапное обрушение здания, аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения населения, пожар. На производстве бензинов могут возникнуть следующие чрезвычайные ситуации: взрыв, разлив компонентов товарных бензинов.

С учетом специфики работы и наличием вычислительной техники в помещении наиболее вероятно возникновение пожара, под которым понимается вышедший из-под контроля процесс горения, обусловленный возгоранием вычислительной техники и угрожающий жизни и здоровью работников.

5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Во время разработки проектируемого решения и при эксплуатации электрооборудования (в данном случае ПК) возможно возникновение

чрезвычайных ситуаций, требующих обеспечения электро – и пожарной безопасности на рабочем месте. Источниками возникновения пожара могут быть электрические схемы от ПЭВМ, устройства электропитания, кондиционирования воздуха. В данных объектах по некоторым причинам (снижение сопротивления изоляции, ослабление контактов, перегрузка сетей, короткое замыкание) возникает перегрев элементов, что приводит к появлению искр и возгоранию.

5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС

Для обеспечения безопасной эксплуатации модели процесса производства автомобильных бензинов предусмотрена рациональная технологическая схема с комплексной автоматизацией технологического процесса, которая позволяет обеспечить непрерывный процесс производства и стабильную работу оборудования. Также предусмотрено отключение электрооборудования со щита операторной.

Для устранения возможности возгорания ПЭВМ и возникновения пожара, согласно [61] при работе с компьютером необходимо соблюдать следующие нормы пожарной безопасности: для предохранения сети от перегрузок запрещается одновременно подключать к сети количество потребителей, превышающих допустимую нагрузку; работы за компьютером проводить только при исправном состоянии оборудования, электропроводки; иметь средства для тушения пожара (огнетушитель); установить количество, размеры и соответствующее конструктивное исполнение эвакуационных путей и выходов; обеспечить возможность беспрепятственного движения людей по эвакуационным путям.

К первичным средствам пожаротушения относятся: огнетушители (порошковые, углекислотные и др.), ящики с песком, асбестовое полотно, вода. Они должны быть в исправном состоянии и окрашены в красный цвет. Эти средства позволяют своевременно ликвидировать очаг возгорания.

Для уменьшения вероятности возникновения пожара на рабочем месте проводят следующие мероприятия [61]: проведение инструктажей по пожарной безопасности; по окончанию работы производится отключение электрооборудования, освещения и электропитания; использование только исправного оборудования; курение в строго отведенном месте; назначение ответственного за пожарную безопасность помещения; содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

При возникновении аварийной ситуации технологический персонал должен немедленно сообщить об аварийной ситуации диспетчеру и принять меры по ликвидации аварии, руководствуясь «Планом локализации аварийных ситуаций» (ПЛАС). В случае возникновения пожара в здании автоматически срабатывают датчики пожаротушения, и звуковая система оповещает всех сотрудников о немедленной эвакуации из здания в соответствии с планом эвакуации при пожарах и других ЧС.

5.5 Выводы по разделу

В данном разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, нормы трудового законодательства. Указаны требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя, при разработке модели процесса производства автомобильных бензинов.

Произведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникать при проведении исследований на рабочем месте, а также при разработке или эксплуатации проектируемого решения. Общий уровень загрязнения воздуха рабочей зоны вредными веществами может быть оценен как низкий - концентрации вредных веществ не превышают соответствующих ПДК.

Приведено обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего), рассмотрены требования безопасности, предъявляемые ко всем видам работ, установкам и устройствам, формирующим опасные факторы.

Проанализирован характер воздействия проектируемого решения по производству бензинов на окружающую среду и персонал, а также принятие решений, направленных на их защиту, так как в последнее время становятся актуальными вопросы, касающиеся безопасности жизнедеятельности трудящихся.

Выполнен анализ возможных чрезвычайных ситуаций (ЧС), которые могут возникнуть при разработке, производстве или эксплуатации модели процесса производства автомобильных бензинов, а также приведено обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.

Заключение

В ходе проделанной работы были достигнуты следующие результаты:

1. С помощью системы моделирования процессов нефтегазопереработки «Unisim Design» была создана математическая модель процесса ректификации сырья. Модель представляет собой каскад из трех последовательно соединенных колонн для обеспечения требуемой точности разделения. Был произведен анализ полученных результатов на соответствие нормативной документации предприятия;

2. С помощью математических моделей был произведен расчет составов и свойств потоков изомеризата и риформата. Установлено влияние состава сырья, идущего на риформинг на качество и количество производимых автомобильных топлив;

3. Разработаны рецептуры компаундирования бензинов марок «АИ-92», «АИ-95» и «АИ-98» экологического класса «ЕВРО 5» с помощью компьютерной моделирующей системы «Compounding». Полученный товарный бензин соответствует требованиям ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия».

4. Представлены возможные варианты работы комплекса производства автомобильных бензинов с получением качественной продукции, отвечающей всем актуальным требованиям.

5. Произведена оценка коммерческого потенциала и альтернатив научного исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, спланирован бюджет исследования. Было установлено, что исследование является привлекательным с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности.

6. Произведен анализ вредных и опасных факторов, а также возможных чрезвычайных ситуаций, которые могут возникнуть во время проведения исследования. Проанализирован характер воздействия на окружающую среду и персонал, предложены меры по их защите.

Список использованных источников

1. Новости о запрете на производства бензинов ниже 5-го экологического класса [Электронный ресурс]. – Российская газета. URL: <https://rg.ru/2016/08/31/s-1-iiulia-v-rossii-zapreshchen-vypusk-avtobenzina-nizhe-klassa-evro-5.html>, свободный. – Дата обращения: 10.03.2022 г.
2. Меркулов Д.В. Современное состояние процессов вторичной переработки нефти и производственные возможности нефтеперерабатывающей промышленности России // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. – 2018. – №. 9.
3. Карпов С.А. Автомобильные бензины с улучшенными экологическими свойствами // Экология и промышленность России. – 2019. – №. 1. – С. 30-32.
4. ГОСТ 32513-2013. Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014. – 18 с.
5. Турукалов М. Полная изомеризация // Нефтегазовая вертикаль. – 2018. – № 16. – С. 22-28.
6. Давидан, Г. М., Нелин, А. Г., Олейник, Л. Н., Скутин, Е. Д. Изомеризация легких бензиновых фракций — перспективный способ повышения качества автомобильных бензинов. // Омский Научный Вестник. – 2017. – С. 26–29.
7. Ю.А. Федоров, Ю. К. Д. Подбор эффективного катализатора для процесса изомеризации фракций С6 – С7. // Булатовские чтения. – 2018.- С. 307–309.
8. Smolikov, M. D., Shkurenok, V. A., Yablokova, S. S., Kir'yanov, D. I., & Belyi, A. S. Изомеризация н-гептана в присутствии ароматических углеводородов на катализаторах Pt/MOR/Al₂O₃ и Pt/WO₃/ZrO₂. // Kataliz v Promyshlennosti. – 2018. - № 2. – С. 39–44.

9. Калягин, К. А., Давлетшин, А. Р., Гаеткулова, Г. К., Пэн, К., Шадрин, А. Э. Испытание платиносодержащих цеолитных катализаторов в процессе изомеризации. // «Нефтегазовое Дело». – 2018. - № 4. – С. 84–99.
10. Данные о катализаторах AXENS [Электронный ресурс]. – AXENS Solutions. URL: <https://www.axens.net/our-offer/by-products/catalysts-and-adsorbents/catalysts.html>, свободный. – Дата обращения: 14.03.2022 г.
11. Данные о катализаторах [Электронный ресурс]. – Химик. URL: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/1914.html>, свободный. – Дата обращения: 14.03.2022 г.
12. A.A. Ishbulatova, A.V. Dolmatov, N.A. Rudnev, A. U. A. INTENSIFICATION OF THE PERFORMANCE OF A GASOLINE ISOMERIZATION UNIT. // Нефтегазовое Дело. – 2017. – С. 165–174.
13. Технологии процесса изомеризации [Электронный ресурс]. – ООО НПП «Нефтехим». URL: <http://nefthim.ru/razrabotki/tehnologii-izomerizatsii/>, свободный. – Дата обращения: 15.03.2022 г.
14. Чузлов В.А. Совершенствование процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций на стадиях каталитического превращения и ректификации. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – 2018. С. 39-40.
15. Изомеризация пентан-гексановых фракций для получения высокооктанового компонента автомобильного бензина [Электронный ресурс]. URL: <https://nefthim.ru/razrabotki/tehnologii-izomerizatsii/>, свободный. – Дата обращения: 16.03.2022 г.
16. Ясакова, Е. А., Ситдикова, А. В., & Ахметов, А. Ф. Тенденции Развития Процесса Изомеризации в России и за Рубежом. // Нефтегазовое Дело. - 2019. - С. 3–11.
17. Хаимова Т.Г., Мхитарова Д.А. Изомеризация как эффективный путь производства высокооктановых компонентов бензина // Информационно-аналитический обзор. М.: ЦНИИТ Энефтехим. - 2020. – 80 с.

18. Ahmed, M. Modeling of an industrial naphtha isomerization reactor and development and assessment of a new isomerization process / M.Ahmed, T.Jarullah, M.Abed, M.Mujtaba // Chemical Engineering Research and Design. – 2018. – P. 33 – 46.
19. Shehata, W.M. Monitoring and modelling of variables affecting isomerate octane number produced from an industrial isomerization process / W.M. Shehata, M.F. Mohamed, F.K. Gad // Egyptian Journal of Petroleum. – 2018 – P. 945 – 953.
20. Р.С. Мейерс, Основные процессы нефтепереработки. ЦОП «Профессия», Спб, 2019. 944 с.
21. Д.И. Кирьянов, М.Д. Смоликов, В.В. Пашков, А.Г. Проскура, Е.В. Затолокина, И.Е. Удрас, А. С. Б. Современное состояние процесса каталитического риформинга бензиновых фракций. // Рос. Хим. ж. (Ж. Рос. Хим. Об-Ва Им. Д.И. Менделеева). – 2018. – С. 60–66.
22. Данные о катализаторах риформинга [Электронный ресурс]. – Фирма «ОЛКАТ». URL: <http://www.olkat.ru/>, свободный. – Дата обращения: 21.03.2022 г.
23. Данные о катализаторах технологиях [Электронный ресурс]. – Фирма «Honeywell UOP». URL: <http://honeywell.com/Pages/Home.aspx>, свободный. – Дата обращения: 17.02.2021 г.
24. В.Г. Козин, Н.Л. Солодова, Н.Ю. Башкирцева, А.И.Абдуллин, Современные технологии производства компонентов моторных топлив. КГТУ, Казань, 2020. 328 с.
25. П.Г. Баннов, Процессы переработки нефти. ХИМИЗ-ДАТ, Спб, 2019. 368 с.
26. Ишмурзин А.В, Дорошук А.Б., Яшин А.А., Марышев В.Б., Осадченко А.И. Особенности технологии и результаты модернизации процесса каталитического риформинга. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2019. - № 4. – С. 35-37.
27. Abdullah M. Licensed Reforming Processes // Aitani King Fahd University of Petroleum and Minerals Dhahran, Saudi Arabia. - 2019. - С. 483-491.

28. Минхайров М.Ф., Ишмурзин А.В., Солодов П.А., Софьин А.С., Вышенцев А.Ю., Марышев В.Б., Осадченко А.И. Об источниках образования бензола при ужесточении процесса риформинга. // Мир нефтепродуктов. ВНК. - 2020. - № 1.
29. Н. Р. Тамаев, Н. Л. Солодова, Н. А. Т. Пути снижения содержания бензола в катализатах риформинга. // УДК 665.642.5. – 2017. – С. 133–137.
30. Д.Р. Ахметзянов, М.С. Набиев, Н. Л. С. Методы удаления бензола из катализата риформинга. // Вестник Технологического Университета. – 2017. - № 8. – С. 133–143.
31. James G. Speight The Chemistry and Technology of Petroleum [Электронный ресурс]. - CRC Press Taylor and Francis Group, 2006. – 955 с.
32. Кравцов А.В. Компьютерное прогнозирование работы промышленных катализаторов процессов риформинга и изомеризации углеводородов бензиновой фракции: учебное пособие [Электронный ресурс] /А.В. Кравцов, Э.Д. Иванчина, Е.С. Шарова, Н.В. Чеканцев, Д.С. Полубоярцев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 129 с.
33. Emilia D. Ivanchina, Ekaterina S. Sharova, Inna V. Yakupova. Mathematical modelling method application for optimisation of catalytic reforming process [Электронный ресурс] // Procedia Chemistry 10 (2014) 197 – 202.
34. Дюсембаева А.А. Физико-химические аспекты моделирования риформинга с учетом дезактивации катализатора при разных уровнях агрегирования компонентов. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. – 2017. С. 27-33.
35. Zagoruiko A.N. Unsteady-state kinetic simulation of naphtha reforming and coke combustion processes in the fixed and moving catalyst beds [Электронный ресурс] / A.N. Zagoruiko, A.S. Belyi, M.D. Smolikov, A.S. Noskov // Catalysis Today, 2013.
36. David S. J. «Stan» Jones, Peter R. Pujado Handbook of Petroleum Processing [Электронный ресурс]. – Springer, 2006. – 1356 с.

37. Киргина М.В., Иванчина Э.Д., Долганов И.М., Чеканцев Н.В., Кравцов А.В., Фан Фу Компьютерная моделирующая система оптимизации процесса компаундирования высокооктановых бензинов // Химия и технология топлив и масел. – 2014. – №. 1, 12-18с;
38. Белянин Б. В., Эрих В. Н. / Технический анализ нефтепродуктов и газа. / Изд. 3-е пер. и доп. Л., «Химия», 1975 – 336 стр.
39. Труды БашНИИ НП. – Москва, Гостоптехиздат, 1963. – 300 с
40. Паркаш С., / Справочник по переработке нефти. – М.: Премиум Инжиниринг, 2012 – 759с.;
41. Фан В. Оптимизация процесса приготовления автомобильных бензинов на основе учета углеводородного состава парафинистых нефтей месторождений Вьетнама / диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук Томск., 2013
42. Аралов О.В, Буянов И. В., Саванина А. С., Иорданский Е. И., / Исследование методов расчета кинематической вязкости в магистральном трубопроводе // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов, 2017;
43. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: учебное пособие. – Москва: Академкнига, 2017. – 416 с.
44. Карпов С.А., Борзаев Б.Х., Елиша М.К. Актуальные аспекты производства современных автомобильных топлив // Нефтепереработка и нефтехимия. –2020. – № 5. – С. 15-19.
45. Киргина М.В., Иванчина Э.Д., Долганов И.М., Смышляева Ю.А., Кравцов А.В., Фан Ф. Моделирование процесса приготовления товарных бензинов на основе учета реакционного взаимодействия углеводородов сырья с высокооктановыми добавками // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт, 2012. – № 4. – 3-8с.;

46. Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Учебно- методическое пособие. Томск: Изд-во НИ ТПУ, 2014. – 73 с.
47. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ
48. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.; введ. 13.06.2003;
49. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». – введ. 01.03.2017. - М.: Стандартиформ, 2017;
50. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – введ. 01.09.1996. - М.: Стандартиформ, 2018;
51. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. – введ. 08.05.2017. - М.: Стандартиформ, 2017;
52. ГОСТ Р 55710 – 2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. – введ. 01.07.2014. - М.: Стандартиформ, 2016;
53. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. - введ. 01.01.2019. -
54. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. – 01.03.2017. – М.: Стандартиформ, 2017. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2019.
55. ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования», при работе с компьютером необходимо соблюдать следующие нормы пожарной безопасности- введ.01.07.1992.-М.:Стандартиформ, 2017
56. Методическое указание «Расчет искусственного освещения» [Электронный ресурс]. Дата обращения: 19.04.2022 г;
57. ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов. - введ. 01.01.2011. - М.: Стандартиформ, 2019;

58. ГОСТ 17.2.4.02-81 Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ. – введ. 01.07.1982. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2017;
59. ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений. – введ. 01.07.1986. - М.: ФГУП "Стандартинформ", 2016;
60. ГОСТ 17.4.3.04-85 Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения. – введ. 01.07.1986. - М.: Стандартинформ, 2018;
61. ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда. Общие положения. – введ. 01.03.2017 – М.: Стандартинформ, 2016;
62. Ishmurzin A.V., Minkhayrov M.F., Solodov P.A., Sofin A.S., Vyshentsev A.Yu., Maryshev V.B., Osadchenko A.I. On the sources of benzene formation during the tightening of the reforming process. // The world of petroleum products. – 2018;
63. GOST R 32513-2013. Motor fuels. Unleaded petrol. Technical conditions. - М.: Standartinform, 2019. – 18 p;
64. Akhmetzyanov D.R., Nabiev M.S., Methods for removing benzene from reforming catalyzate. // Bulletin of the Technological University. – 2017. – No. 8. – P. 133-143.
65. Robert A. Meyers, Ph.D. Handbook of petroleum refining processes // McGraw-Hill Education. Published by CRC Press. – 2020. – 847 p.

Приложение А

Дополнительные материалы к разделу 2

Таблица А.1 – Проверка модели на адекватность (% масс.)

Компоненты	Сырье К-8	Верх К-3		Низ К-3		Верх К-5		Низ К-5	
	Проект	Проект	Расчет	Проект	Расчет	Проект	Расчет	Проект	Расчет
этан	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
пропан	1,1	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
i-бутан	1,13	0,26	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
n-бутан	4,6	2,20	2,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,2-диметилпропан	0,12	0,06	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
i-пентан	3,94	11,89	11,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
n-пентан	6,01	29,32	29,52	0,00	0,00	0,05	0,04	0,00	0,00
2,2-диметилбутан	0,05	0,25	0,27	0,01	0,00	0,06	0,05	0,00	0,00
циклопентен	0	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
циклопентан	1,04	5,20	5,63	0,10	0,00	1,07	1,07	0,00	0,00
2,3-диметилбутан	0,38	1,55	1,74	0,11	0,00	0,94	0,93	0,00	0,00
2-метилпентан	2,98	12,03	12,14	0,93	0,88	7,97	7,97	0,03	0,00
3-метилпентан	1,99	7,09	7,01	0,79	0,76	6,27	6,29	0,06	0,05
n-гексан	5,94	17,93	18,01	3,24	3,15	21,08	21,08	0,52	0,53
2,2-диметилпентан	0,04	0,06	0,00	0,04	0,68	0,19	0,20	0,18	0,19
метилциклопентан	3,01	7,74	7,89	1,97	2,06	11,98	11,99	0,56	0,54
2,4-диметилпентан	0,19	0,22	0,20	0,20	0,26	1,13	1,15	0,09	0,11
2,2,3-триметилбутан	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,05	0,06	0,00	0,01
бензол	0,55	1,47	1,52	0,34	0,39	2,08	2,10	0,10	0,11
3,3-диметилпентан	0,03	0,00	0,00	0,04	0,01	0,14	0,14	0,03	0,03
циклогексан	2,13	2,60	2,34	2,27	2,34	9,46	9,48	1,09	1,10
2-метилгексан	1,61	0,03	0,00	2,18	2,28	6,30	6,32	1,58	1,58
2,3-диметилпентан	0,67	0,01	0,00	0,90	0,82	2,56	2,62	0,66	0,62

Продолжение таблицы А.1

1,1- диметилциклопентан	0,2	0,01	0,00	0,28	0,33	0,82	0,80	0,19	0,17
3-метилгексан	2,23	0,01	0,00	3,00	3,08	7,52	7,49	2,36	2,35
1с,3- диметилциклопентан	0,87	0,01	0,00	1,17	1,20	2,94	2,95	0,92	0,92
1t,3- диметилциклопентан	0,8	0	0,00	1,07	1,07	2,47	2,45	0,88	0,88
3-этилпентан	0,21	0,01	0,00	0,29	0,30	0,55	0,58	0,24	0,22
1t,2- диметилциклопентан	1,67	0,00	0,00	2,26	2,26	5,06	5,03	1,86	1,86
n-гептан	5,89	0,00	0,00	7,86	7,86	7,18	7,19	8,18	8,19
1с,2- диметилциклопентан	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,18	0,3	0,27
метилциклогексан	4,02	0,00	0,00	5,67	5,62	1,55	1,55	6,12	6,10
2,2-диметилгексан	0,31	0,00	0,00	0,42	0,38	0,02	0,01	0,48	0,49
этилциклопентан	0,8	0,00	0,00	1,13	1,16	0,13	0,15	1,31	1,30
2,5-диметилгексан	0,21	0,00	0,00	0,34	0,40	0,00	0,02	0,39	0,37
2,4-диметилгексан	0,3	0,00	0,00	0,40	0,30	0,00	0,00	0,46	0,46
1с,2t,4- триметилциклопентан	0,58	0,00	0,00	0,79	0,74	0,00	0,01	0,91	0,94
3,3-диметилгексан	0,04	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00	0,06	0,07
1t,2с,3- триметилциклопентан	0,8	0,00	0,00	1,09	1,08	0,00	0,00	1,26	1,29
2,3,4-триметилпентан	0,07	0,00	0,00	0,09	0,06	0,00	0,00	0,10	0,12
толуол	1,44	0,00	0,00	1,94	1,95	0,31	0,33	2,23	2,25
Компоненты выше толуола	41,86	0,00	0,00	59,02	58,97	0,00	0,00	66,87	66,90
Итого	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Приложение Б

Дополнительные материалы к разделу 2

Таблица Б.1 – Результаты расчеты блока разделения сырья состава №1 (% масс.)

Компонент	Сырье К-8	Верх К-3	Низ К-3	Верх К-3	Низ К-3
этан	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
пропан	1,1	0,00	0,00	0,00	0,00
i-бутан	1,13	0,01	0,00	0,00	0,00
n-бутан	4,6	2,18	0,00	0,00	0,00
2,2-диметилпропан	0,12	0,07	0,00	0,00	0,00
i-пентан	3,94	11,9	0,00	0,00	0,00
n-пентан	6,01	29,52	0,00	0,04	0,00
2,2-диметилбутан	0,05	0,27	0,00	0,05	0,00
циклопентен	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
циклопентан	1,04	5,63	0,00	1,07	0,00
2,3-диметилбутан	0,38	1,74	0,00	0,93	0,00
2-метилпентан	2,98	12,14	0,88	7,97	0,00
3-метилпентан	1,99	7,01	0,76	6,29	0,00
n-гексан	5,94	18,01	3,15	21,08	0,53
2,2-диметилпентан	0,04	0,00	0,68	0,2	0,19
метилциклопентан	3,01	7,89	2,06	11,99	0,54
2,4-диметилпентан	0,19	0,2	0,26	1,15	0,11
2,2,3-триметилбутан	0,01	0,00	0,00	0,06	0,01
бензол	0,55	1,52	0,39	2,1	0,11
3,3-диметилпентан	0,03	0,00	0,01	0,14	0,03
циклогексан	2,13	2,34	2,34	9,48	1,1
2-метилгексан	1,61	0,00	2,28	6,32	1,58
2,3-диметилпентан	0,67	0,00	0,82	2,62	0,62
1,1-диметилциклопентан	0,2	0,00	0,33	0,8	0,17
3-метилгексан	2,23	0,00	3,08	7,49	2,35
1с,3-диметилциклопентан	0,87	0,00	1,2	2,95	0,92
1t,3-диметилциклопентан	0,8	0,00	1,07	2,45	0,88
3-этилпентан	0,21	0,00	0,3	0,58	0,22
1t,2-диметилциклопентан	1,67	0,00	2,26	5,03	1,86
n-гептан	5,89	0,00	7,86	7,19	8,19
1с,2-диметилциклопентан	0,19	0,00	0,00	0,18	0,25
метилциклогексан	4,02	0,00	5,62	1,55	6,1
2,2-диметилгексан	0,31	0,00	0,38	0,01	0,49
этилциклопентан	0,8	0,00	1,16	0,15	1,29
2,5-диметилгексан	0,21	0,00	0,4	0,02	0,36

Продолжение таблицы Б.1

2,4-диметилгексан	0,30	0,00	0,3	0,00	0,46
1с,2t,4-триметилциклопентан	0,58	0,00	0,74	0,01	0,94
3,3-диметилгексан	0,04	0,00	0,05	0,00	0,07
1t,2с,3-триметилциклопентан	0,8	0,00	1,08	0,00	1,29
2,3,4-триметилпентан	0,07	0,00	0,06	0,00	0,12
толуол	1,44	0,00	1,95	0,33	2,25
Компоненты выше толуола	41,86	0,00	58,97	0,00	66,9
Итого	100	100	100	100	100

Таблица Б.2 – Состав фракции НК-62 (% масс.)

Компонент	Содержание, % масс.
этан	0,00
пропан	0,00
i-бутан	0,01
n-бутан	0,15
2,2-диметилпропан	0,02
i-пентан	7,37
n-пентан	26,68
2,2-диметилбутан	0,27
циклопентен	0,00
циклопентан	5,63
2,3-диметилбутан	2,06
2-метилпентан	16,15
3-метилпентан	10,78
n-гексан	29,25
2,2-диметилпентан	0,00
метилциклопентан	1,31
2,4-диметилпентан	0,00
2,2,3-триметилбутан	0,00
бензол	0,34
Итого	100,00

Таблица Б.3 – Состав фракций 62-85 и 62-105 (% масс.)

Компонент	62-85	62-105
этан	0,00	0,00
пропан	0,00	0,00
i-бутан	0,00	0,00
n-бутан	0,00	0,00
2,2-диметилпропан	0,00	0,00

Продолжение таблицы Б.3

i-пентан	0,00	0,00
n-пентан	0,00	0,00
2,2-диметилбутан	0,00	0,00
циклопентен	0,00	0,00
циклопентан	0,00	0,00
2,3-диметилбутан	0,00	0,00
2-метилпентан	0,00	0,00
3-метилпентан	0,03	0,01
n-гексан	11,6	4,03
2,2-диметилпентан	0,56	0,25
метилциклопентан	52,93	19,41
2,4-диметилпентан	2,59	1,16
2,2,3-триметилбутан	0,10	0,06
бензол	8,29	3,23
3,3-диметилпентан	0,02	0,14
циклогексан	23,31	12,67
2-метилгексан	0,31	7,11
2,3-диметилпентан	0,07	2,87
1,1-диметилциклопентан	0,03	0,91
3-метилгексан	0,11	9,06
1с,3-диметилциклопентан	0,02	3,57
1t,3-диметилциклопентан	0,01	3,17
3-этилпентан	0,00	0,76
1t,2-диметилциклопентан	0,02	6,45
n-гептан	0,00	15,89
1с,2-диметилциклопентан	0,00	0,40
метилциклогексан	0,00	7,51
2,2-диметилгексан	0,00	0,14
этилциклопентан	0,00	0,55
2,5-диметилгексан	0,00	0,07
2,4-диметилгексан	0,00	0,05
1с,2t,4-триметилциклопентан	0,00	0,01
3,3-диметилгексан	0,00	0,00
1t,2с,3-триметилциклопентан	0,00	0,00
2,3,4-триметилпентан	0,00	0,00
толуол	0,00	0,51
Компоненты выше толуола	0,00	0,00
Итого	100	100

Таблица Б.4 – Состав фракций 85-180 и 105-180 (% масс.)

Компонент	85-180	105-180
этан	0,00	0,00
пропан	0,00	0,00
i-бутан	0,00	0,00
n-бутан	0,00	0,00
2,2-диметилпропан	0,00	0,00
i-пентан	0,00	0,00
n-пентан	0,00	0,00
2,2-диметилбутан	0,00	0,00
циклопентен	0,00	0,00
циклопентан	0,00	0,00
2,3-диметилбутан	0,00	0,00
2-метилпентан	0,00	0,00
3-метилпентан	0,00	0,00
n-гексан	0,11	0,18
2,2-диметилпентан	0,03	0,02
метилциклопентан	1,07	1,24
2,4-диметилпентан	0,13	0,11
2,2,3-триметилбутан	0,01	0,01
бензол	0,25	0,25
3,3-диметилпентан	0,04	0,03
циклогексан	1,83	1,35
2-метилгексан	2,38	1,44
2,3-диметилпентан	1,00	0,62
1,1-диметилциклопентан	0,30	0,17
3-метилгексан	3,32	2,13
1с,3-диметилциклопентан	1,3	0,83
1t,3-диметилциклопентан	1,19	0,78
3-этилпентан	0,31	0,22
1t,2-диметилциклопентан	2,49	1,65
n-гептан	8,78	7,01
1с,2-диметилциклопентан	0,28	0,25
метилциклогексан	5,99	5,35
2,2-диметилгексан	0,46	0,49
этилциклопентан	1,19	1,23
2,5-диметилгексан	0,31	0,33
2,4-диметилгексан	0,45	0,49
1с,2t,4-триметилциклопентан	0,86	0,96
3,3-диметилгексан	0,06	0,07
1t,2с,3-триметилциклопентан	1,19	1,32

Продолжение таблицы Б.4

2,3,4-триметилпентан	0,10	0,12
толуол	2,15	2,29
Компоненты выше толуола	62,39	69,09
Итого	100	100

Таблица Б.5 – Состав потока «Изомеризат»

Компонент	Содержание, % масс.
этан	0,00
пропан	0,00
н-бутан	0,35
н-пентан	0,03
н-гексан	0,16
i-бутан	0,15
i-пентан	0,00
2,2 - диметилпропан	0,00
2 - метилпропан	16,71
3 - метилпропан	3,18
2,2 - диметилбутан	61,63
2,3 - диметилбутан	12,01
2 - метилгексан	0,08
3 - метилгексан	0,06
циклопентан	4,45
метилциклопентан	0,87
циклогексан	0,00
этилциклопентан	0,00
диметилциклопентан	0,17
бензол	0,03
толуол	0,03
Итого	100

Таблица Б.6 – Состав потока «Риформат 85-180»

Компонент	Содержание, % масс.
этан	0,00
пропан	0,04
н-бутан	4,79
н-пентан	3,51
н-гексан	4,26
н-гептан	2,57

Продолжение таблицы Б.6

н-октан	0,73
н-нонан	0,17
н-декан	0,21
i-бутан	0,7
i-пентан	4,37
2,2-диметилпропан	0,00
2-метилпентан	3,63
3-метилпентан	2,81
2,2-диметилбутан	0,85
2,3-диметилбутан	0,72
2-метилгексан	3,21
3-метилгексан	2,87
3-этилпентан	0,28
2,2-диметилпентан	0,33
2,3-диметилпентан	00,00
2,4-диметилпентан	0,39
3,3-диметилпентан	0,34
2,2,3-триметилбутан	0,05
2,2-диметилпентан	0,42
2,3-диметилпентан	00,00
2,4-диметилпентан	1,13
2,5-диметилгексан	0,72
3,3-диметилгексан	0,43
изомеры C9	0,64
изомеры C10	0,09
метилциклопентан	0,53
циклогексан	00,00
этилциклопентан	0,39
этилметилциклопентаны	0,19
триметилциклопентаны	0,07
метилциклогексан	0,13
нафтенy C8	0,14
нафтенy C9	0,19
нафтенy C10+	0,10
бензол	5,12
толуол	18,59
диметилбензон	20,1
ароматика C9	11,32
ароматика C10	2,83
ароматика C11+	0,00
Итого	100

Таблица Б.7 – Состав потока «Риформат 105-180»

Компонент	Содержание, % масс.
этан	0,00
пропан	0,04
н-бутан	2,14
н-пентан	3,74
н-гексан	4,54
н-гептан	2,75
н-октан	0,78
н-нонан	0,18
н-декан	0,00
i-бутан	0,65
i-пентан	4,08
2,2-диметилпропан	0,00
2-метилпентан	3,38
3-метилпентан	2,62
2,2-диметилбутан	0,79
2,3-диметилбутан	0,69
2-метилгексан	2,99
3-метилгексан	2,67
3-этилпентан	0,26
2,2-диметилпентан	0,31
2,3-диметилпентан	0,00
2,4-диметилпентан	0,36
3,3-диметилпентан	0,32
2,2,3-триметилбутан	0,05
2,2-диметилгексан	0,39
2,4-диметилгексан	1,05
2,5-диметилгексан	0,67
3,3-диметилгексан	0,4
изомеры C9	0,59
метилциклопентан	0,53
циклогексан	0,00
этилциклопентан	0,39
этилметилциклопентаны	0,03
нафтены C8	0,03
нафтены C9	0,00
нафтены C10+	1,43
бензол	1,71
толуол	17,11
диметилбензон	18,54

Продолжение таблицы Б.7

ароматика С9	19,00
ароматика С10	4,75
ароматика С11+	0,00
Итого	100

Приложение В
(справочное)

Improving the technology of commercial gasoline production

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Мурашова Екатерина Евгеньевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Чузлов Вячеслав Алексеевич	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Надеина Луиза Васильевна	к.филол.н.		

Gasoline is a combustible mixture of light hydrocarbons with a boiling point of 33 to 205 ° C. Gasoline is used as fuel for carburetor and injection engines or as high-pulse rocket fuel. Gasoline is used as a solvent or simply combustible material. Paraffin is made from gasoline. Fuel materials are divided into automotive and aviation gasoline. The distinguishing feature of aviation gasolines is that they contain more light fractions. Only motor gasoline is considered. In this final qualifying work.

Most of motor gasoline produced is the products of oil refining and gas condensate. In fact, it is a mixture of components obtained by various technological processes and in their own way influencing the properties of commercial gasoline. The components are divided into two main groups: basic (prevail in volume, are the basis of gasoline) and high-octane (low-boiling hydrocarbons and their mixtures, the corrective properties of gasoline in accordance with certain requirements).

1 Blending of commercial gasoline

Blending of gasoline is a complex multi-stage process, which is very labor-intensive in terms of optimization, as it has the following distinctive features:

- knock resistance is not an additive property;
- feedstock flow coming for mixing does not have the composition stability, and as a result, it is necessary to monitor the formula regularly and correct it on time;
- there is not always enough feedstock to blend.

Despite the variety of processes in the modern refinery, not a single flow meets all the requirements for gasoline. Thus, the final stage in the production of gasoline is the blend of various streams into the final product.

The following components are involved in the blending process:

- basic - these are the carriers of the basic properties (characteristics) of the produced gasoline;
- additives and improvers - are used to improve the basic operation property of gasoline.

The most important indicators in the development of commercial gasoline formulas are octane number, saturated vapor pressure, as well as the presence of such

components as olefins, sulfur, benzene and aromatic hydrocarbons.

While producing high-octane gasoline, formulations are developed separately for each batch. This is due to the presence and features of available components and the requirements for the finished product.

2 Requirements for the quality of motor gasoline

Successful use of gasoline as an energy source for driving a car is possible if gasolines have a certain hydrocarbon composition and have strictly regulated physicochemical and operational properties. Modern requirements for motor gasoline represent a set of requirements for operation, large-scale production and the need to minimize the negative impact on the environment.

Demands placed by manufacturers of engines with spark ignition on the quality of the gasoline used:

1. In all engine operating modes and in all weather conditions, the combustion of a mixture of gasoline and air should occur in the combustion chamber at a normal speed without detonation.

2. Gasoline should have a minimum tendency to form deposits and soot in the fuel and starting systems, but at the same time have a high calorific value.

3. Preparation of the combustible mixture should be possible at all temperatures of the engines, which provides a certain value of evaporation.

Thus, these requirements regulate the detonation resistance, fractional composition, saturated vapor pressure and the content of a number of substances in gasoline.

The quality characteristics of the gasoline produced, due to the technical capabilities of domestic refining, limit the indicators of fractional and hydrocarbon composition, sulfur content and antiknock agents.

In order to increase the yield of gasoline from crude oil, oil refineries are interested in raising the boiling point of gasoline, but its effective use in the engine is possible with a limited content of heavy fractions. The requirements of car manufacturers are contrary to the requirements of the refinery. Therefore, a

compromise is needed in the form of an economically viable level of these requirements.

The need to save gasoline for several years creates certain requirements related to the transportation and storage of fuel.

Storage and use of gasoline directly in cars, as well as its transportation are carried out in different climatic conditions at air temperatures from -50 to +45 ° C, and the engine should work normally.

Requirements for the operation of gasoline regulate the physical and chemical stability, the propensity for losses from evaporation and the formation of vapor plugs, the content of corrosive-aggressive compounds.

The impact of gasoline on the environment in their application is associated with the toxicity of compounds entering the atmospheric air, water, soil directly from the fuel or with products of its combustion.

The environmental properties of gasoline are provided by restrictions on the content of certain toxic substances, on the group hydrocarbon composition, on the content of low-boiling hydrocarbons, as well as sulfur and benzene.

The physicochemical properties of motor gasoline and engine control parameters should be carefully linked to each other. The main characteristics of motor gasoline include: detonation resistance, evaporation (fractional composition and saturated vapor pressure), density, hydrocarbon composition.

3 Physicochemical and operational properties of commercial gasoline

3.1 Evaporation

Evaporation characterizes the ability of the fuel to form a vapor phase above the surface of the liquid and to transfer steam into the environment.

Fractional composition and vapor pressure depend on the composition of gasoline. Therefore, these figures for different gasoline can vary significantly. Starting properties of gasoline, the tendency to form the vapor lock, physical stability – these are properties that are determined by the pressure of saturated vapor and fractional composition. The pressure of saturated vapors depends on the temperature as well as

the ratio of the vapor and liquid phases. As the temperature decreases or the vapor-liquid ratio increases, the vapor pressure decreases. The physical stability (tendency to evaporate the loss), engine warm-up speed, cylinder-piston wear, engine acceleration depend on the content of low-boiling fractions in gasoline.

The content of light fractions is based on the volume of light fractions, boiling away at temperatures up to 70 ° C or the pressure of saturated vapors and distillation temperature of 10%. The lower the ambient temperature, the more light fractions are required to start the engine.

In general, the demands on fractional composition and saturated vapor pressure of gasoline are determined by the design of the automobile engine and the climatic conditions of its operation. After all, it is necessary to ensure that the engine starts at low temperatures and to prevent the formation of steam plugs at high temperatures, which leads to disruptions in engine operation.

In addition, for the normal operation of the engine, it is necessary to control the full evaporation of the fuel. This value can be characterized by a distillation temperature of the 90% gasoline and an end boiling point. If gasoline does not evaporate completely, a small part of it in liquid form can penetrate into the combustion chamber, while washing away the oil from the walls of the cylinders. The liquid film can penetrate through the gaps of the piston rings into the crankcase, and oil is thinned. As a result, the engine wear increases, the power and efficiency of its work deteriorates. Lowering the boiling point of gasolines increases their operational properties, but reduces the life of gasolines.

3.2 Detonation resistance

This indicator characterizes the ability of motor gasoline to resist self-ignition during compression. A high detonation resistance of gasoline provides normal combustion in all operating modes of the engine. The process of burning fuel in the engine is radical. When compressing a mixture of gasoline and air, the temperature and pressure increase, the hydrocarbons oxidize (oxidation intensifies after the mixture ignites). With insufficient resistance of the unburned hydrocarbons to oxidation, there

is an intense accumulation of peroxides, and then - their explosive decomposition. With a high concentration of peroxide compounds, a thermal explosion occurs, leading to self-ignition of the fuel, which, in turn, leads to explosive combustion of the remaining part of the fuel - detonation combustion. Detonation causes overheating, increased wear or even local engine damage and is accompanied by a sharp characteristic sound, a drop in power, and an increase in exhaust smoke.

The detonation resistance of automobile gasolines - the octane number - is equal to the content (in percent by volume) of isooctane (2,2,4-trimethylpentane) in its mixture with n-heptane, at which this mixture is equivalent to the detonation resistance of the test fuel under standard test conditions.

To determine the octane number of gasoline the two methods are used: motor and research. The octane number determined by the motor method is lower than the octane number determined by the research method, because the motor method is carried out at a more intense mode of operation of a single-cylinder unit than the research one. The octane number, determined by the motor method, largely characterizes the detonation resistance of the fuel when operating the vehicle under conditions of increased thermal accelerated mode, whereas the octane number, determined by the research method, characterizes gasoline when operating at partial loads under urban driving conditions.

The detonation resistance of gasolines depends on their hydrocarbon composition. Aromatic hydrocarbons have the highest detonation resistance. Paraffinic hydrocarbons of normal structure have the lowest detonation resistance, which decreases with increasing molecular weight. Isoparaffins and olefinic hydrocarbons have higher anti-knock properties as compared to normal paraffins, but branching and a decrease in molecular weight increase the detonation resistance of paraffins. Naphthenes, in turn, are superior in detonation resistance to paraffin hydrocarbons, but inferior to aromatic hydrocarbons.

Thus, the anti-knock properties of gasolines produced by various technological processes are determined by their hydrocarbons. It is known that direct distillation gasolines consisting mainly of normal paraffinic hydrocarbons have the lowest

detonation resistance.

3.3 Saturated vapor pressure

As for gasoline, saturated vapor pressure is the most important characteristic when starting the engine cold. If the saturated vapor pressure is low, problems can be there when starting the engine, and at extremely low saturated vapor pressure the engine may not start at all. Increased saturated vapor pressure can lead to the steam jams in the fuel system of the car.

According to the Technical Regulations, the saturated vapor pressure of gasoline in summer should be 45-80 kPa, in winter - 50-100 kPa. Almost all the basic components of gasoline are characterized by a lower saturated steam pressure; it is achieved up to the norm by adding n-butane or isobutene.

3.4 Heat of combustion

Power and economic performance of the engine is determined by the heat of combustion. The higher it is, the lower is the specific fuel consumption. This indicator depends on the hydrocarbon composition of gasoline. For various hydrocarbons it is determined by the ratio of carbon / hydrogen. The higher is this ratio, the lower the heat of combustion. Paraffin hydrocarbons, direct distillation gasolines and alkylbenzene have the highest heat value, the least aromatic hydrocarbons and catalytic reforming gasoline.

3.5 Chemical stability

The ability of gasolines to maintain their composition and properties during storage, transportation, or when heated by the engine intake system can be characterized by indicators such as chemical stability. Chemical changes in gasoline during its operation are associated with the oxidation of its constituent hydrocarbons. This means that the chemical stability of gasoline can be determined by the rate of oxidation reactions. The speed, in its turn, depends on the structure of the hydrocarbons entering the gasoline and the process conditions.

During oxidation, resinous substances accumulate in gasolines that are formed

during polymerization and condensation of oxidation products. At first, the amount of resinous substances in gasoline is small, and they are completely soluble in it, but as the oxidation process deepens, the content of resinous substances increases. As mentioned above, the presence of oxidation products in gasoline adversely affects its performance properties. Resinous substances falling out of fuel form deposits in tanks, pipelines, etc. Oxidation of unstable gasolines when heated in the engine intake system leads to the formation of deposits on its elements, and also increases the tendency to form carbon on the valves, in the combustion chamber and on the spark plugs.

In addition, the chemical stability of gasolines is affected by the non-hydrocarbon components they contain. Thermal cracking, coking, pyrolysis, and catalytic cracking are the most prone to oxidation (olefinic and diolefinic hydrocarbons contain significant amounts). Catalytic reforming gasolines, straight-run gasolines, alkyl benzene are chemically stable.

3.6 Content of substances

One of the rigidly standardized quality parameters of gasoline is the content of certain substances in it: sulfur, aromatic hydrocarbons and benzene, resinous and resin-forming compounds, metals, etc.

Gasoline always contains resinous and resin-forming compounds. Resins are dark brown liquid or semi-liquid substances with a density of about 1000 kg / m³, possessing strong coloring ability, easily soluble in all petroleum products. Their content in gasoline depends on the methods of production and purification of gasoline, as well as the duration and conditions of its storage. The heavy hydrocarbon molecules that are contained in the tar do not evaporate from gasoline, but only accumulate on the hot walls of pipelines, clog the nozzles, which can lead to a decrease in flow sections of various sections of the fuel supply equipment and the intake manifold. It leads to the reduction in power and the deterioration of the efficiency of the engine. In addition, wear increases, the combustion process deteriorates and fuel consumption increases due to the formation of carbon in the engine. Nagar is the compacted resinous deposits in areas of high temperature, fragile and hard, consisting mainly of carbon.

The sulfur content in gasoline is also strictly regulated. During combustion, oxygenated sulfur compounds cause corrosion and contribute to the formation of deposits and engine wear. The total sulfur content in gasoline is the total amount of all sulfur compounds in the fuel. The amount of sulfur in gasoline should not exceed 0.05%. Experimentally, it has been established that with an increase in sulfur from 0.05 to 0.10%, the wear of engine parts is 1.5–2 times more, and with an increase in the amount of sulfur to 0.20%, even twofold.

The content of benzene in automobile fuel is also limited, despite the fact that pure benzene has a high-octane number (more than 100 units). A number of reasons for which benzene is used in limited quantities are: high freezing point (crystallization), poor volatility at low temperatures, high hygroscopicity, low calorific value.

The content of the most valuable components of motor gasolines, aromatic hydrocarbons, due to their high detonation resistance, is also normalized due to the increased carbon formation in the engine and the formation of carcinogenic benzene in the exhaust gases. In addition, reducing the proportion of aromatic hydrocarbons in gasoline reduces the content of toxic products in the exhaust gases. The structure of aromatic hydrocarbons has a significant effect on carbon formation in combustion chambers and on engine valves, which reduces efficiency and power, and has a negative effect on economic and environmental performance. Moreover, when exposed to high temperatures, aromatic hydrocarbons are oxidized and deposited in the engine in the form of soot.

3.7 Methods for reducing the content of benzene

Control of benzene content in gasoline has become an important issue worldwide because of health and environmental concerns. Because the major source of benzene in gasoline is the naphtha reformer, naphtha processing is the major focus for benzene reduction. Every year the tightening of requirements for the content of aromatic hydrocarbons, in particular benzene, affect the process of modernization of the reforming process, since, as a rule, it is with the reformat (40-70%) that the bulk of these toxic substances enter the composition of motor gasoline [62].

The benzene content of gasoline is currently limited by national standards. The values vary from 1% to 5%, and it is according to the new environmental requirements that the amount of benzene in K5 gasoline should not exceed 1% by volume [63].

There are several common methods for reducing benzene.

The choice of the method by the enterprise depends on the technological scheme and the purposes of the processing. One of the simple solutions to the problem is to carry out reforming with continuous catalyst regeneration. This technology has several advantages such as high yield and quality of the resulting product and hydrogen-containing gas, sufficiently deep aromatization of raw materials, and production of reforming gasoline with improved environmental characteristics. Reforming with continuous regeneration is carried out at lower pressures, which entails positive aspects including a decrease in the volatility of the reformat and, consequently, a decrease in the saturated vapor pressure, as well as a decrease in the benzene content in the reformat by 20% relative to the technology with periodic regeneration.

A significant disadvantage of using the technology with constant regeneration is high cost. Therefore, enterprises are engaged in the improvement of the existing catalysts and development of new ones as well as methods for their regeneration. In addition, in the technology with periodic regeneration, an additional reactor with a circulating catalyst bed is used. In recent years, Russia has been the most frequent licensee of improved hardware design with improved technological modes.

Currently the existing refineries make use of two more major methods for reducing benzene in reformat, which were developed by the company UOP [64].

The first method is prefractionation. It consists in removing benzene and benzene-forming components from the feedstock due to reforming by increasing its boiling point to 100 ° C (Figure 1).

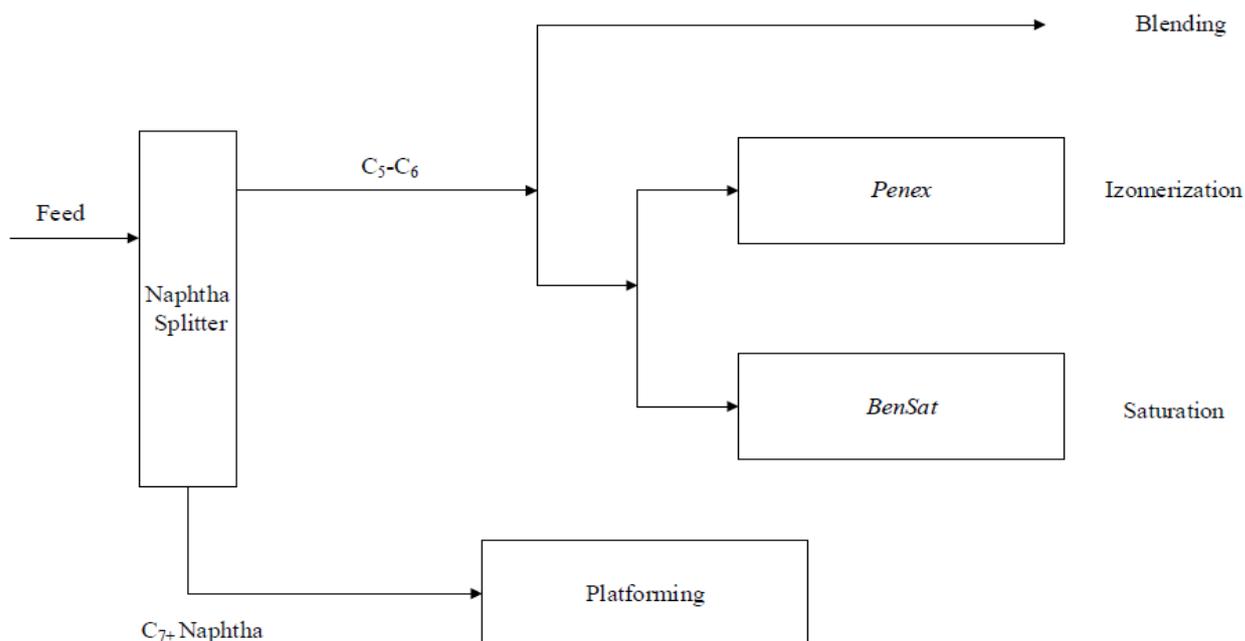


Fig. 1 - Scheme of obtaining a proportion of gasoline mixing with prefractionation [64]

However, because of using this method, the fractional composition of the reformate becomes heavier and a high content of the low-octane fraction of 70-100 °C is formed. Therefore, a negative aspect of the application of this method is formation of a straight-run fraction with a low octane number which exceeds the upper limits of benzene standard and which further requires high technology processing, involving additional investment.

The second method to reduce the concentration of benzene is postfractionation (Figure 2). It is based on the separation of the benzene-enriched light compounds from the reformate by rectification. To ensure that the concentration of benzene in the reformate does not exceed 1% by volume, it is necessary to maintain the end-boiling point of the distilled benzene-containing fraction at about 85 °C.

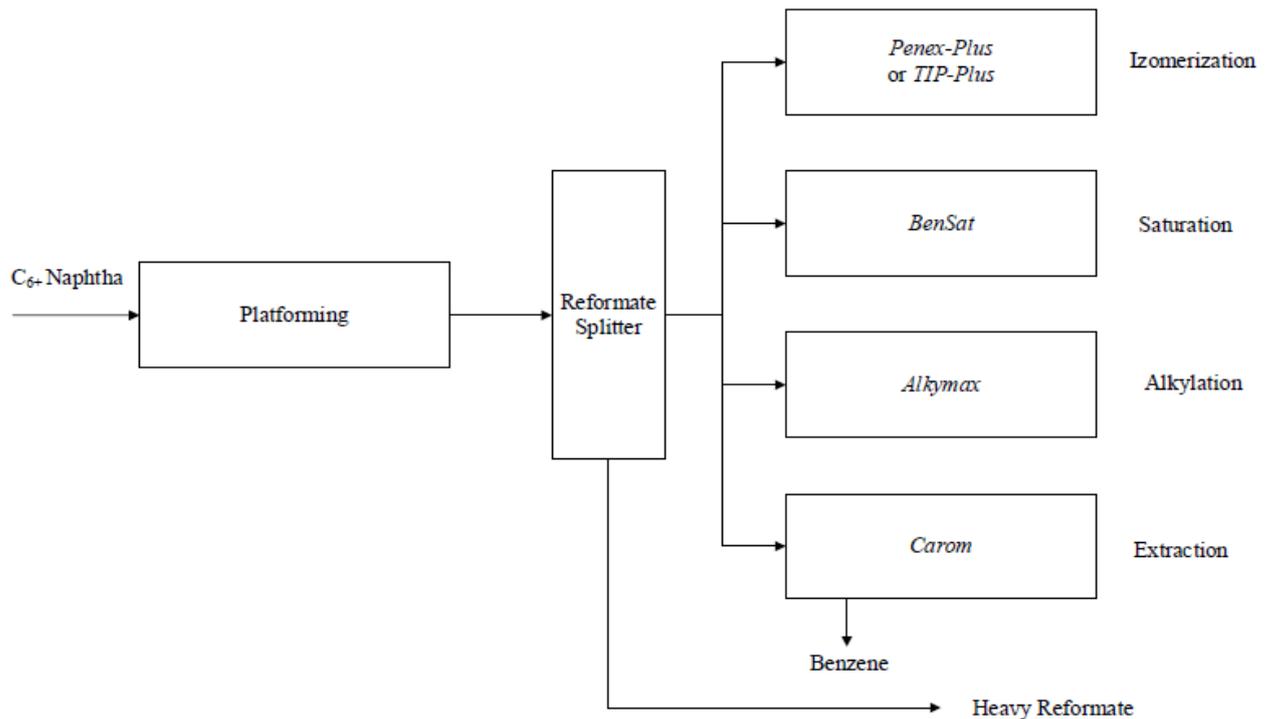


Fig. 2 - Scheme of gasoline separation using postfractionation [64]

The extracted benzene-containing fraction is inappropriate to use for compounding even low-octane gasoline due to the high benzene content. Therefore, in the future it is processed in one of the following ways [64]:

- extraction of benzene from catalysis;
- alkylation of benzene with olefins;
- hydrogenation of benzene to cyclohexane;
- hydroisomerization of benzene to methylcyclopentane.

Deciding which benzene-management strategy to use depends on the value of hydrogen, total gasoline, and premium gasoline. It also depends on the type of reformer, the feedstock processed in the reformer, and the refinery configuration. Finally, the benzene-management strategy depends on the target benzene level in the final amount of gasoline as well as the other blend-stocks used in making gasoline.

Two basic approaches may be used to reduce benzene from the reformer and thereby reduce the benzene content of the gasoline [65]:

1. Prefractionation. Options for processing the light naphtha are:

- Blending - Light naphtha can be blended directly into the gasoline pool if its benzene content is acceptable and if there is no need for additional octane.

– Isomerization - The octane of the light naphtha is increased, and the benzene is saturated.

– Saturation - Benzene is removed without upgrading the light naphtha octane. Octane lost in saturating benzene must be made up from other sources.

2. Postfractionation. Processing options are:

– Saturation - Benzene in the light reformate is saturated. Octane must be made up from other sources.

– Isomerization - Light reformate is processed together with light naphtha in an isomerization unit. The octane of the combined light naphtha and light reformate streams is increased, and benzene is saturated.

– Extraction - Benzene is removed from the reformate for sale as a petrochemical feed.

Let us consider several modern methods for reducing benzene in the production of commercial gasolines in more detail.

4 Components of commercial gasoline

The gasoline fractions (naphtha fractions) obtained from the atmospheric vacuum distillation unit have an octane number of about 60 units. In order to raise the octane number of fuels up to the level of 92 to 98 units, a number of technological processes are carried out at the refinery: isomerization, reforming, cracking and alkylation processes.

As feedstock for the isomerization unit, a light straight-run naphtha fraction (C₅-C₆) is used. Depending on the technology used, the process takes place at the temperature of 180 to 410 ° C in the presence of a platinum-containing catalyst. Isomerizate has the octane number of more than 90 units. It is sent to the compounding plant to produce commercial fuel. Since isoparaffins have sufficiently high antiknock characteristics, they are often used as blending fuel (high-octane fuel component).

The characteristic of paraffins is to resolve and oxidize easily in the presence of air under the influence of high temperature and pressure. This leads to the formation of peroxides, which contribute to the fuel knocking.

Isoparaffins have a higher resistance. They do not have time to form peroxides, they dissociate very slowly and burn. This delays the decomposition of normal paraffins.

Heavy gasoline fraction (naphtha fraction) from the atmospheric vacuum distillation unit is sent to the reformer. The increase of the octane number is due to the conversion of arenes and naphthenes to aromatic hydrocarbons. The process takes place in the presence of an aluminum-platinum-rhenium catalyst at a temperature of 500-530 ° C.

Feedstock passes through 3 - 4 reactors, in which conditions for the specific reaction are created. As a by-product, hydrogen is obtained, which is needed for hydrotreating and hydrocracking units. Riformat has a very high-octane number (100 and higher according to the research method) and is a valuable component of gasoline.

However, aromatic hydrocarbons contribute to the formation of carbon deposits in the engine, so their content in the finished fuel should not exceed 35%. The maintenance of benzene in gasoline is also regulated as it is poisonous, and during combustion forms even more dangerous substances for health.

During the cracking reaction, a lot of gaseous hydrocarbons are formed, while the maximum efficiency of the refinery is reached with the maximum gasoline output. For the conversion of light hydrocarbons (C3-C4) into a gasoline component, an alkylation unit is used. The reaction catalyst is sulfuric or hydrofluoric acid. The process runs at a lower temperature (0-10 ° C for sulfuric acid alkylation and 25-30 ° C for hydrofluoric alkylation). The octane number of the product obtained is about 95 units.

In the composition of alkylate, a significant proportion is isooctane (2,2,4-trimethylpentane), the octane number of which is 100, regardless of the method of determination (research or motor). This useful characteristic is used to reduce the difference between RON and MON of produced gasoline, which increases its consumer properties.

As a high-octane component of gasoline, methyl tert-butyl ether (MTBE) is also used. Its research octane number is 117 units, and the octane mixing number can

reach 135 units. Thanks to such great figures, an increase in the octane number of gasoline can be achieved by a small addition of MTBE. It is also low-toxic and contributes to a more complete combustion of fuel due to the oxygen content. Thus aromatic hydrocarbons have the greatest detonation resistance, and standard paraffins have the least. The rest hydrocarbons, which are part of automotive gasoline, occupy an intermediate position. To obtain gasoline with different detonation resistance, it is necessary to vary the hydrocarbon composition.

5 Compounding process

5.1 Blending technology

At the present moment there are the following methods of commercial gasoline compounding:

- circulation – blending tanks are used for gasoline production;
- gasoline production in apparatus equipped with mixing devices;
- blending inside pipes.

The circulation method of blending is the most frequent for the compounding production of commercial gasoline

A functional scheme of circulation blender is shown in Figure 3.

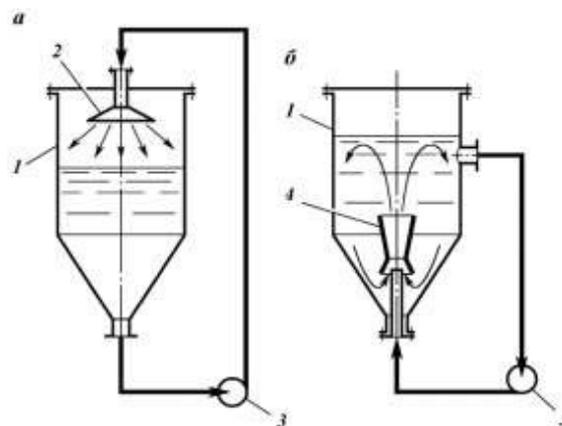


Fig. 3 - Schemes of circulation blenders

a) blending tank with circulation pump

b) blending tank with circulation pump and ejector

1 – reservoir; 2 – spray; 3 – circulation pump; 4 – ejector

The production of commercial gasoline with the aid of a circulation blender is as follows:

- the components involved in the mixing process come from process units to the tanks in the park, where the quality of these products is analyzed;
- then the recipe for the preparation of gasoline is calculated, from which the flow rate of each stream involved in the blending is determined;
- then the feedstock is supplied in the required quantities to the blending tank;
- the product prepared inside the tank is repeatedly circulated by means of a pump until the composition of the mixture is homogeneous;
- then the quality of the gasoline is analyzed.

An approximate scheme of commercial gasoline compounding is shown in Figure 4.

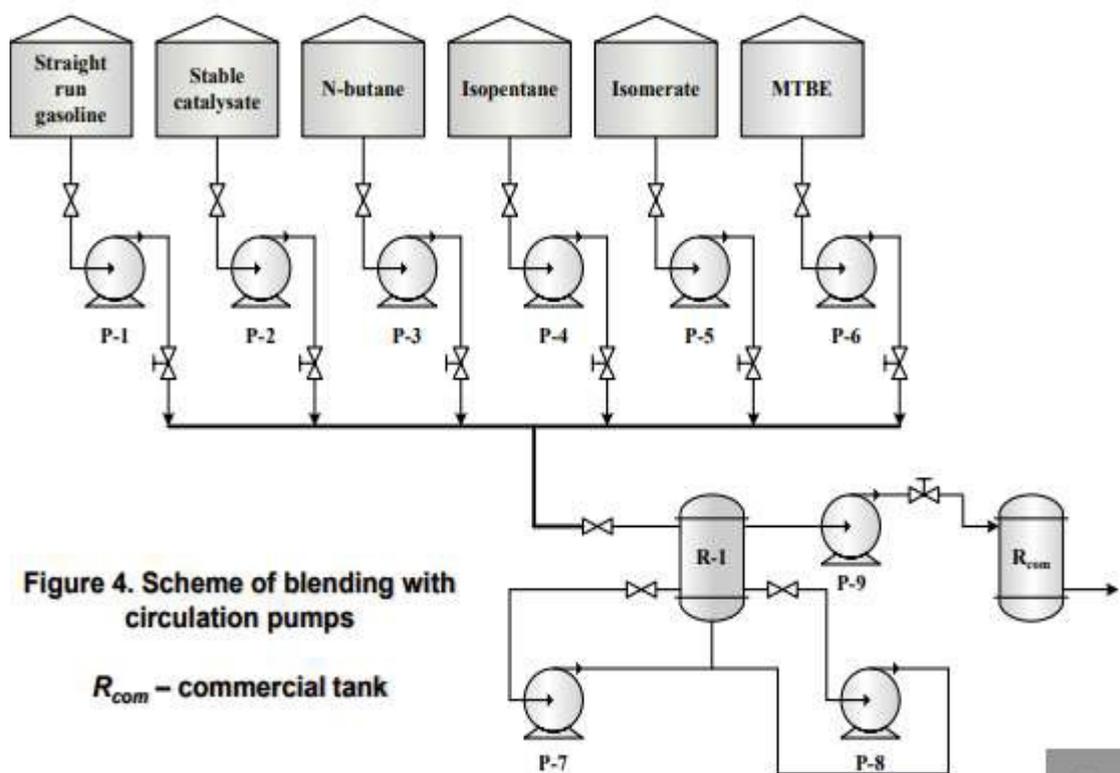


Fig. 4 - Technology of blending with circulation pumps

The feed streams enter the reservoir R-1 through the pumps, where they are blended.

The optimal circulation time for the preparation of commercial gasoline is three

hours.

When preparing, the order of injection of components into the tank is observed. The components are mixed in order of decreasing density.

When the circulation is complete, the product is settled for two hours, which ensures the removal of water and mechanical impurities from the gasoline.

Then the finished products are tested for quality.

4.2 Compounding gasoline installation

The gasoline compounding installation is modular in its design, in which the process equipment and the control point are located in one module of the block-box of the frame structure.

Installing the compounding of gasoline allows you to provide a specified ratio of several source components of gasoline in the preparation of gasoline of the required brand, as well as to involve in it the estimated amount of octane additive. The appearance of the gasoline compounding unit is schematically shown in Figure 5.

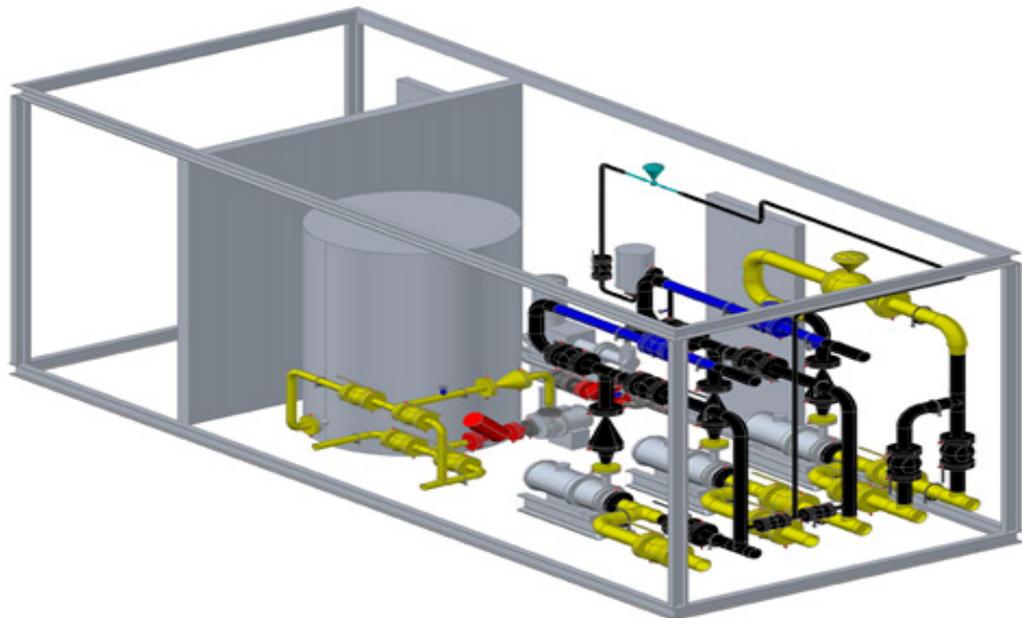


Fig. 5 - Compound gasoline compounding installation

The installation of compounding automobile gasoline is a prefabricated frame module with technological equipment installed inside it, tied with technological intra-module pipelines with instrumentation and automation equipment. The control point for the installation of compounding motor gasolines, to which the readings of tank level

gauges and volumetric gasoline flow meters are displayed, occupies part of the module. The point includes working and alarm lamps, frequency variators and installation pump control buttons. The control point is a room isolated from the environment and equipped with a system of forced ventilation. In addition, the installation includes non-modular equipment in the form of a static mixer and a system of inlet ventilation of the control point (air intake pipe, centrifugal fan and flow-through electric heater).

Automation tools and instrumentation devices used at the gasoline compounding unit provide the necessary and sufficient level of control over the basic parameters of the process mode, which, in turn, allows flexible control and maintenance of the quality indicators of the products obtained.