

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы				
Математическое моделирование процесса производства автомобильных бензинов				
УДК 665.633:519.876				

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2K51	Ларина Екатерина Евгеньевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения химической инженерии	Киргина Мария Владимировна	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент отделения химической инженерии	Чузлов Вячеслав Алексеевич	-		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Криницына Зоя Васильевна	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения общетехнических дисциплин	Белоевко Елена Владимировна	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения химической инженерии	Юрьев Егор Михайлович	к.т.н.		

Томск – 2019 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 18.03.02
«Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
нефтехимии и биотехнологии»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности.
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач.
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии.
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки (специальность) 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.) **Юрьев Е.М.**

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2К51	Лариной Екатерине Евгеньевне

Тема работы:

Математическое моделирование процесса производства автомобильных бензинов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 14.05.2019 г. № 3745/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	24.05.19 г.
--	--------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т.д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т.д.).</i>	Объект исследования – поточная схема производства автомобильных бензинов ТОО «ПНХЗ» г. Павлодар, включающая блок разделения легкой нефти, блок каталитического риформинга и изомеризации прямогонных бензиновых фракций, а также блок компаундирования товарных бензинов. Технология предназначена для получения автомобильных бензинов, соответствующих нормам пятого экологического класса.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(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).</i>	1 Литературный обзор 1.1 Современные технологии процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций 1.2 Современное состояние процесса каталитического риформинга бензинов 1.3. Компаундирование товарных бензинов 1.3.1 Методы расчета физико-химических характеристик компонентов смешения и товарных бензинов 1.3.2 Подходы к моделированию процесса приготовления автомобильных бензинов 2 Объект и методы исследования 2.1 Технологическая схема комплекса производства бензинов

	2.2 Схема компаундирования товарных бензинов 2.3 Модель процесса ректификации широкой бензиновой фракции 2.4 Математические модели процессов риформинга и изомеризации 2.5 Математическая модель процесса компаундирования товарных бензинов 3 Повышение эффективности процесса производства товарных бензинов с использованием метода математического моделирования 3.1 Исследование влияния состава перерабатываемого сырья на качество товарных бензинов 3.2 Рекомендации по улучшению качества перерабатываемого сырья 3.3 Рекомендации по улучшению свойств товарных бензинов
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Криницына Зоя Васильевна, к.т.н., доцент ОСГН ШБИП
Социальная ответственность	Белоеенко Елена Владимировна, к.т.н., доцент ООД ШБИП
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.01.19 г.
---	--------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Киргина М.В.	к.т.н.		14.01.19 г.

Консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОХИ ИШПР	Чузлов В.А.	-		14.01.19 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К51	Ларина Е.Е.		14.01.19 г.

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

Студенту:

Группа	ФИО
2К51	Лариной Екатерине Евгеньевне

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	Химическая инженерия
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Проведение оценки экономической эффективности исследования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Криницына Зоя Васильевна	Кандидат технических наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К51	Ларина Екатерина Евгеньевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2K51	Лариной Екатерине Евгеньевне

Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Химическая инженерия
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Тема ВКР:

Математическое моделирование процесса производства автомобильных бензинов.	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – процесс производства автомобильных бензинов. Рабочая зона – компьютерный класс. Область применения – нефтехимия.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	- "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) - Приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 17 декабря 2010 г. - СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. - ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». - ГОСТ Р 22.0.01-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	-Отклонение показателей микроклимата в помещении; -Недостаточная освещенность рабочей зоны; - Повышенное значение электромагнитного излучения и напряжения в электрической

	цепи; - Психофизиологические производственные факторы;
3. Экологическая безопасность:	Воздействие на атмосферу: недостаточно очищенные выбросы из вентиляционных труб и резервуаров, содержащие вредные вещества (дополнительная очистка, фильтрация) Воздействие на гидросферу: разлив компонентов бензинов или товарной продукции, их попадание в сточные воды, загрязненные дренажные воды (проходят очистку). Воздействие на литосферу: отходы в виде шлама от очистки трубопроводов, емкостей от нефти и нефтепродуктов (утилизация и захоронение промышленных отходов).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Перечень возможных ЧС: -пожар; -взрыв; -розлив продуктов. Наиболее распространенной ЧС является пожар.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ООД ШБИП ТПУ	Белоенко Елена Владимировна	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К51	Ларина Екатерина Евгеньевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 152 с., 26 рис., 64 табл., 53 источника, 3 прил.

Ключевые слова: математическое моделирование, компаундирование, риформинг, изомеризация, бензин, октановое число.

Объект исследования – комплекс производства автомобильных бензинов, состоящий из следующих блоков: разделения сырья, каталитического риформинга и изомеризации, компаундирования товарных бензинов.

Предметы исследования: количественный и качественный состав перерабатываемого сырья и компонентов бензинов; технологический режим блока разделения сырья; качество компонентов, производимых блоком каталитической переработки прямогонных бензиновых фракций; рецептуры смешения блока производства автомобильных бензинов.

Цель работы – оценить влияние состава и качества перерабатываемого сырья на продукты риформинга и изомеризации, а также свойства получаемых автомобильных бензинов, предоставить рекомендации по улучшению технологического режима и разработать оптимальные рецептуры автомобильных бензинов с учетом качества перерабатываемого сырья.

В процессе исследования был определен покомпонентный состав продуктов разделения сырья, каталитического риформинга и изомеризации; проведен анализ влияния состава сырья на качество бензинов; предложены рекомендации по корректировке технологического режима блока разделения сырья; с помощью методов математического моделирования исследованы свойства товарных бензинов и подобраны оптимальные соотношения потоков для рецептур смешения бензинов на исследуемом сырье.

Результаты исследования помогут повысить ресурсоэффективность процесса производства бензинов на предприятии и обеспечить соответствие продукта всем нормам и требованиям, содержащимся в регламентирующей документации.

Содержание

Введение.....	12
1 Литературный обзор	15
1.1 Современные технологии процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций.....	15
1.1.1 Катализаторы процесса изомеризации	17
1.1.2 Технологии процесса изомеризации	22
1.1.3 Отечественный и зарубежный опыт повышения эффективности процесса изомеризации	28
1.2 Современное состояние процесса каталитического риформинга бензинов	32
1.2.1 Катализаторы процесса риформинга бензиновых фракций	35
1.2.2 Технологии процесса каталитического риформинга	40
1.2.3 Методы снижения содержания бензола в риформате	47
1.3 Компаундирование товарных бензинов.....	51
1.3.1 Методы расчета физико-химических характеристик компонентов смешения и товарных бензинов.....	51
1.3.2 Подходы к моделированию процесса приготовления автомобильных бензинов	55
2 Объект и методы исследования	58
2.1 Технологическая схема комплекса производства бензинов.....	58
2.2 Схема компаундирования товарных бензинов	59
2.3 Модель процесса ректификации широкой бензиновой фракции	61
2.4 Математические модели процессов риформинга и изомеризации.....	64
2.5 Математическая модель процесса компаундирования товарных бензинов	68

3 Повышение эффективности процесса производства товарных бензинов с использованием метода математического моделирования	70
3.1 Исследование влияния состава перерабатываемого сырья на качество товарных бензинов	70
3.2 Рекомендации по улучшению качества перерабатываемого сырья	75
3.3 Рекомендации по улучшению свойств товарных бензинов	83
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	88
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	88
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	88
4.1.2 SWOT-анализ.....	89
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	92
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	92
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	93
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	94
4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	96
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	103
5 Социальная ответственность	108
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	108
5.2 Производственная безопасность	109
5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	110
5.3.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении	110
5.3.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	112

5.3.3 Повышенное значение электромагнитного излучения и напряжения в электрической цепи.....	112
5.3.4 Психофизиологические производственные факторы.....	114
5.3.5 Мероприятия по защите от опасных и вредных факторов	115
5.4 Экологическая безопасность.....	115
5.4.1 Воздействие на атмосферу	115
5.4.2 Воздействие на гидросферу	116
5.4.3 Воздействие на литосферу	116
5.4.4 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду .	117
5.4.5 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды и борьбы с загрязнениями	117
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	118
Заключение	121
Список использованных источников	123
Приложение А Дополнительные материалы к разделу 2	129
Приложение Б Дополнительные материалы к разделу 3	134
Приложение В Дополнительные материалы к разделу 4.....	151

Введение

Каждый третий житель Российской Федерации является владельцем автомобиля. Поэтому на сегодняшний день спрос на автомобильные бензины остается стабильным – данный вид топлива является широко востребованным потребителем продуктом, вне зависимости от экономической ситуации. Вопреки тому, что из-за роста налогов (повышение НДС с 18 до 20%) происходит рост цен на топливо, Россия по-прежнему числится среди государств с самым доступным горючим [1]. В Минфине утверждали, что были приняты меры для поддержания нефтеперерабатывающих заводов, а суть налогового маневра ведет к повышению эффективности отечественной переработки.

Несмотря на попытки модернизации отечественных НПЗ, РФ отстает в процессе переработки нефти. По мысли бывшего замминистра энергетики В. Милова, по сравнению с Европой, наши заводы не настроены на производство качественных светлых нефтепродуктов [2]. Также растут требования по вопросам экологической безопасности и охраны окружающей среды. В первую очередь ужесточение экологических норм ощущают на себе предприятия нефтеперерабатывающего профиля. Например, в России с 1 июля 2016 года был введен запрет на производство товарных автомобильных бензинов ниже 5-го экологического класса [3]. Это связано с тем, что Евро-5 содержит меньше примесей, поэтому использование данного топлива высокого стандарта приведет сокращению вредных выбросов в окружающую среду, а также увеличит эксплуатационные сроки двигателей. В связи с этим, НПЗ приходится модернизировать имеющееся оборудование и технологические режимы его эксплуатации, перераспределять сырье между установками, а также вводить дополнительные мощности для вторичной переработки нефти.

Но главной задачей является планирование и оптимизация процесса производства товарных бензинов, повышение качества продукции, соответствующей предъявляемым требованиям, и определение оптимальных

рецептур смешения автомобильных бензинов с учетом качества и количества перерабатываемого сырья.

В целях увеличения эффективности переработки нефти, а также улучшения количественных и качественных показателей выпускаемых нефтепродуктов наиболее ответственными являются несколько процессов, среди которых находятся процессы изомеризации и риформинга прямогонных бензинов, а основным и завершающим – процесс компаундирования [4].

В наше время, незаменимым инструментом для оптимизации и планирования процесса производства автомобильных бензинов является внедрение математических и программных алгоритмов и моделирующих систем, которые позволяют с точностью спрогнозировать и скорректировать технологический режим процесса, свойства производимой продукции, путем внесения поправок в состав сырья, либо же в рецептуры смешения. Рецептуры компаундирования компонентов, представляющих собой продукты процессов первичной и вторичной переработки нефти, имеют разные свойства и показатели качества [5]. Соблюдение требований к качеству товарных автомобильных бензинов, позволит избежать некондиционные партии, а моделирование процесса поспособствует его прогнозированию и внедрению в производство без лишних затрат.

Таким образом, очевидным становится тот факт, что эффективность работы нефтеперерабатывающих предприятий, а также количество и качество производимой продукции, напрямую зависит от возможности достоверно спланировать и внести нужные поправки в свойства производимых автомобильных бензинов, путем корректировки рецептур смешения.

Целью данной работы является создание математической модели процесса производства товарных бензинов, включающей стадии разделения сырья, а также риформинга и изомеризации прямогонных бензинов.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) Определить покомпонентный состав легкой и тяжелой нефти после разделения сырья в колонне-сплиттера. Провести анализ исследуемых составов на соответствие требованиям по ограничению компонентов, предъявляемых к полученным составам легкой и тяжелой нефти, регламентирующей документацией;
- 2) Определить покомпонентный состав риформата после процесса риформинга тяжелой нефти;
- 3) Определить покомпонентный состав изомеризата после процесса изомеризации легкой нефти;
- 4) Произвести прогнозный расчет свойств автомобильных бензинов, включая расчет рецептур смешения, при изменении состава перерабатываемого сырья;
- 5) Разработать рекомендации по корректировке режимов колонны разделения широкой бензиновой фракции, а также по оптимальным соотношениям потоков, направляемых на смешение товарных бензинов.

Объектом исследования в данной работе является процесс производства автомобильных бензинов. Предметом исследования – количественный и качественный состав перерабатываемого сырья и компонентов бензинов, а также рецептуры смешения товарных бензинов.

Результаты исследования могут быть использованы для улучшения процесса производства товарных бензинов и повышения ресурсоэффективности установки компаундирования, а также для создания оптимальных рецептур смешения автомобильных бензинов.

1 Литературный обзор

1.1 Современные технологии процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций

Ограничение содержания ароматических углеводородов, вызывает необходимость поиска альтернативных способов получения высокооктановых компонентов при производстве автомобильных бензинов. Одним из таких способов является изомеризация парафиновых углеводородов до высокооктановых разветвленных парафинов.

С каждым годом в мировом производстве происходит ужесточение требований к качеству товарных бензинов по эксплуатационным и экологическим характеристикам, потому что основная масса выбросов, воздействующих на окружающую среду и человек, приходится на отработанные газы автомобилей. В связи с этим качество выпускаемых автомобильных бензинов строго регламентируется в особенности по содержанию олефиновых и ароматических углеводородов, в частности, бензола, а также серосодержащих соединений в составе товарных автомобильных бензинов. Увеличение содержания этих веществ в топливе, приводит к увеличению их содержания в выбросах автотранспорта. Поэтому проблема снижения их содержания в автобензинах особенно актуальна и всегда остро стоит перед производителями.

В связи с вступлением в России введенного запрета на производство товарных автомобильных бензинов ниже 5-го экологического класса, ужесточились требования по содержанию серы, массовая доля которой не должна превышать 10 мг/кг, также ароматических углеводородов, объемная доля которых должна быть не более 35 об. %, в том числе бензола (не более 1 об. %), в которых базовым компонентом является риформат [6]. Поэтому основным путем решения проблемы является разбавление катализата риформинга высокооктановыми неароматическими компонентами. Для этого в современной нефтепереработке, при получении высокооктановых изокомпонентов автомобильных бензинов с пониженным содержанием

углеводородов ароматического строения, в их состав вовлекают алкилбензин, оксигенаты и изомеризат.

Процесс изомеризации давно реализуется нефтеперерабатывающей промышленностью. Его следует вести так, чтобы выход ароматических и олефиновых соединений был минимален, что может быть достигнуто путем правильного подбора катализатора, а также условий протекания процесса.

Важнейшим фактором для включения в схему переработки установки изомеризации является рост октанового числа в бензиновых фракциях и это позволяет уменьшить жесткость процессов риформинга.

Для нефтеперерабатывающих компаний, содержащих некоторое число установок риформинга и ресурсы пентан-гексановых фракций, для производства экологически чистых бензинов, возможно, в первую очередь изомеризовать низкооктановую (ИОЧ~60) гексановую фракцию [7]. Большое число катализаторов изомеризации достаточно чувствительны к соединениям серы. Следовательно, для того, чтобы отравления катализатора, необходимо произвести предварительную гидроочистку сырья.

При проведении процессов изомеризации необходимо наличие водорода, который образуется в процессе риформинга.

Ранние процессы изомеризации предназначались для получения изобутана при мягких температурных режимах (90–120°C) на хлористом алюминии из н-бутана. Для получения требуемого октанового числа товарных бензинов добавляли высокооктановые присадки, например, МТБЭ - метилтретбутиловый эфир, но он в больших количествах они ведут к падению мощности и увеличению затрат на производство. Для снижения использования присадок, в качестве компонента товарного автобензина используют продукт изомеризации пентан-гексановой фракции. В процессе изомеризации в присутствии бифункциональных катализаторов сырье изомеризуется в среде водорода [8]. Благодаря тому, что и-пентан и и-гексан имеет высокие испаряемость и октановые числа, они имеют высокую

ценность и являются высокооктановыми низкокипящими компонентами автомобильных бензинов.

С недавних пор на производствах активно развивают и внедряют процесс изомеризации гептановой фракции. Это ведет к тому, что внедрение установок для переработки углеводородов C_7 , способствует выпуску высокоэкологичных бензинов, соответствующих пятому классу качества. Сведений о данном процессе и промышленных установках еще очень мало, но следует отметить, что существует необходимость в разработке активного и селективного катализатора для процесса изомеризации гептановой фракции, потому что использование в процессе изомеризации C_7 катализаторов на основе сульфатированного диоксида циркония, которые применяют для переработки пентан-гексановой фракции, приводит к росту побочных реакций крекинга из-за высокой кислотности катализатора.

1.1.1 Катализаторы процесса изомеризации

Рассмотрим несколько типов катализаторов. В настоящее время процессы изомеризации проводят с помощью бифункциональных катализаторов, которые представляют собой каталитические системы с кислотной и дегидрирующей активностями и состоят из металлического компонента, в основном платины, и промотора на носителе.

Каталитические свойства систем металл-носитель определяются не только металлом, но и стабилизирующей ролью носителя, обусловленной химическим взаимодействием, а именно характером его взаимодействия с металлом, а также природой носителя. В основном носителями являются алюмосиликаты, оксиды циркония и алюминия (например, Al_2O_3).

Промышленные катализаторы изомеризации делятся на несколько типов, в зависимости от температурных режимов. В связи с этим процесс изомеризации классифицируют тремя видами [9]:

— «высокотемпературная изомеризация» при температурах от 350 °C до 430°C;

- «среднетемпературная изомеризация» при температурах от 220 °С до 310 °С;
- «низкотемпературная изомеризация» при температурах от 110 °С до 210 °С.

Высокотемпературная изомеризация проводится на алюмоплатиновых фторированных или хлорированных катализаторах, на которых достигаются самые высокие октановые числа изомеризата, но они при этом имеют свои недостатки, например, высокую чувствительность к примесям влаги и серосодержащих соединений, а также высокие скорости побочных реакций, способствующих образованию низкооктановых продуктов.

Среднетемпературная изомеризация осуществляется на цеолитных катализаторах и имеет ряд преимуществ, к которым относят отсутствие постоянных сточных вод, вредных выбросов в атмосферу и коррозионно-активных веществ в реакционных средах, а также простоту технологии.

Низкотемпературную изомеризацию в основном проводят на оксиде алюминия, промотированном хлором и на сульфатированных оксидах металлов. Их применение избавляет от вышеуказанных недостатков и увеличивает детонационную стойкость получаемых продуктов, но имеет жесткие требования к качеству перерабатываемого сырья.

Далее подробно рассмотрим преимущества и недостатки всех типов катализаторов.

Цеолитные катализаторы способны к полной регенерации в реакторе установки изомеризации (межрегенерационный период около двух трех лет) и обладают высокой устойчивостью к примесям и каталитическим ядам, такие как вода, азот и сера, которые отравляют сырье. Они представляют собой металл – платину, нанесенный на цеолит – морденит.

Из всех известных цеолитных катализаторов можно выделить катализатор HYSOPAR, который на мировом рынке является наиболее прогрессивным и по своей устойчивости к действию каталитических ядов в сырье значительно превосходит все остальные цеолитные катализаторы [10].

Однако цеолитные катализаторы имеют самую маленькую активность среди всех катализаторов изомеризации, существующих в настоящее время. Также среди недостатков низкие октановые числа у получаемого изомеризата из-за высокой температуры процесса, что увеличивает затраты на эксплуатацию цеолитных катализаторов.

Самой высокой изомеризирующей способностью для переработки пентан-гексановой фракции обладают катализаторы на основе хлорирующей окиси алюминия. Они представляют собой металл – платину (Pt), диспергированный на хлорированном оксиде алюминия (Al_2O_3). Продолжительность рабочего цикла на один реактор около пяти лет.

На алюмоплатиновых катализаторах достигаются самые высокие октановые числа, однако, в ходе изомеризации происходит потеря хлора, вследствие чего их активность снижается. Поэтому для поддержания высокой активности катализатора необходимо непрерывное введение в сырье хлорорганических веществ, например, таких как хлориды углерода - CCl_4 , C_2Cl_4 . Отсюда газ от органических хлоридов требуется промывать щелочью в специальных скрубберах. Кроме того, для компенсации потерь хлора требуется непрерывная доставка значительного количества хлорорганических соединений.

Следует также отметить, что данный тип катализаторов имеет еще ряд недостатков, например, чувствительность к действию каталитических ядов, поэтому требует обязательную предварительную гидроочистку и осушку сырья, чтобы избавиться от серы, азота и воды. Кроме того, они почти неспособны к регенерации. Это всё приводит к тому, что при использовании катализатора данного типа, растут капитальные затраты.

Среди всех катализаторов на основе хлорированной окиси алюминия следует выделить ATIS-2L – катализатор компании AXENS [11]. Он обладает более высокой активностью, меньшим на 10 % содержанием платины и низкой насыпной плотностью.

Третий тип катализаторов – это катализаторы, содержащие сульфатированные оксиды металлов. Они имеют ряд преимуществ, так как сочетают в себе основные достоинства низкотемпературных и среднетемпературных катализаторов. По активности они превосходят цеолитные и приближаются к алюмоплатиновым катализаторам, также устойчивы к действию каталитических ядов и способны восстанавливать активность при регенерации. Продолжительность межрегенерационного периода составляет два-три года, а без предварительной гидроочистки – всего один год.

Однако катализаторы, содержащие сульфатированные оксиды металлов, всё же имеют единственный недостаток – необходимо обеспечивать более высокое соотношение водорода к сырью, для этого на компрессор следует подавать циркулирующий водородсодержащий газ и применять сепаратор, чтобы выделять его из изомеризата.

Большой интерес получили катализаторы и в виде платины, нанесенной на сульфатированный оксид циркония ($\text{Pt/ZrO}_2\text{-SO}_4$). Среди катализаторов данного типа следует отметить катализатор СИ-2, имеющий высокую активность и сероустойчивость, т.е. при необходимости процесс можно проводить без предварительной гидроочистки сырья, но в этом случае происходит снижение октанового числа изомеризата. Также на этом катализаторе эффективно гидрируется значительное количество бензола.

Также следует выделить катализатор $\text{Pt/WO}_3\text{-ZrO}_2$, имеющий высокую активность и селективность [12]. Это легко объясняется тем, что атомы водорода обладают достаточно быстрой поверхностной диффузией, поэтому имеют способность превращаться в протоны и гидрид-ионы, увеличивая при этом селективность и активность катализатора.

Существует еще несколько видов катализаторов. Катализатор изомеризации н-гептана на основе оксида молибдена. Этот катализатор обладает высокой устойчивостью к соединениям серы и не требует

предварительной гидроочистки сырья, однако из-за низкой кислотности данный катализатор имеет низкую активность в реакциях изомеризации.

Жидкофазные катализаторы (это ионные жидкости, изготавливаемые на основе расплава солей) просты в изготовлении и использовании, имеют высокую эффективность в процессах переработки углеводородов, в том числе и в изомеризации. При использовании жидкофазных катализаторов в процессе изомеризации необходима секция для разделения продуктов реакции и ионной жидкости. Данный вид катализатора можно использовать при изомеризации н-гептана, но избирательность процесса значительно понижается из-за протекания параллельных реакций крекинга и диспропорционирования, которые приводят к образованию бутана, пентана и гексана, а также высокомолекулярных углеводородов (C_8 - C_{12}).

Галогенированные глиноземные катализаторы получили широкое распространение в изомеризации фракций C_5 - C_6 . Их недостаток - низкая устойчивость к следам серы, азота и влаги. Содержание серы и воды в сырье и водороде должно быть менее 1 мг/кг, а максимальное содержание азота - 0,1 мг/кг [13]. Эти требования обуславливают необходимость не только глубокой гидроочистки, но и сверхтонкой сушки сырья и водорода, а также требуется непрерывная доставка значительного количества органических соединений хлора, что вызывает повышенную коррозию оборудования и необходимость утилизации кислотных отходов. Основным недостатком хлорированных катализаторов при гептан-фракционной изомеризации является их высокая крекирующая активность.

Не так давно катализатор, представляющий собой вольфрамсодержащий диоксид циркония, привлек внимание исследователей как перспективный материал для производства твердых кислотных катализаторов линейной изомеризации парафинов.

Наиболее активная форма диоксида циркония - тетрагональная. Он может быть преобразован в моноклинную структуру в случае спекания оксида при высокой температуре. Вольфрамовые частицы стабилизируют

кристаллический диоксид циркония в тетрагональной форме и тем самым предотвращают спекание.

Исходя из различных исследований и испытаний, катализаторы изомеризации, используемые для парафиновых углеводородов фракций C_5 - C_6 , оказались неэффективными для изомеризации фракции C_7 из-за высокой крекирующей активности при изомеризации н-гептана. Но стало известно, что катализаторы изомеризации C_7 -углеводородов должны обладать высокой кислотностью и дегидрирующей способностью, поэтому они должны быть бифункциональными.

1.1.2 Технологии процесса изомеризации

Смысл процесса изомеризации заключается в преобразовании низкооктановых малоразветвленных парафинов нормального строения в более разветвленные - изопарафины, октановые числа которых имеют более высокие значения.

На изменения октанового числа прямое влияние имеет температура, поэтому, чтобы получить более разветвленные углеводороды и повысить октановые числа изомеризата, следует снижать температуры, потому что при повышении температуры ускоряются процессы гидрокрекинга, что ведет к закоксовыванию катализатора. Влияние температуры на октановое число изомеризата представлено на рисунке 1.1.

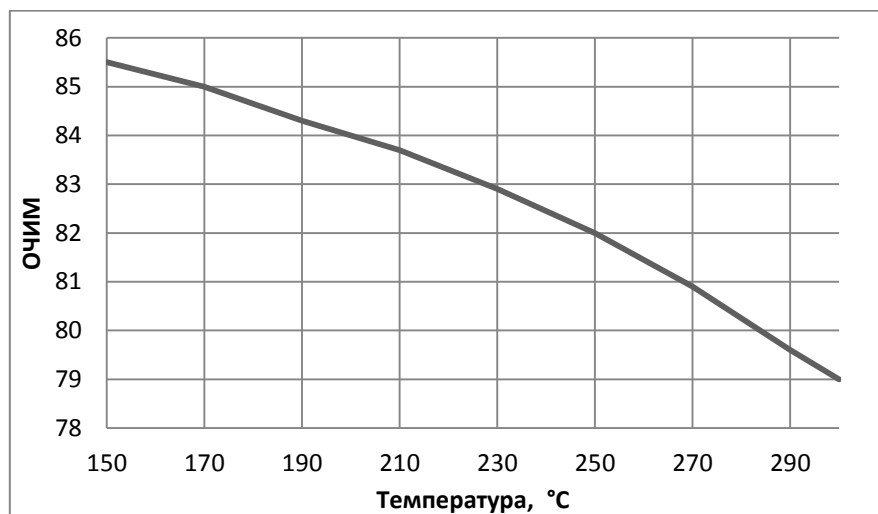


Рисунок 1.1 - Влияние температуры на октановое число изомеризата [14].

Чем ниже температура процесса, тем большая глубина изомеризации достигается „за проход". Для полного превращения исходного сырья процесс следует осуществлять по схеме с рециркуляцией непревращенных углеводородов. Первым типом классификации технологий изомеризации является классификация по аппаратному оформлению [14]:

- 1) «за проход»;
- 2) с рециклом н-пентана;
- 3) с деизогексанизацией и рециклом гексанов;
- 4) с рециклом гексанов и н-пентана.

Далее будут рассмотрены несколько основных отечественных и зарубежных технологий процесса изомеризации.

С давних пор достигла известности отечественная технология «ИЗОМАЛК-2», которая по-прежнему является уникальной российской разработкой в области изомеризации [15].

Она разработана для изомеризации пентан-гексановых фракций и уже давно эксплуатируется не только в России, но и за рубежом. Данная технология основана на применении широкоизвестного низкотемпературного катализатора изомеризации СИ-2, свойства которого были рассмотрены выше. Компания ООО НПП «Нефтехим» сама занимается разработкой и выпуском катализаторов данного типа.

Высокая активность и устойчивость к нарушениям технологического режима и проскокам каталитических ядов позволяет эксплуатировать катализатор длительное время без регенерации. Максимальный срок эксплуатации без регенерации катализатора СИ-2 был достигнут на установке ООО «КИНЕФ» и составил целых 13 лет.

В настоящее время технология изомеризации Изомалк-2 и катализатор СИ-2 используется на 15 промышленных установках: в России, Украине, Румынии, Индии, Китае и на ближнем востоке. Кроме того, ведется проектирование и строительство еще 12 установок в России, КНР и

Португалии. Поставка катализатора осуществляется только НПП «Нефтехим», а производство осуществляется в Нижнем Новгороде.

Реакторный блок «Изомалк-2» включает один или два реактора с промежуточным охлаждением газопродуктового потока.

Технологическая схема установки зависит от состава сырья. Данная технология позволяет перерабатывать пентан-гексановые фракции со значительным количеством бензола (до 5-8 %) и углеводородов C_7 до 10% с применением специальных технических решений.

Ниже на рисунках 1.2-1.5 приведены схемы изомеризации по технологии «Изомалк-2» на катализаторе СИ-2, отличающиеся требованиями по октановому числу.

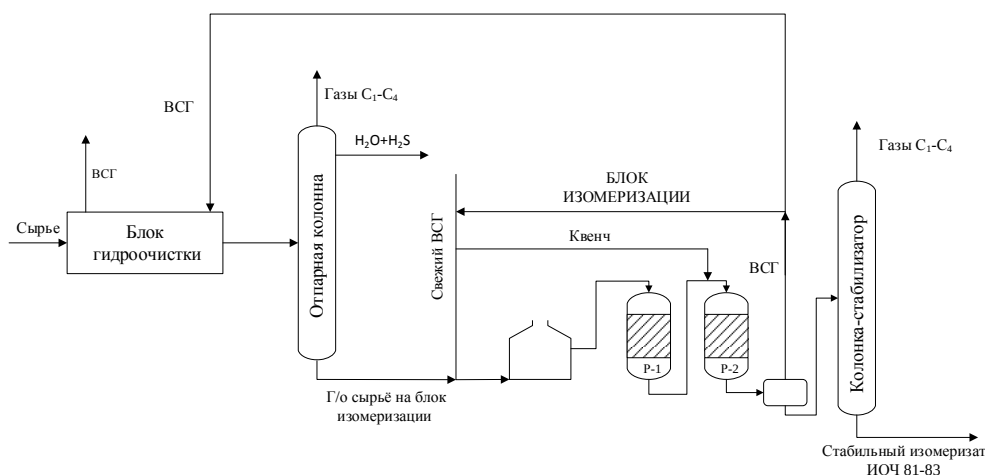


Рисунок 1.2 – Блок-схема установки изомеризации «за проход»

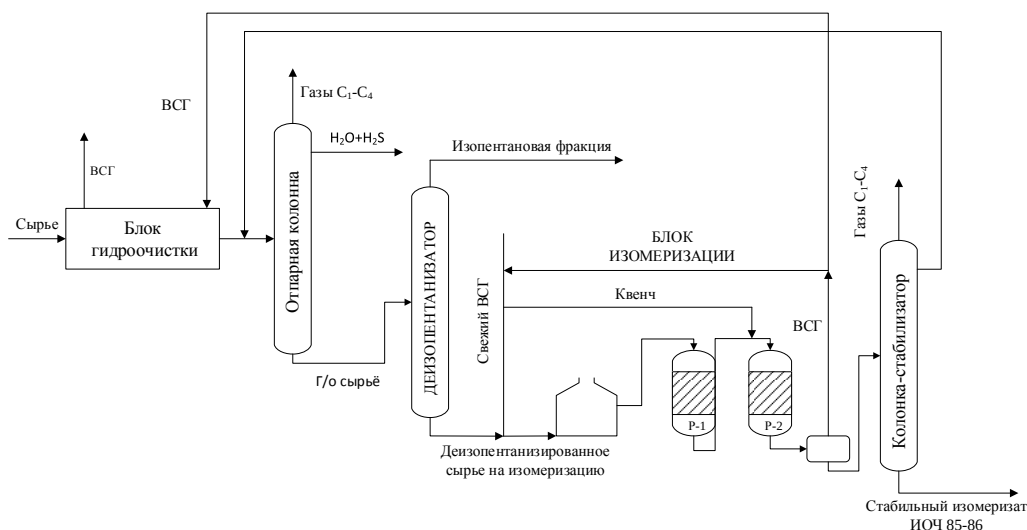


Рисунок 1.3 – Блок-схема установки изомеризации с рециклом н-пентана;

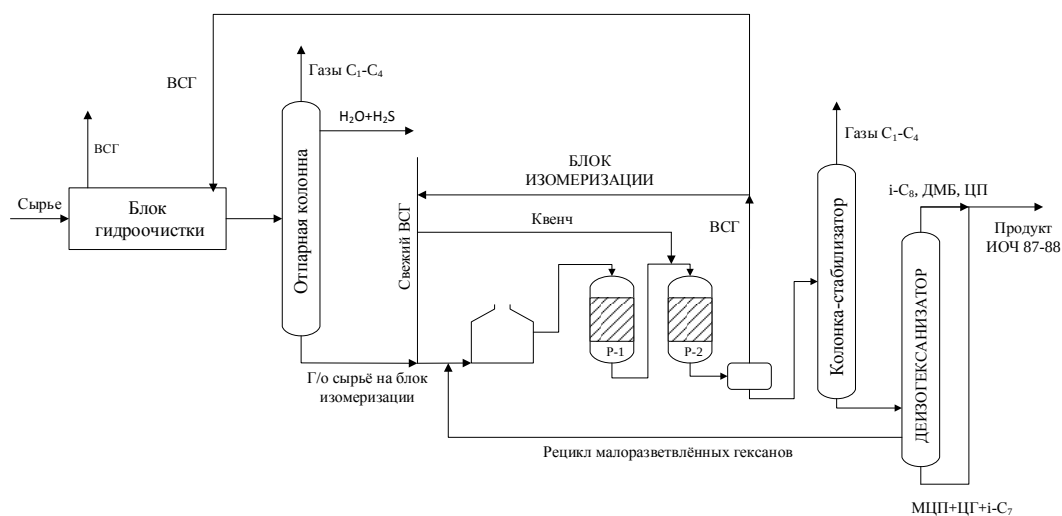


Рисунок 1.4 – Блок-схема установки изомеризации с деизогексанизацией и рециклом гексанов;

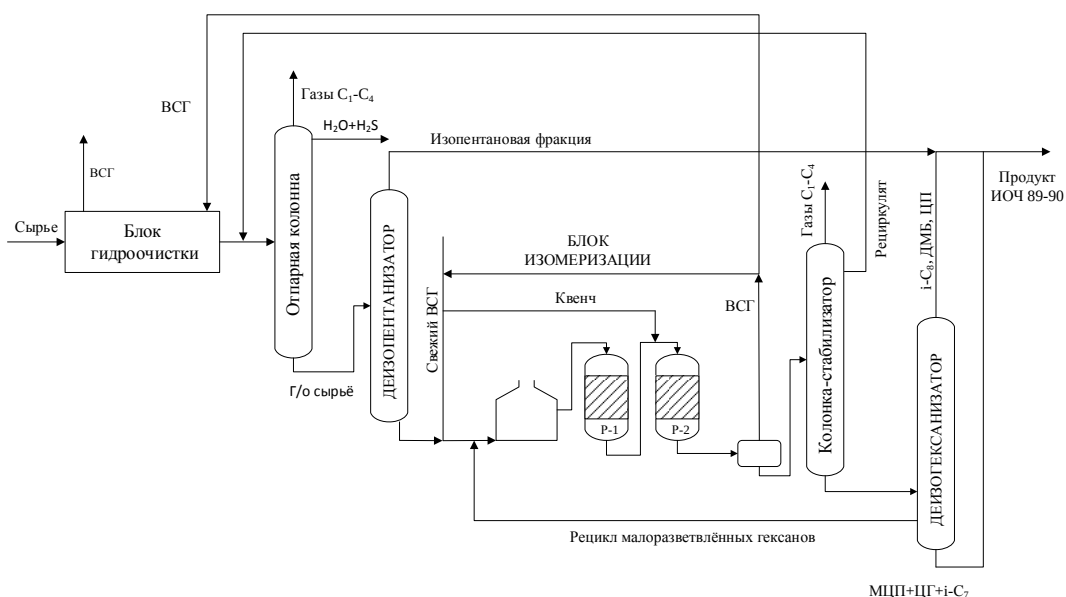


Рисунок 1.5 – Блок-схема установки изомеризации с рециклом гексанов и н-пентана.

Осенью 2010 свою первую работу по данной технологии года начала крупнейшая установка изомеризации легких нефтяных фракций «Изомалк-2» на Омском НПЗ. Установка признана крупнейшей в России с мощностью 800

000 тонн изомеризата в год и входит в тройку самых мощных установок такого типа в мире. Выпускаемое на данном заводе автомобильное топливо полностью соответствует стандартам Евро-5.

На механизмы превращения углеводородного сырья также влияет применение различных типов катализаторов. В зависимости от применяемого катализатора изменяется механизм превращения углеводородного сырья. Для увеличения длительности его работы, процессы изомеризации ведут под давлением в атмосфере водорода.

Рассмотрим подробнее второй вид классификации технологий изомеризации - по типу катализатора.

В технологической схеме процесса на цеолитных катализаторах должны присутствовать трубчатые печи либо иные огневые подогреватели, чтобы нагреть газовую смесь сырья до температуры реакций изомеризации [16]. Вторым критерием в данных схемах является высокое отношение водорода к углеводородному сырью ($H_2 : CH$), потому что водород нужен не только для реакций изомеризации, но и для гидроочистки и деароматизации сырья. Поэтому в схему процесса входит компрессор для подачи циркулирующего водородсодержащего газа и сепаратор для отделения ВСГ (рисунок 1.6).

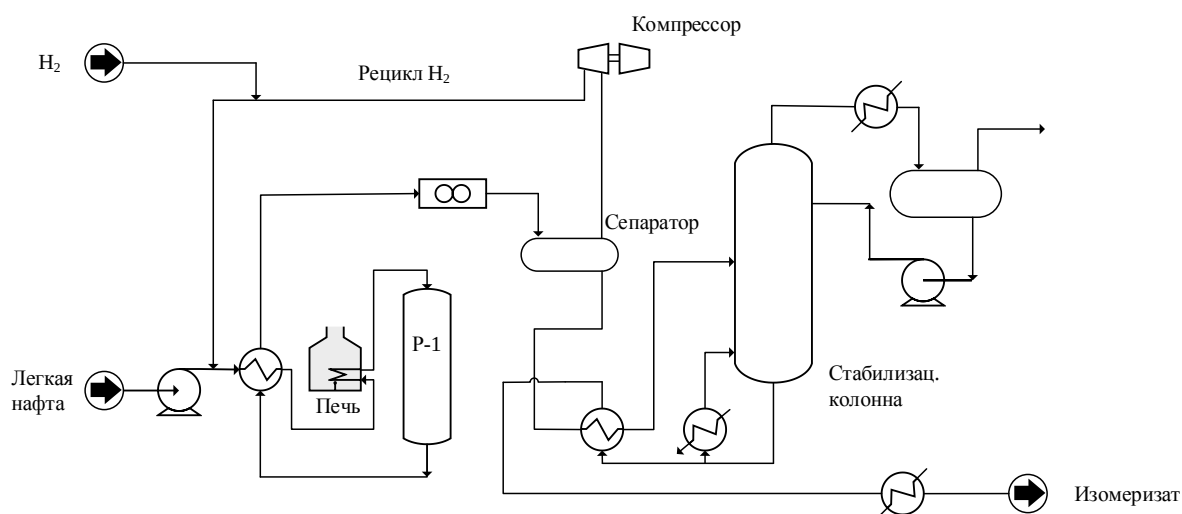


Рисунок 1.6 - Схема процесса изомеризации на цеолитных катализаторах [17]

Как мы уже выяснили, в процесс изомеризации с катализаторами на основе хлорированной окиси алюминия, постоянно требуется подача хлорсодержащих соединений в сырье и водорода. Также схема процесса содержит в себе аппараты для предварительной гидроочистки и осушки сырья и скруббер для щелочной промывки от хлоридов (рисунок 1.7).

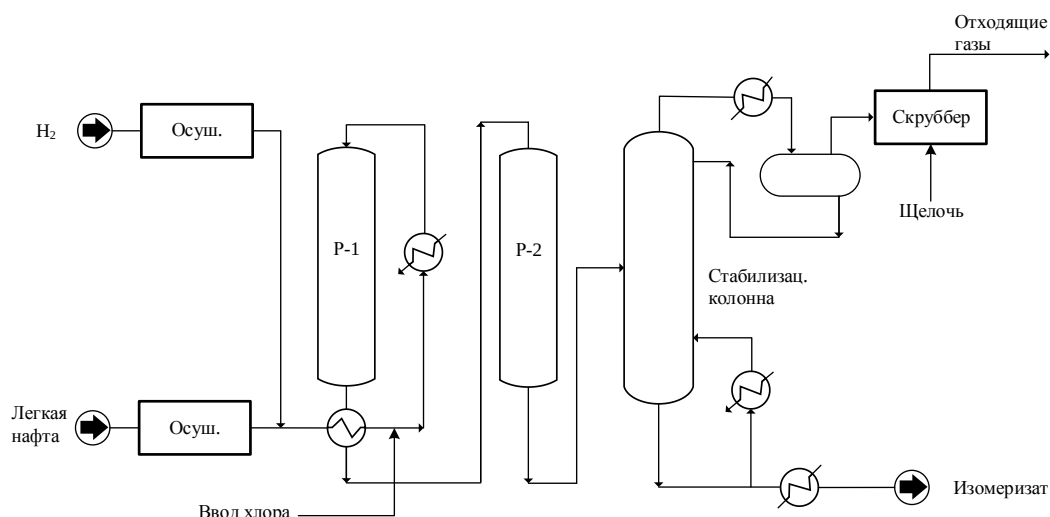


Рисунок 1.7 - Схема процесса изомеризации на хлорированных катализаторах [17]

Схема процесса изомеризации на катализаторах, содержащих сульфатированные оксиды металлов, отличается от схемы на цеолитных катализаторах лишь отсутствием печи. Как и в случае с цеолитными катализаторами, требуется компрессор для подачи циркулирующего ВСК (рисунок 1.8).

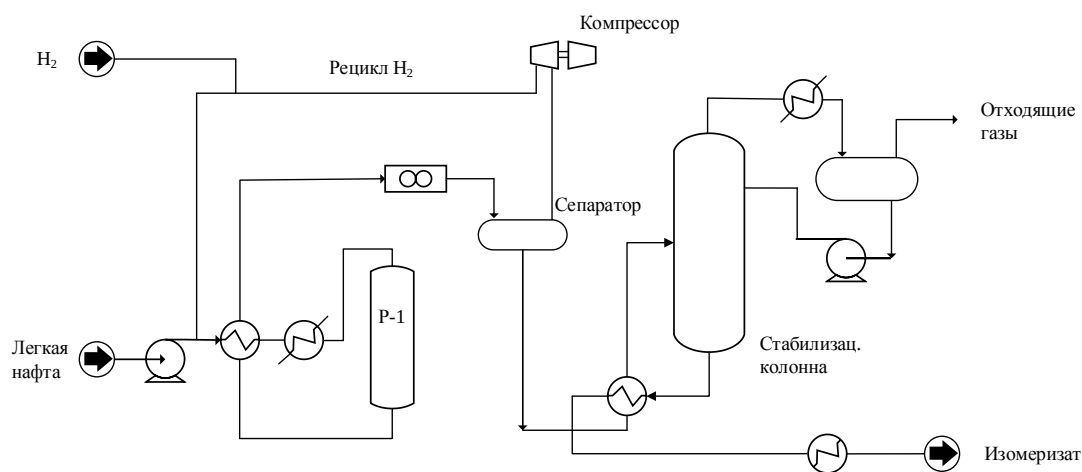


Рисунок 1.8 - Схема процесса изомеризации на катализаторах, содержащих сульфатированный оксид циркония [17]

Схемы для проведения процессов изомеризации в основном аналогичны, технологии отличаются друг от друга благодаря применению различных температурных режимов и эксплуатационных характеристик катализаторов, которые были рассмотрены в разделе выше.

Однако есть возможность дополнять ту или иную схему различными колоннами, например, деизопентанизации, деизогексанизации и другими. Делается это для того, чтобы иметь возможность влиять на октановое число целевого продукта путем использования рециклов, предварительной очистки сырья от изомеризованных углеводородов и так далее. В зависимости от применяемой схемы производства, октановое число товарного изомеризата может меняться в довольно широких пределах. Например, для схемы «за проход» можно получать изомеризат с октановым числом около 80, для схем с применением предварительной деизопентанизации сырья и рециркуляцией непрореагировавших веществ октановое число может достигать уже 90-92 пунктов.

1.1.3 Отечественный и зарубежный опыт повышения эффективности процесса изомеризации

В наше время процесс изомеризации развивается с каждым днем. В мире появляются все новые и новые технологии. Каждый производитель по своему оптимизирует процесс, стремится сделать его более эффективным и экономически выгодным.

За последние 10 лет в России введено в эксплуатацию 18 новых установок изомеризации C_5 - C_6 фракций, столько же находится на разных стадиях проектирования и строительства. Однако не все проблемы НПЗ решаются этим строительством.

Как говорилось ранее, основным разработчиком данного процесса в России является ООО «НПП Нефтехим». Научно-производственное предприятия представляет на рынке технологии «Изомалк» с первой по четвертую, каждый раз модернизируя ее под новые требования. Также для

каждой усовершенствованной технологии улучшают катализаторы для повышения эффективности процесса изомеризации.

Например, технология «Изомалк-3» - изомеризации нормального бутана в изобутан основана на многолетнем опыте ООО "НПП Нефтехим" в области изомеризации легких парафиновых углеводородов. Основа процесса Изомалк-3 – сульфатированный оксидный катализатор СИ-3, обладающий высокой устойчивостью к действию микропримесей серы, и способный эксплуатироваться без предварительной гидроочистки бутановой фракции. Высокая устойчивость катализатора к микропримесям каталитических ядов обеспечивает более длительный межрегенерационный период. Кроме того, отсутствие агрессивных реагентов снижает коррозию оборудования и полностью исключает образование отходов требующих утилизации.

Данная технология успешно внедрена на 3 нефтеперерабатывающих заводах в Китае. Еще 1 установка находится в стадии строительства.

Технология «Изомалк-3» на катализаторе СИ-3 обладает важными преимуществами по сравнению с технологиями, использующими хлорированные катализаторы [15]:

- не требуется подача хлорсодержащих реагентов и, соответственно, отсутствует секция щелочной очистки сухого газа;
- ввиду отсутствия агрессивных реагентов не требуется применение коррозионно-стойких материалов и отсутствуют отходы, требующие утилизации или захоронения;
- катализатор устойчив к проскокам серы, азота и воды, технологические нарушения не приводят к безвозвратной потере активности, что позволяет эксплуатировать его без предварительной гидроочистки сырья.
- высокая устойчивость катализатора к микропримесям каталитических ядов обеспечивает длительный межрегенерационный период, а его способность к регенерации - срок службы не менее 8 лет.

Еще одной из известных технологии в настоящее время является технология «Peton» для процесса изомеризации углеводородов C_5 - C_6 .

Лицензиаром данной технологии является ООО «Пентон» в городе Уфа. Она направлена на максимальное увеличение бензина октанового числа путем создания оптимальных условий работы катализатора и на снижение потребления энергии.

Технология «Peton» имеет ряд преимуществ, например, позволяет получать фракцию изогексана с ОЧ до 93-94. Кроме того, благодаря изомеризации легких бензиновых фракций вторичного происхождения данная технология позволяет вовлекать низкооктановую бензиновую фракцию (к примеру, рафинированное масло) в производство продукции по стандарту Евро-5. Имеет маленький удельный расход энергии на фракционирование Срок окупаемости не более 0,5 года.

ООО «НПП Нефтехим» провел обширные исследования сырьевой и производственной базы ряда НПЗ. По результатам исследований сделан вывод, что эффективность производства высокооктановых автобензинов класса К5 (Евро-5) значительно повышается при выделении из прямогонного бензина С₇-фракции (70-105°С) и направления ее на установку изомеризации С₇-фракции [15].

В результате многолетних исследований и экспериментов ООО «НПП Нефтехим» разработаны катализатор и технология, позволяющие получать высокооктановый продукт – изомеризат из низкооктановой фракции С₇-углеводородов (фракции 70-105°С). Разработанная технология изомеризации получила название «Изомалк-4». Данная технология прошла опытную и опытно-промышленную проверку и не имеет аналогов в мире. В 2017 году технология изомеризации С₇-фракции «Изомалк-4» получила статус Национального проекта.

В основе данной технологии лежит уникальный катализатор СИ-4, который обладает высокой селективностью, стабильностью и устойчивостью к ядам. Изомеризации гептанов по технологии «Изомалк-4» проводят при температурах от 160 °С до 200 °С.

По технологии «Изомалк-4» подготовка сырья осуществляется на стандартном блоке гидроочистки и может быть реализована либо путем модернизации установок, либо путем нового строительства.

Главным отличием данной технологии комбинированной переработки является выделение C_7 -фракции и ее изомеризация на отдельной установке по разработанной ПАО «НПП Нефтехим» технологии. Первую установку в России по технологии Изомалк-4 планируется построить к 2020 году.

Таблица 1 – Данные патентования взаимных установок изомеризации гептановой фракции

Страна-заявитель		Страна патентования						Количество патентов		
		Япония	Нидерланды	США	Россия	Италия	Франция	Евросоюз	Общее	Националь-ное
Япония		1						1	2	1
Нидерланды					1			1	2	-
США				4	1			3	8	4
Россия					4				4	4
Италия				1	1				2	-
Франция							2		2	2
Количество патентов	Общее	1	-	5	7	-	2	5	20	11

В настоящее время ведутся широкие исследования по разработке катализаторов для процесса изомеризации гептановой фракции. Исходя из данных патентования взаимных изобретений (таблица 1), можно сказать, что крупнейший рынок продуктов технологии изомеризации C_7 -углеводородов и подбор катализатора для процесса принадлежит европейским странам, России и США. Эти две страны являются наиболее активными в разработке новых решений. Они подавали заявки на патенты на изобретения в национальные патентные ведомства по 4 раза каждый.

Италия разрабатывает катализатор на основе оксида металла III-IV групп (в основном алюминий и цирконий, чаще - сульфатированный диоксид циркония).

Дания патентует катализатор на основе ионной жидкости с солью металла в качестве добавки или без нее.

Компании Франции предлагают катализатор на основе оксида алюминия с пропитанным фосфором и нитридом вольфрама.

Разработки в США более разнообразны: наряду с изомеризацией C₇-C₈-фракций на таких известных катализаторах, как платина на основе хлорированного и фторированного оксида алюминия (RU №2012395, US №3078323), проводятся научные исследования по созданию катализаторов на основе сульфатированного оксида циркония (Россия и Италия). Повышение прочности и активности гранул катализатора, достигается внедрением таких металлов, как Fe, Mn, Co (EP №0408318), Ni, Co, Mo, Cu (US №5866748), Mn, Ni, Fe (EP №1002579).

Катализаторы, содержащие углеводородный заместитель, благородные металлы VIII группы на соединениях алюминия, либо на γ -Al₂O₃, описаны в патенте Нидерландов.

В Японии ведется разработка катализатора на основе платины и вольфрамированного диоксида циркония. США также имеют патенты на вольфрамированный диоксид циркония (US № 5382730, № WO 95/02262). Они используют эту композицию в качестве катализатора для раскрытия циклических углеводородов.

1.2 Современное состояние процесса каталитического риформинга бензинов

В разных странах выпускаемые автомобильные бензины существенно отличаются друг от друга по составу. Это можно объяснить отличиями не только в национальных стандартах, но и соотношением мощностей НПЗ по производству различных компонентов бензинов.

Несмотря на ужесточение экологических требований к выпускаемым бензинам, процесс каталитического риформинга все еще является одним из ведущих в современной переработке нефти. Ограничения по содержанию ароматических соединений, приводят к уменьшению доли риформата, но, несмотря на это, продолжается рост мощностей данного процесса благодаря увеличению общих мировых объемов по потреблению бензинов.

В процессе каталитического риформинга протекают химические реакции, в результате которых низкооктановые прямогонные бензины и тяжелая нефтя, поступающие с установки ректификации нефти превращаются в риформат, с содержанием высокооктановых соединений, среди которых есть бензол.

Основными реакциями процесса риформинга являются [19]:

- дегидрогенизация нафтенов с образованием ароматических углеводородов;
- дегидроциклизация парафинов в ароматические соединения;
- изомеризация парафинов и нафтенов;
- дегидрирование парафинов в олефины;
- гидрокрекинг парафинов.

Первые три реакции являются целевыми, за счет образования ароматики, увеличивают октановые числа компонентов для дальнейшего производства автомобильных бензинов. Дегидрирование и гидрокрекинг должны быть минимизированы, потому что являются побочными реакциями. Благоприятными условиями для протекания целевых реакций являются наличие низких давлений и высоких температур.

Реакции дегидрирогенизации и дегидроциклизации являются эндотермическими, поэтому требуется постоянный нагрев поступающего потока после каждого реактора, путем постоянного пропускания ее через секцию печи. Все реакции, кроме гидрокрекинга, выделяют водород, который можно использовать в процессах гидроочистки и гидрокрекинга.

Промышленные схемы обычно состоят из серии трех-шести реакторов с неподвижным или подвижным слоем катализатора. Исходное сырье, направляемое на процесс каталитического риформинга, сначала подвергается гидроочистке для удаления серы, азота и металлов.

В непрерывном процессе риформинга катализатор можно регенерировать в одном из реакторов и обычно от одного до двух раз в день без простоя производства. В полурегенеративных системах регенерация всех реакторов с катализаторами осуществляется одновременно через несколько месяцев (иногда и через год). Ужесточение норм по содержанию бензола в автомобильных бензинах, ограничивают использование данного процесса для повышения октановых чисел продуктов переработки нефти.

Однако процесс каталитического риформинга по-прежнему служит для получения одного из базовых высокооктановых компонентов производства автомобильных бензинов, как в России, так и за рубежом. Именно бензины каталитического риформинга в наибольших количествах (56,2 % об.) входят в состав автомобильных бензинов, получаемых на НПЗ в Российской Федерации. А доли, например, изомеризата и алкилата составляют всего 1,5 % об. и 0,3 % об. соответственно [20]. И это значительно ниже, чем в западных странах.

В настоящее время с каждым годом, как на российских, так и на зарубежных НПЗ происходит постоянная модернизация установок процесса риформинга. Она основана на ужесточении технологического режима, например, на снижении давления, чтобы получать высокооктановые компоненты бензинов, октановое число которых достигает примерно 98-100 единиц. Чтобы понизить давление на установках, требуется вводить в процесс высокостабильные катализаторы и устанавливать дополнительный реактор, чтобы увеличить загрузку катализатора, который осуществляет процесс дуалформинг – непрерывная регенерация катализатора. Это позволяет увеличивать срок эксплуатации катализатора, а также в головных реакторах уменьшает жесткость процесса.

Таким образом, современные процессы риформинга в России совершенствуются с каждым днем за счет модернизации уже имеющихся установок, но с приоритетным использованием новых отечественных катализаторов, либо за счет разработки новых катализаторов и типа реакторных устройств, стабильностью их работы, а также увеличения глубины переработки сырья. Совершенствование технологии процесса риформинга позволило уменьшить рабочее давление более чем в десять раз.

1.2.1 Катализаторы процесса риформинга бензиновых фракций

Для процесса каталитического риформинга, как и для процесса изомеризации, следует применять бифункциональные катализаторы, когда активную роль играют оба компонента – металл и оксид. Они представляют собой кристаллы платины, нанесенные на оксид алюминия. Платина должна быть диспергирована по поверхности оксида алюминия так, чтобы было доступно максимальное количество активных металлических центров для дегидрирования.

Реакции гидрирования/дегидрирования, дегидроциклизации и гидрогенолиза катализируют металлические центры катализатора. Изомеризация, гидрокрекинг иногда и дегидроциклизация протекают на оксидном компоненте. Для уменьшения активности платины применяют ее сульфидирование, с целью уменьшения основной части реакций гидрогенолиза или катализируемого металлом крекинга. В результате отравления платины, выход жидких продуктов повышается, а производство легких газов, в частности метана, сокращается.

Межрегенерационный период катализаторов в реакторе с неподвижным слоем составляет больше года. Для увеличения срока эксплуатации и уменьшения эффекта накопления кокса в катализаторы добавляются модификаторы - рений и, в меньшей степени, иридий.

В установках с подвижным слоем катализатор протекает через реакторы и непрерывно регенерируется в отдельном регенерационном

аппарате, который является частью петли реактор-регенератор. Условия процесса намного более суровы, что сокращает срок службы катализатора и требует нескольких дней для регенерации. В катализатор с подвижным слоем добавляют элементы, такие как олово и германий, для увеличения выхода жидких продуктов, ароматических соединений и водорода за счет снижения активности платины [21]. Эти компоненты также обеспечивают некоторую стабилизацию катализатора только относительно платины.

Одной из основных эксплуатационных характеристик катализаторов является активность, которая отвечает глубину превращения сырья. Содержание ароматических соединений является показателем активности.

За выход водорода и жидких целевых продуктов отвечает следующая эксплуатационная характеристика – селективность катализатора. Она обеспечивает максимальное протекание целевых реакций, а именно ароматизации, и минимизирует активность катализатора в побочных реакциях, например, гидрогенолиза, который приводит к образованию газообразных углеводородов.

Сохранение во времени первоначальной активности и селективности обеспечивает третья характеристика – стабильность катализатора. Она отвечает за продолжительный срок службы и межрегенерационный период.

Еще одной важной характеристикой катализатора является механическая прочность. Чем больше ее значение, тем катализатор более устойчив к раздавливанию и истиранию.

Отечественные катализаторы, например, серии АП состоят из платины, распределенной по всему объему промотированного фтором или хлором оксида алюминия. Некоторые катализаторы этой серии, чтобы подавить побочные реакции гидрогенолиза, осерняют при изготовлении.

В более современных катализаторах серии КР вместе с платиной применяют металлический промотор – рений. Его введение обеспечивает повышенную стабильность и уменьшает содержание платины, позволяет снизить рабочее давление на блоке риформинга и увеличить выход

риформата. Но существенным недостатком применения полиметаллических катализаторов является необходимость более глубокой очистки сырья от примесей.

В настоящее время в технологиях процесса риформинга на отечественных катализаторах наряду с сериями АП и КР, применяют катализаторы серии РБ. Например, фирмой «ОЛКАТ» был разработан новый полиметаллический шариковый катализатор РБ-44У марки Ш [22]. Этот катализатор предназначен для установок с неподвижным слоем. Его гранулы имеют идеальную сферическую форму, а носитель изготавливается из высокочистого порошка гидроксида алюминия. Высококачественный шариковый катализатор РБ-44У обеспечивает выход риформата 88,9 масс. % с октановым числом 96-98 единиц (по ИМ) и имеет широкий ряд преимуществ: полное отсутствие пылеобразования, высокая прочность, однородная плотность слоя, удобство в эксплуатации, не требует специального оборудования для уплотнения слоя при загрузке, в процессе работы не утрамбовывается, имеет высокие показатели активности и селективности.

НПФ «ОЛКАТ» занимается постоянной разработкой и усовершенствованием катализаторов, поиском новых решений для их оптимизации. В настоящее время был разработан специальный катализатор марки СГ-3П-М для получения компонентов автомобильных бензинов, который обеспечивает высокий выход риформата 92 масс. % с октановым числом 95-96 единиц по ИМ [22]. Данный катализатор превосходит результаты всех платино-рениевых композиций по показателям промышленной эксплуатации. Имеет высокую активность – работает при низких температурах процесса, а также высокую объемную скорость, т.е. данного катализатора по количеству требуется в два раза меньше, чем традиционного.

Еще один высококачественный полиметаллический алюмоплатиновый катализатор РБ-55Д, предназначен для производства высокооктановых

компонентов автомобильных бензинов с октановых числом 100 единиц по ИМ. Он применяется для установок с непрерывной регенерацией, обеспечивает высокую работу и высокий выход риформата, низкие потери платины и низкую истираемость, а также высокую термостабильность и длительный срок службы.

Поколения катализаторов продолжают меняться, но платина всегда остается неизменным компонентом. Фирма «UOP» использует самые передовые технологии для достижения разных целей. Они предлагают оборудование для циклического, стационарного и непрерывного риформинга.

В духе непрерывных инноваций «UOP» представила два новых катализатора [18]. Новейший катализатор R-560 для установок с неподвижным слоем представляет собой оптимизированный высокоэффективный катализатор, который обеспечивает хорошие эксплуатационные характеристики и максимальную гибкость производственного процесса. Он обладает наивысшей активностью, стабильностью и продолжительностью рабочего цикла и может увеличить выход риформата. Еще один новейший катализатор R-334, обеспечивает еще более высокий выход продукта, а также водорода и ароматических соединений, что приводит к увеличению прибыльности.

Еще одна зарубежная фирма «Axens» тоже совершенствует старые и разрабатывает новые катализаторы для оптимизации процесса, например, катализаторы типа RG-582. RG-682. PR-9 и PR-15 [11].

Катализаторы серии RC для процесса непрерывного регенерационного риформинга были разработаны ООО «НПП Нефтехим» [15]. Эксплуатационные характеристики катализаторов этой серии весьма конкурентоспособны по сравнению с другими катализаторами всемирно известных производителей катализаторов.

Катализатор RC-12 является высокоактивным платиново-оловянным катализатором для установок с подвижным слоем, предназначенным для

получения риформиата с максимальным выходом и октановым числом, также в тяжелых работах имеет низкий уровень коксования, высокую механическую прочность и плотность, длительный срок эксплуатации.

Еще одним из преимуществ данных катализаторов является их совместимость. Катализаторы серии RC применяют как для полной, так и для частичной замены во время работы, поскольку они совместимы с катализаторами, используемыми в большинстве работающих риформеров.

В настоящее время разработаны две основные марки катализаторов, которые отличаются между собой физическими и химическими свойствами: RC-12 и RC-120. Они представляют собой модифицированный алюмо-платиновый катализатор сферической формы для риформинга с подвижным слоем. Эти катализаторы были успешно испытаны и рекомендованы для применения в действующих установках. Выбор конкретной марки катализатора зависит от рабочих условий в установке и необходимости полной или частичной замены действующего катализатора.

Также ООО «НПП Нефтехим» были разработаны катализаторы риформинга серии REF для полурегенеративных установок с неподвижным слоем. Катализаторы REF-21, REF-23 и REF-24 имеют хорошую репутацию на российских НПЗ [15].

Сегодня ООО «НПП Нефтехим» представляет новую линейку продуктов этой серии - катализаторы REF-125 и REF-130, также представляют собой модифицированный алюмо-платиновый катализатор только для риформинга с неподвижным слоем, которые отличаются более высокой стабильностью. Новые катализаторы основаны на общей технологии с введением стабилизирующего комплекса. REF-125 и REF-130 обеспечивают высокую производительность с точки зрения активности, избирательности, цикла обслуживания и общего срока службы. Между собой эти две марки отличаются по соотношению платины и рения.

Ведущие лицензиары процесса риформинга - фирмы «UOP» и «Axens» также играют большую роль в разработке платино-оловянных шариковых

катализаторов для риформинга с непрерывной регенерацией. Фирма «UOP» внедрила целых пять новых серий данных катализаторов [18]. Преимуществами катализатора R-160 является меньшее количество платины и увеличение насыпного веса. Катализатор R-170 отличается увеличением выхода риформата. R-230 обладает наименьшим коксообразованием и максимальной термостабильностью.

Фирма «Axens» выпустила новую серию шариковых катализаторов CR-700 с целью получения риформата для автомобильных бензинов и AR-500 для варианта риформинга с получением ароматических соединений [11]. Представленные новые катализаторы отличаются высоким выходом ароматических соединений, а также обладают повышенной термостабильностью и удельной поверхностью.

1.2.2 Технологии процесса каталитического риформинга

Каталитический риформинг — это процесс, используемый для превращения низкооктановой нефти в высокооктановые компоненты смешения автомобильных бензинов. Как уже говорилось ранее, реформирование — это совокупность нескольких реакций, которые происходят одновременно, включая крекинг, полимеризацию, дегидрирование и изомеризацию. В зависимости от свойств исходного сырья - нефти (измеряемого по содержанию парафинов, олефинов, нафтенов и ароматических веществ) и используемых катализаторов могут быть получены продукты риформинга с высокими концентрациями толуола, бензола, ксилола и других ароматических соединений, используемых при смешении бензинов.

Водород, являющийся значительным побочным продуктом, отделяется от риформинга для переработки и использования в других процессах. Каталитический реформер состоит из секции реактора и секции извлечения продукта. Секция приготовления сырья состоит из комбинации гидроочистки

и дистилляции, которая позволяет подготавливать сырье в соответствии с требованиями.

Каталитические риформеры работают как при низких, так и при высоких давлениях. Некоторые системы каталитического риформинга непрерывно регенерируют катализатор. Для этого один из реакторов убирают из системы для регенерации катализатора. В иных установках катализатор регенерируют во время самого процесса.

Выбор технологии проведения процесса каталитического риформинга, зависит от выбора режима регенерации катализатора. Наибольшее количество установок по миру используют следующие типы технологий [23]:

- процесс риформинга с периодической регенерацией катализатора;
- регенерация катализатора по циклическому типу;
- риформинг с постоянной регенерацией.

Технология с периодической регенерацией катализатора является самой популярной в использовании. На установках процесса данного типа температура составляет от 470 °С до 520 °С, а рабочее давление от 1,4 МПа до 3,1 МПа. При этом выход риформата имеет следующие значения: от 80% по массе. до 88 мас.% [24]. Межремонтный пробег установок составляет больше года. Производимый автомобильный бензин по исследовательскому методу имеет октановое число от 94 до 98 единиц.

Регенерация катализатора по циклическому типу является характеризуется более жесткими условиями ведения процесса, поэтому является менее популярной. В основном данный тип используют на американских установках. Температура процесса каталитического риформинга с циклической регенерацией катализатора находится в пределах от 510 °С до 560 °С. Рабочее давление составляет 0,9-2,2 МПа [25]. Из этого следует, что катализатор имеет небольшие циклы между регенерациями (от 5 до 40 дней), но до полной отработки выдерживает до 600 циклов. При использовании данного типа можно получать риформат с октановым числом от 95 до 103 единиц по ИМ.

Самый прогрессивный тип технологии - риформинг с постоянной регенерацией – позволяет осуществлять процесс в лучших термодинамических условиях. Каталитический риформинг по третьему типу технологии проводят при низких давлениях (от 0,35 до 0,9 МПа) и температурах до 550 °С. Межрегенерационный цикл катализатора может достигать трех лет. Получаемый по данной технологии риформат достигает значений октанового числа от 100 до 102 единиц.

Также еще существует ряд различных коммерческих процессов каталитического риформинга. Основными из них являются платформинг (platforming), энергоформинг (powerforming), ультраформинг (ultraforming) и магнаформинг (Magnaforming Process) [26].

Платформинг (Platforming)

Платформинг был первым процессом с использованием платиновых катализаторов на оксиде алюминия. Первая установка с периодической регенерацией катализатора фирмы «UOP» была запущена в эксплуатацию в 1949 году. Технология «UOP» используется более чем в 50 % всех установок риформинга во всем мире [18].

Процесс платформинга был адаптирован к биметаллическому катализатору, как и для периодической регенерации, так и для непрерывной. «UOP» предлагает полурегенеративные установки, которые используют ступенчатую загрузку катализатора с целью увеличения производительности. А также предлагают применение усовершенствованных полиметаллических катализаторов, которые в разы увеличивают выход продукта риформинга.

Первым этапом в процессе платформинга является подготовка подачи нефти с целью удаления примесей. Гидроочищенное сырье смешивают с водородом, нагревают в печи и пропускают через ряд последовательно установленных реакторов с неподвижным слоем катализатора. После каждого реактора сырье возвращается в печь. Поток, выходящий из последнего реактора, охлаждается и направляется в сепаратор. Из верхней части сепаратора удаляется поток водородсодержащего газа и направляется

на рециркуляции. Жидкий продукт из нижней части сепаратора направляется в колонну стабилизации. Из верха колоны выделяют легкие углеводороды, которые в дальнейшем отправляются установку газодифракционирования. С низа колоны отбирается продукт каталитического риформинга – риформат.

На рисунке 1.25 показана упрощенная технологическая схема каталитического риформинга.

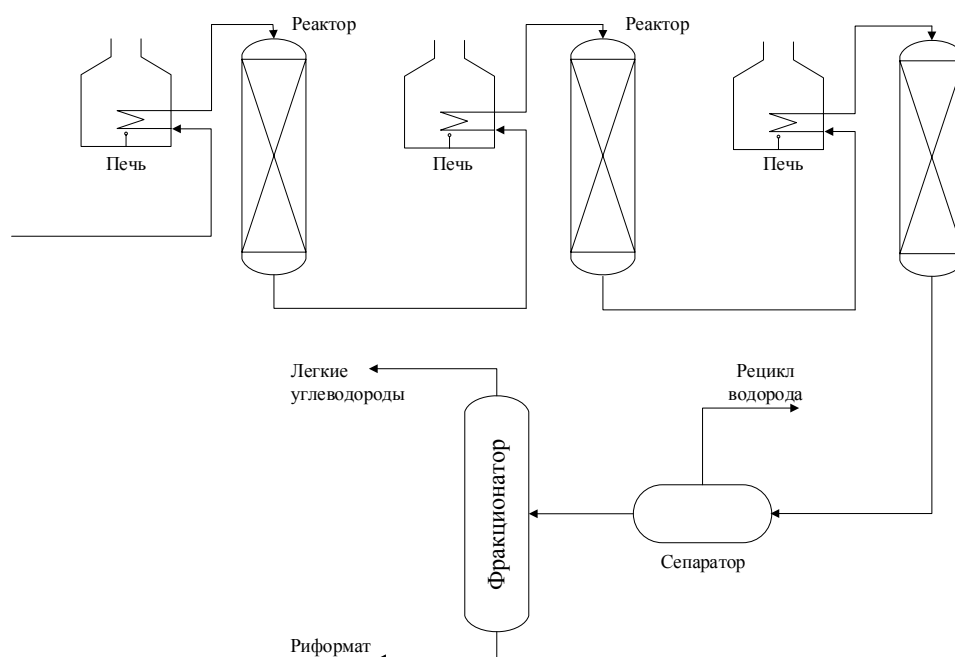


Рисунок 1.10 . Принципиальная схема процесса платформинга [26]

Процесс пауэрформинга (Powerforming)

Технологию пауэрформинга предлагает «ExxonMobil» для производства компонентов бензиновых смесей из низкооктановой нефти. В качестве альтернативы, этот способ может быть использован для получения высоких выходов бензола или других ароматических соединений, а также для производства авиационных топлив. По данной технологии производят большие количества водорода, который может быть использован для гидроочистки или улучшения других продуктов.

Установки пауэрформинга работают с периодической и циклической регенерацией, а также имеют запатентованную каталитическую систему, адаптированную под конкретные запросы клиента. Главным преимуществом данной технологии является то, что она включает в себя

конкурентоспособные по стоимости установки для устройств с невысокой мощностью, но с получением продуктов, октановое число которых составляет 98 единиц, и длительными межрегенерационными циклами.

В процессе пауэрформинга используется ступенчатая загрузка катализатора, которая позволяет сохранять высокую стабильность, хорошую селективность и обеспечивает адекватное поддержание активности катализатора. В нем используется высокоактивный катализатор KX130 с очень высокой стабильностью и высоким выходом бензола и толуола [26].

Для регенерации горячего топливного газа в циклических установках, «ExxonMobil» использует следующие методы: хлорирование потока сырья и аналитические инструменты для мониторинга катализатора. Это помогает повысить производительность установки.

Циклические системы предназначены для работы при низком давлении, с широким диапазоном температур кипения и низким отношением водорода при подаче сырья. Данная система имеет четыре последовательно соединенных реактора плюс подвижный реактор. Использование такого реактора позволяет выводить из эксплуатации любой из реакторов с целью регенерации при сохранении непрерывной работы всего блока. Частота регенерации может варьироваться в соответствии с изменяющимися целями процесса, а также в условиях высокой жесткости и низкого давления, поскольку скорость отложения кокса на катализаторе невелика. Поэтому максимальный цикл работы реактора составляет 6 лет. Регенерация обычно выполняется по заранее определенному графику, чтобы избежать одновременной регенерации двух или более реакторов.

Процесс ультраформинга

Технология, основанная на процессе ультраформинга компанией «Амосо» используется для обогащения как низкооктановых, так и высокооктановых компонентов, а также ароматических соединений. Процесс представляет собой циклическую систему, в реакционную секцию которой включен вращающийся реактор с неподвижным слоем катализатора. Система

может быть адаптирована для работы трех реакторов с радиальным движением потока и периодической регенерацией, соединенных последовательно.

В этом процессе используются запатентованные катализаторы высокой прочности, позволяющие проводить при низких давлениях операции с более тяжелыми условиями, а также частую регенерацию. Каталитическая система имеет относительно низкое содержание примесей, и ее предполагаемый срок службы составляет 4 года для циклической работы и до 8 лет для полугенеративной работы [26]. Ротационный реактор при циклическом режиме работы может заменить любой реактор, в котором необходимо проведение регенерации слоя катализатора. Обычно все реакторы имеют одинаковый размер, однако в первый реактор загружается половина от обычного количества катализатора.

Процесс ультраформинга также предназначен для получения высокочистых ксилолов и толуола, которые в дальнейшем, перед стадией экстракции, можно отделить прямой перегонкой. А бензиновую фракцию извлекают путем экстрактивной дистилляции. Данный процесс имеет высокий выход риформата и водорода, а также высокую мощность. Тем не менее, в последние годы новые ультраформеры не были лицензированы.

Магнаформинг (Magnaforming Process).

Процесс магнаформинг, который лицензирован корпорацией «Engelhard», используется для получения высокооктанового риформата из низкооктановой нефти. Продуктом является компонент бензинов премиум-класса или источник ароматических углеводородов. Особенность, которая наиболее отличает процесс магнаформинга от других процессов риформинга, заключается в том, что он использует разделенный рециркулирующий поток водорода для увеличения выхода продукта и улучшения его эксплуатационных характеристик. Около половины рециркулированного газа сжимается и направляется на циркуляцию в первые два реактора, которые работают в мягких условиях. Большая часть рециркулирующего газа

возвращается в конечные реакторы, которые работают в тяжелых условиях. Считается, что существенная экономия энергии компрессора может быть достигнута именно путем разделения рециркуляции.

Корпорация «Engelhard», не предлагает в своей технологии реакторы с постоянной регенерацией, но советует использовать периодическую регенерацию, либо смешанный тип из периодической и циклической регенерации катализатора. Комбинированная конструкция создается путем дополнения конечных реакторов вращающимся реактором, который может чередоваться с ними в любой последовательности. Он также может работать параллельно с конечными реакторами, что позволяет регенерировать эти реакторы без остановки блока.

Первоначально данный процесс был разработан для работы с известными монометаллическими платиновыми катализаторами, но был приспособлен для более новых катализаторов на основе платины и рения серий E600 и E800 [26]. Такие катализаторы обеспечивают большую активность и стабильность, что позволяет использовать их в установках, где требуются операции с тяжелыми условиями и длительные циклы работы между регенерациями. Широкий спектр катализаторов был использован в процессе магнаформинг для оптимизации эксплуатационных характеристик и для получения желаемых характеристик продукта. Многие агрегаты используют технологию «Sulphur Guard» для снижения содержания серы до сверхнизких уровней при подаче сырья.

При проведении любых технологий процесса каталитического риформинга нужно быть предельно внимательным. Существует вероятность возникновения пожара в случае утечки или выброса газообразного продукта риформинга или водорода. Рабочие процедуры частично направлены на контроль горячих точек во время запуска. Безопасное обращение с катализатором очень важно. Необходимо соблюдать осторожность, чтобы не сломать и не раздавить катализатор при загрузке слоев, так как мелкие осколки могут проникнуть в оборудование и вывести его из строя. Также

важны меры предосторожности при регенерации или замене катализатора и средства защиты от пыли. Существует вероятность воздействия выбросов сероводорода и бензола, возникающих в результате утечки. Также могут возникнуть неорганизованные выбросы оксида углерода и сероводорода во время регенерации катализатора. Поэтому очень важны меры предосторожности и правила безопасности проведения процесса.

1.2.3 Методы снижения содержания бензола в риформате

Как говорилось ранее, с каждым годом ужесточение требований по содержанию ароматических углеводородов, в частности бензола, затрагивают процесс модернизации процесса риформинга, поскольку, как правило, именно с риформатом (40-70%) поступает основная доля этих токсичных веществ в состав автомобильных бензинов [27].

Содержание бензола в бензинах в настоящее время ограничивается в зависимости от национальных стандартов. Значения варьируют от 1 % до 5 %, именно по новым экологическим требованиям в бензинах пятого класса количество бензола не должно превышать 1 % об [6].

Существует несколько распространенных методов снижения бензола. Выбор метода предприятием зависит от технологической схемы и целей переработки. Одним из простых вариантов решения проблемы является проведение риформинга с постоянной регенерацией катализатора. Данная технология имеет ряд преимуществ: высокий выход и качество получаемого продукта и водородсодержащего газа, достаточно глубокую ароматизацию сырья и получение бензинов риформинга с улучшенными экологическими характеристиками. Риформинг с непрерывной регенерацией проводится при более низких давлениях, что влечет за собой положительные аспекты – уменьшение летучести риформата и, следовательно, понижение давления насыщенных паров, а также происходит снижение содержания бензола в риформате на 20 % относительно технологии с периодической регенерацией.

Следует отметить, что значительным минусом применения технологии с постоянной регенерации является ее дороговизна. Поэтому предприятия занимаются усовершенствованием старых и разработкой новых катализаторов и способов их регенерации. А также в технологии с периодической регенерацией используют дополнительный реактор, с циркулирующим слоем катализатора. В последние годы Россия является наиболее частым лицензиатом усовершенствованного аппаратного оформления с улучшенными технологическими режимами.

Также на нефтеперерабатывающих заводах существует еще два основных метода по снижению бензола в риформате, разработанные фирмой «UOP» [28].

Первым методом является предфракционирование. Он заключается в удалении бензола и бензолобразующих компонентов из сырья процесса риформинга, благодаря увеличению его температур кипения до 100 °С (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 – Схема получения компонента смешения бензина с предфракционированием [28]

Однако, в результате использование данного метода фракционный состав риформата утяжеляется и образуется большое содержание низкооктановой фракции 70-100 °С. Поэтому отрицательным аспектом применения данного метода является получение прямогонной фракции с

низким октановым числом и превышающим нормы по содержанию бензола, которая в дальнейшем требует квалифицированной переработки, что влечет дополнительные капиталовложения.

Второй методом по снижению концентрации бензола составляет постфракционирование (рисунок 1.12). Он основан на выделении из риформата легкой части, обогащенной бензолом, путем ректификации. Чтобы концентрация бензола в рифорате не превышала 1 % об., нужно поддерживать температуру конца кипения отгоняемой бензолсодержащей фракции около 85 °С.

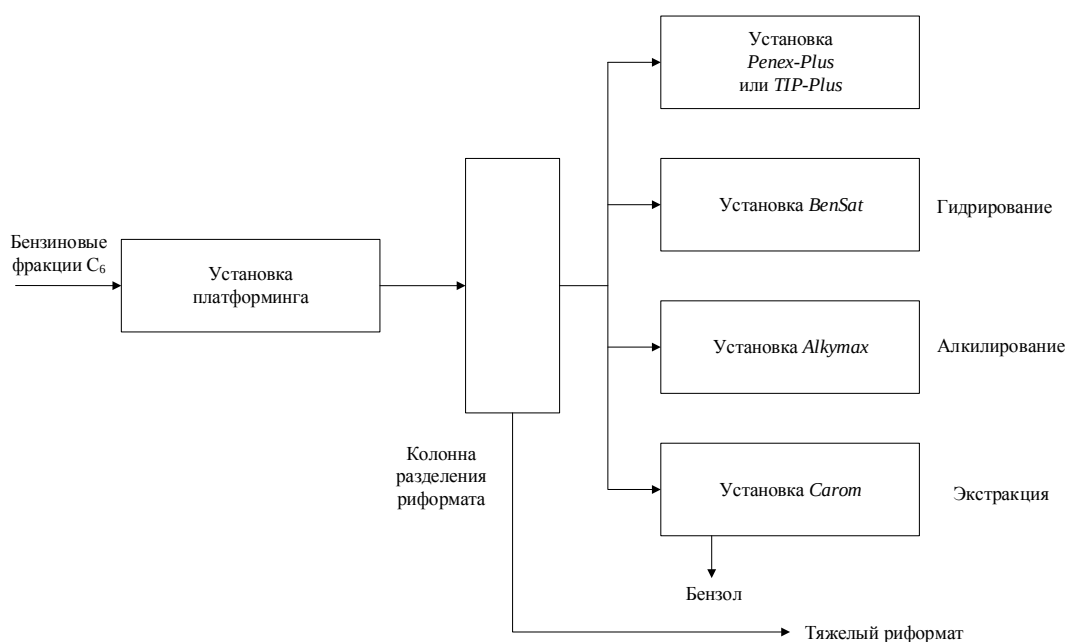


Рисунок 1.12 – Схема получения бензина с постфракционированием [28]

Извлекаемую бензолсодержащую фракцию нецелесообразно использовать для компаундирования даже низкооктановых бензинов из-за высокого содержания бензола. Поэтому в дальнейшем ее перерабатывают одним из следующих способов [29]:

- экстракция бензола из катализата;
- алкилирование бензола олефинами;
- гидрирование бензола в циклогексан;
- гидроизомеризация бензола в метилциклопентан.

Проблема процесса переработки бензола экстракцией требует высоких капитальных вложений и затрат на эксплуатацию, поэтому является рентабельной только при высоких мощностях.

При использовании процесса алкилирования следует располагать большим количеством высокооктановых продуктов с минимум содержания ароматических углеводородов для последующего смешения их с продуктами алкилирования, который наряду с удалением бензола имеет повышенное содержание ароматических соединений. Поэтому данный метод является экономически выгодным только в случае наличия избытка дешевой пропан-пропиленовой фракции.

Процесс гидрирования бензола до циклогексанов проводят на отдельных установках либо в комплексе с изомеризацией фракции C_5-C_6 . Для этого используют схемы совместного гидрирования бензола из легкой прямогонной фракции и из бензолосодержащей фракции процесса риформинга. В результате данного процесса почти весь бензол гидрируется на неподвижном слое катализатора с отсутствием заметных побочных реакций. Для его проведения требуется небольшой избыток водорода, который смешивается с жидким сырьем. Однако получаемый продукт – циклогексан – имеет меньшее октановое число по сравнению с октановым числом сырья. Поэтому в дальнейшем требуется проведения процесса изомеризации.

Наиболее эффективный метод снижения концентрации бензола в риформате представляет процесс гидроизомеризации. В НФП «ОЛКАТ» была разработана новая технология «Деболк» [22]. Преимуществом данного процесса является остаточное содержание бензола (не более 0, 1 % об.) и повышение октановой характеристики получаемого продукта за счет дополнительного протекания реакций изомеризации парафинов. Побочной реакцией является лишь процесс гидрокрекинга парафинов. Также для гидроизомеризации бензолсодержащей фракции разработан специальный катализатор К-150Б, имеющий высокую селективность и

межрегенерационный цикл 2-3 года. Сущность данной технологии заключается том, что бензол в результате реакций превращается в метилциклопентан, который имеет октановое число выше, чем циклогексан.

1.3 Компаундирование товарных бензинов

Процесс компаундирования компонентов бензинов является одним из основных и завершающим процессом при производстве товарных автомобильных бензинов. Рациональное смешение углеводородных потоков позволяет получать продукцию, отвечающую современным экологическим требованиям и эксплуатационным характеристикам.

Базовыми компонентами, вовлекаемыми в процесс компаундирования автомобильных бензинов, являются продукты процессов переработки нефти – высокооктановые компоненты с высоким содержанием ароматических соединений, получаемые в результате процессов каталитического риформинга и крекинга, а также высокооктановые продукты процессов изомеризации и алкилирования для повышения экологических характеристик товарных бензинов за счет отсутствия в них ароматики и олефинов.

Также для повышения эксплуатационных характеристик в процесс компаундирования вовлекают присадки и добавки. Например, для повышения испаряемости бензинов добавляют легкие углеводородные газы, а спирты и эфиры – для повышения детонационных характеристик.

Наиболее важными показателями при разработке рецептуры товарного бензина являются давление насыщенных паров либо испаряемость, октановое число, плотность, вязкость, детонационная стойкость и содержание таких компонентов как сера, бензол, ароматические и олефиновые углеводороды.

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

Определение давления насыщенных паров. Одной из нормируемых физико-химических характеристик компонентов автомобильных бензинов

является ДНП или упругость паров, косвенно характеризующая испаряемость топлива и его пусковые качества.

Для таких жидкостей как бензин, имеющих неоднородный состав, давление насыщенных паров зависит от объема парой фазы. Поэтому его определение проводят при стандартной температуре и постоянном соотношении фаз жидкости и пара. С увеличением температуры значения испаряемости увеличиваются.

В настоящее время известно большое количество методов определения ДНП компонентов товарных бензинов.

Наиболее используемым является статистический метод, позволяющий измерять ДНП в широком интервале температур и давлений. Он основан на измерении при определенной температуре давления пара над жидкостью, с которой находится в равновесии с помощью простых приборов, например, манометра, либо специальных датчиков или расчетных путем.



Рисунок 1.13 – Бомба Рейда [30]

Одним из простых и востребованных методов определения упругости нефтяных паров является стандартный метод с использованием бомбы Рейда (рисунок 1.13). Бомба состоит из двух камер: топливной 1 и воздушной 2 с соотношением объемов соответственно 1:4, соединенных с помощью резьбы. Давление, создаваемое парами испытуемого топлива, фиксируется манометром 3, прикрепленным к верхней части воздушной камеры.

Испытание проводят при температуре 38,8°C и давлении 0,1 МПа, обеспечиваемой специальной термостатированной баней.

Давление насыщенных паров испытуемой жидкости определяют по формуле [30]:

$$P_{\text{ж}}^0 = P_{\text{м}} - P_{\text{атм}} \cdot \frac{t - t_0}{t_0 + 273}$$

Следующий метод измерения давления насыщенных паров – динамический. Его сущность заключается в измерении температуры кипения жидкости при определенном давлении.

Еще один метод измерения упругости нефтяных паров представляет метод насыщения движущегося газа, когда инертный газ пропускают через жидкость. В дальнейшем насыщенный парами жидкости газ поступает в холодильник для конденсации. Испаряемость рассчитывается на основе известных молекулярных масс газа и поглощенной жидкости, а также их количеств.

Наиболее точным методом определения ДНП является метод изучения изотерм. Сущность метода основана на изотермической зависимости давления от объема насыщенного пара, которая имеет излом и превращается в прямую в точке насыщения. Но он не получил распространения, потому что многокомпонентные смеси имеют неопределенные температуры кипения.

Определение плотности. Одним из широко распространенных методов измерения плотности нефтепродуктов является ее определение с помощью прибора - ареометра. Градуировка ареометра отнесена к плотности воды при 4°C, и его показания соответствуют ρ_4^{20} . Чтобы определить плотность высоковязкого продукта ($\rho_{\text{н}}$), его разбавляют равным объемом керосина известной плотности ($\rho_{\text{к}}$) и проводят измерения плотности смеси ($\rho_{\text{см}}$). Далее рассчитывают плотность нефтепродукта по формуле [30]:

$$\rho_{\text{н}} = 2 \cdot \rho_{\text{см}} - \rho_{\text{к}}$$

Определение плотности пикнометром дает наиболее точный результат. Пикнометрический метод заключается в сравнении масс нефтепродукта и дистиллированной воды, взятых в одинаковом объеме и при равных температурах. Продолжительность данного метода определения – единственный его недостаток.

Для быстрого определения плотности нефтепродукта и при малых его количествах можно использовать различные эмпирические формулы.

Формула ГрозНИИ [30]:

$$(\rho_4^{20})_{\text{уф}} = \rho_0 \cdot \left(\frac{t_{\text{ср}}}{100} \right)^n$$

Формула БашНИИНП [30]:

$$(\rho_4^{20})_{\text{уф}} = \sqrt{2.841 \cdot (n_D^{20})_{\text{уф}} - 3.468}$$

Плотность топлива тоже является важной характеристикой, так как влияет на протекание процессов смесеобразования. Например при низких значениях плотности бензина, поплавков карбюратора может утонуть, тогда произойдет переобогащение смеси вследствие вытекания бензина из распылителя.

Определение вязкости. Вязкость бензинов является важным физико-химическим свойством, потому что именно от нее зависит скорость поступления топлива к двигателю. Различают динамическую и кинематическую вязкости. Первую определяют по сопротивлению движению тела в жидкости, вторую по истечению жидкости через капилляр.

При компаундировании также определяют вязкость нефтепродуктов. По формуле их можно рассчитать в том случае, если вязкости компонентов заменить подвижностью (текучестью) $\psi_{\text{см}}$ – обратная вязкости величина, которая рассчитывается по формуле [30]:

$$\psi_{\text{см}} = \frac{1}{\nu_{\text{см}}} = \frac{m \cdot \frac{1}{\nu_1} + n \cdot \frac{1}{\nu_2}}{m + n}$$

Также вязкость смесей можно определить по номограммам, например, по разработанной Д.Э.Мапстоном на основе уравнения [30]:

$$\lg \left(\frac{\nu_P}{\nu_0} \right) = 10^{-6} \cdot 0,142 \cdot P \cdot (0,0239 + 0,7627 \cdot \nu_0^{0,278})$$

при пользовании данной номограммы известные величины, например ν_0 и P , соединяют прямой линией и отсчет получают на третьей шкале.

1.3.2 Подходы к моделированию процесса приготовления автомобильных бензинов

Проведение процесса компаундирования товарных бензинов основано на свойствах имеющихся компонентов и требованиях к получаемому продукту смешения. Чтобы максимально избегать возникновения некондиций, следует заранее определять экономически выгодное соотношение компонентов при получении каждой новой партии автомобильных бензинов. Такую задачу можно решить с помощью компьютерной моделирующей системы, в которой можно учесть ряд особенностей, значительно осложняющих оптимизацию процесса получения экологически чистых высокооктановых товарных бензинов.

Отрицательные аспекты, которые нужно учесть при моделировании процесса смешения [31]:

- Детонационные свойства потоков, подаваемые на смешение, не поддаются закону аддитивности;
- Компоненты, вовлекаемые в процесс компаундирования, имеют непостоянный состав, поэтому необходим постоянный контроль и своевременное изменение рецептур смешения;
- Количество потоков, в зависимости от мощности производства, может достигать больших количеств.

Поэтому планирование операций проведения процесса компаундирования является важной задачей в нефтеперерабатывающей промышленности. Метод математического моделирования данной системы помогает решить комплекс проблем, который в дальнейшем разделяется на

независимые по решениям подзадачи. При изменении каких-либо условий в дальнейшем, эти подзадачи можно объединить и найти новые решения.

Математические модели для задач планирования процесса компаундирования бензинов обычно решают задачи с помощью метода численного линейного программирования [32]. Однако рецептуры смешения являются фиксированными, а характеристиками бензинов присуще нелинейное поведение при смешении компонентов. Поэтому для получения более точных результатов необходимо использовать нелинейное программирование.

Подходы к моделированию процесса можно разделить на две основные категории, которые основаны на различной обработке временной области: дискретная и непрерывная. В моделях дискретной формулировки времени временной горизонт делится на несколько периодов известной длительности с фиксированным временем начала и окончания. В моделях непрерывного времени временной горизонт разбивается на временные интервалы, продолжительность которых определяется оптимизацией.

В наше время разработано несколько моделей процесса компаундирования. Создана непрерывная модель для одновременного планирования задач смешения бензина и операций распределения. Линейность модели поддерживалась за счет использования заданных предпочтительных рецептур. Также разработана модель с общей временной сеткой для всех единиц процесса, а именно для смесителей, резервуаров и т.д., включая вычисленные на практике эксплуатационные ограничения. Обе модели оптимизируют рецептуры, используя индексы смешения.

Также уже разработан трехуровневый алгоритм декомпозиции, с помощью которого можно оптимизировать рецептуру, используя как линейные, так и нелинейные правила смешивания [32]. В данной модели рассмотрены и устранены проблемы распределения смеси и ее размеров, учитывается работа на параллельных смесителях и поворотных резервуаров, а также использование времени настройки, зависящее от продукта.

Для каждого уровня была сформулирована дискретно-временная модель. Первый уровень отвечает за оптимизацию рецептуры смеси, второй уровень разрабатывает производственный график, а третий уровень имеет способность рассчитывать подробный график компаундирования, а также доставки. Решения, полученные с использованием данного подхода, позволяют увеличить время для выполнения больших задач.

В последней разработке модель включает оптимизацию рецептур смешения, проблему распределения смеси и несколько важных операционных функций и ограничений [33]. Алгоритм использует метод, направленный на преобразование сложных многопараметрических выражений с несколькими переменными путем выполнения ряда преобразований логарифмов.

Данная разработанная модель применяется на нефтеперерабатывающих заводах и доказала, что способна в короткие сроки найти глобальные оптимальные решения в производстве автомобильных бензинов.

2 Объект и методы исследования

При проведении данного исследования, объектом выступал процесс производства автомобильных бензинов. С помощью математического моделирования был проведен анализ влияния качества и количества сырья на рецептуры товарных бензинов. В ходе исследования были задействованы математические модели таких процессов, как ректификация, изомеризация, риформинг и компаундирование бензинов.

2.1 Технологическая схема комплекса производства бензинов

Для наглядного представления процесса производства автомобильных бензинов на рисунке 2.1 представлена технологическая схема комплекса производства бензинов.

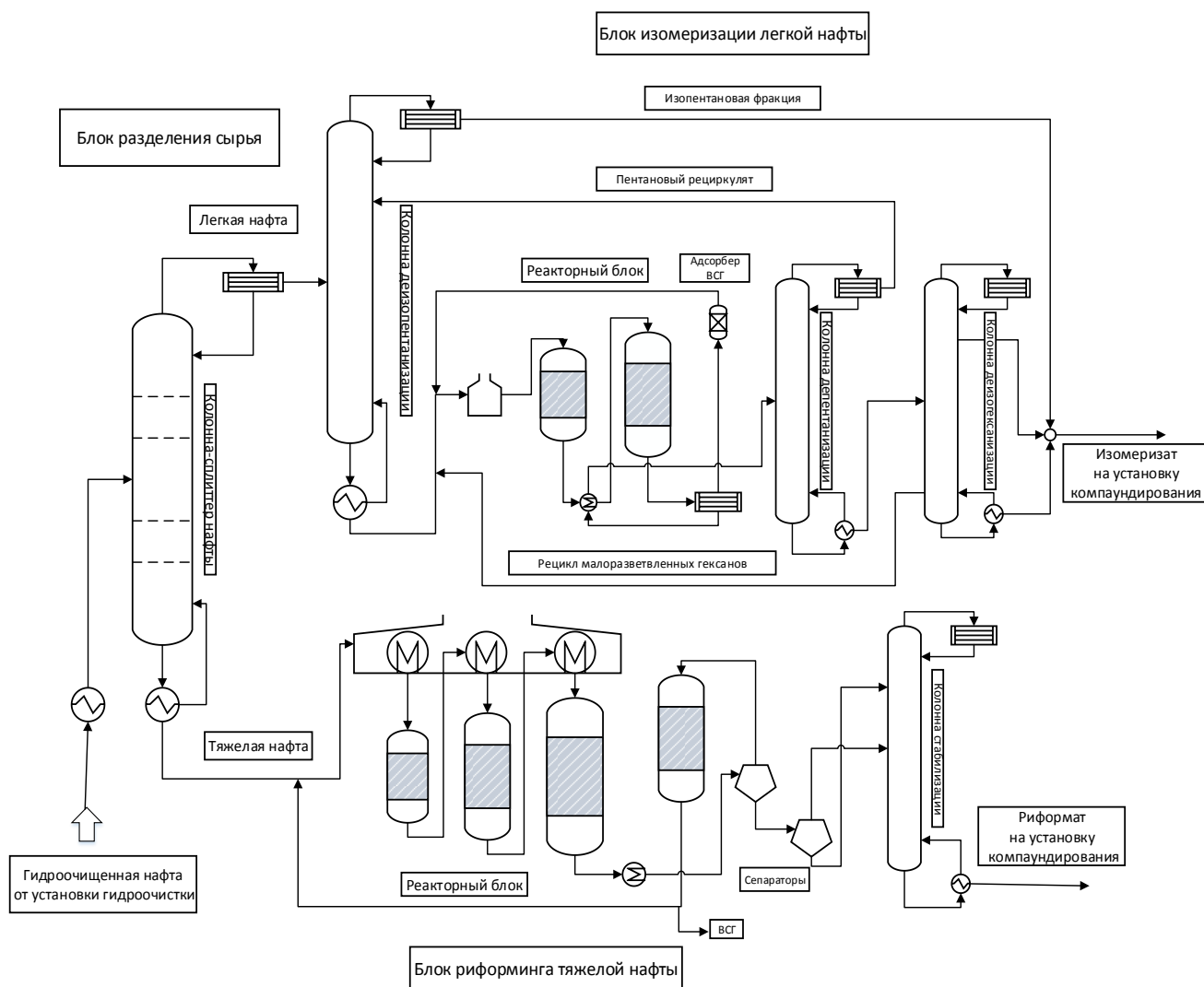


Рисунок 2.1 - Технологическая схема комплекса производства бензинов

Первым этапом производства бензинов является процесс гидроочистки сырья, в ходе которого нефть под воздействием водорода очищают от примесей, в особенности кислородосодержащих и сернистых соединений.

Гидроочищенное сырье поступает в теплообменник сырья, где нагревается до температуры 137 °С. Нагретое сырье подается в колонну-сплиттер нефти для проведения процесса ректификации. В колонне К-1 происходит разделение сырья на два продукта. Сверху колонны в приемник сплиттера нефти отбирается легкая нефть при температуре 81°С, поступает в конденсатор. Охлажденная до 60°С легкая нефть отправляется в блок изомеризации. Снизу колонны выделяется тяжелая нефть при температуре 163°С., проходит через теплообменник и при температуре 121 °С поступает в блок каталитического риформинга.

Процесс изомеризации проводится по технологии Изомалк-2 с рклом н-пентана и н-гексана. Установка состоит из реакторного блока и блоков деизопентанизации, деизогексанизации и стабилизации. В результате извлекается изомеризат, который в дальнейшем следует в установку смешения бензинов.

Процесс каталитического риформинга осуществляется на установке со стационарным слоем катализатора и состоит из реакторного блока, а также блоков сепарации и стабилизации катализата. Получаемый риформат также идет на установку компаундирования.

На установке компаундирования происходит смешение полученных продуктов изомеризации и риформинга с другими потоками и добавками.

2.2 Схема компаундирования товарных бензинов

Важным и заключительным процессом производства автомобильных бензинов является процесс компаундирования. Сущность процесса заключается в управляемом смешении нескольких потоков в один продукт требуемого качества. Для приготовления товарных рецептур автомобильных бензинов применяются следующие потоки:

- продукт установки изомеризации с рециклом по н-пентану и н-гексану;

- поток метил-трет-бутилового эфира;
- толуольная фракция с комплекса производства ароматических углеводородов;
- продукт установки алкилирования изобутана олефинами;
- продукт установки каталитического крекинга;
- гидрогенизат защелоченной тяжелой фракции бензина каталитического крекинга;
- прямогонная бензиновая фракция с атмосферно-вакуумной трубчатой установки;
- продукт газодифракционной установки;
- продукт установки каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора.

На рисунке 2.2 представлена схема компаундирования товарных автомобильных бензинов.

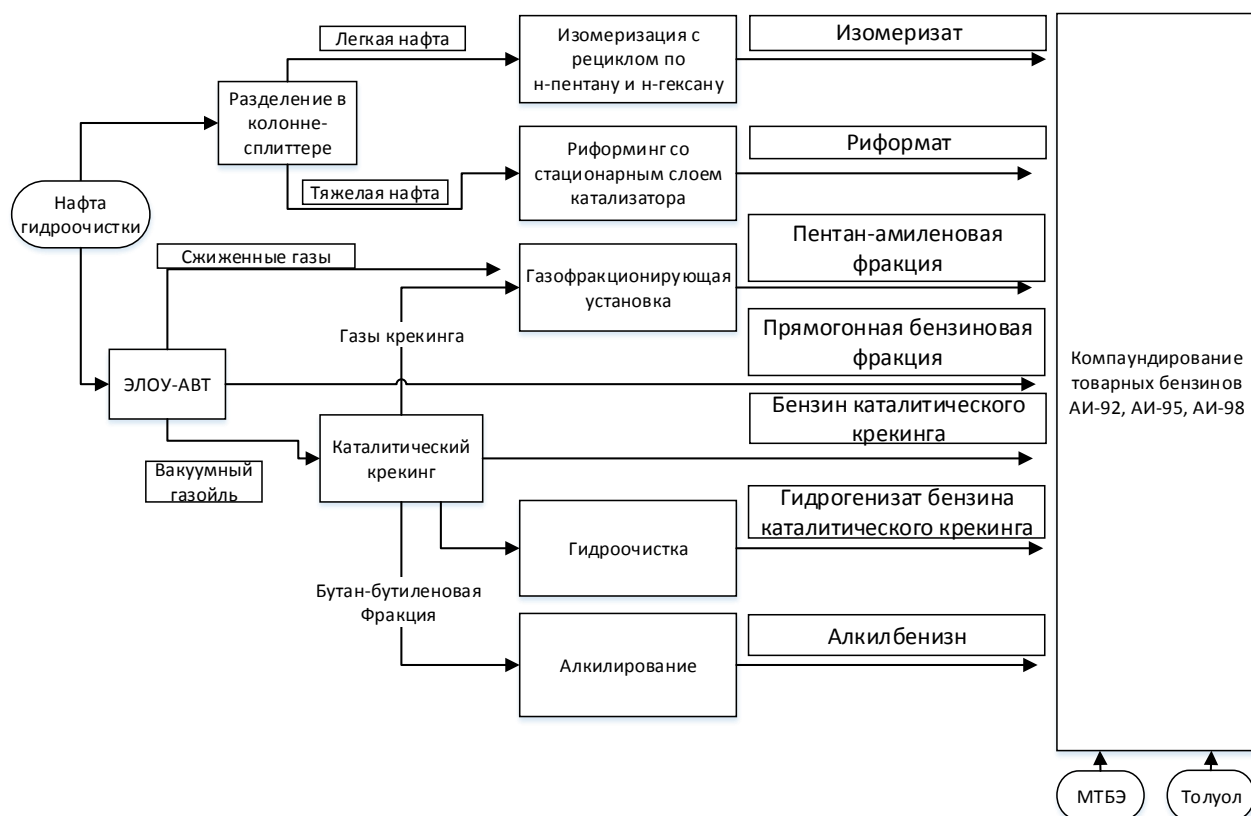


Рисунок 2.2 Блок - схема компаундирования товарных автомобильных бензинов

Составы потоков изомеризации и риформинга были рассчитаны с помощью математических моделей, представленных далее.

2.3 Модель процесса ректификации широкой бензиновой фракции

Процесс ректификации осуществляется в колонне-сплиттере нефти, предназначенной для разделения гидроочищенной прямогонной бензиновой фракции с установки гидроочистки нефти на легкий и тяжелый бензин для направления с целью дальнейшей переработки на установках изомеризации и каталитического риформинга.

Первый шаг моделирования процесса производства автомобильных бензинов заключался в создании модели процесса ректификации. В результате с помощью компьютерной программы моделирования «UniSim Design» был определен покомпонентный состав легкой и тяжелой нефти после разделения сырья в колонне-сплиттера.

Для начала в программе «UniSim Design» были выполнены технологические расчеты для проектирования модели колонны.

Для проектирования модели колонны были выполнены технологические расчеты в «ShortCut Column» (рисунок 2.3) («Ускоренная дистилляция»), с помощью которых были рассчитаны начальные приближения для колонны-сплиттера нефти.

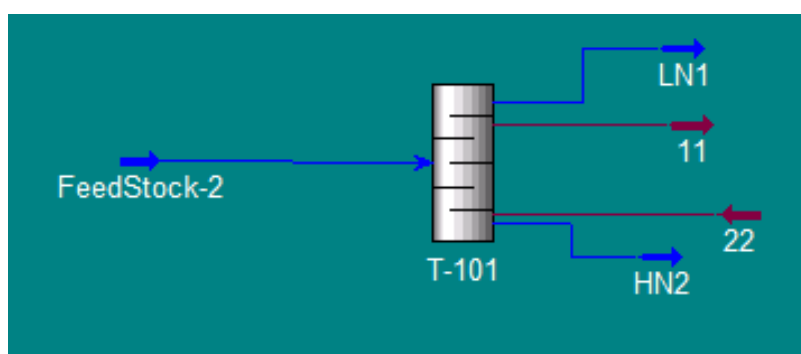


Рисунок 2.3 – Схема потоков «ShortCut Column» в программе

Внутренняя среда «ShortCut Column» и полученные начальные приближения и параметры колонны представлены в приложении А на рисунках А.1-А.3

По рисунку А.1 видно, что минимальное флегмовое число $R_{min} = 1,659$. По рисунку А.3 видно, что минимальное количество тарелок – 35 шт., действительное количество тарелок – 60 шт., оптимальная ступень подачи сырья – 27 тарелка.

По рассчитанным параметрам была спроектирована колонна в программе «UniSim Design» (рисунок 2.4).

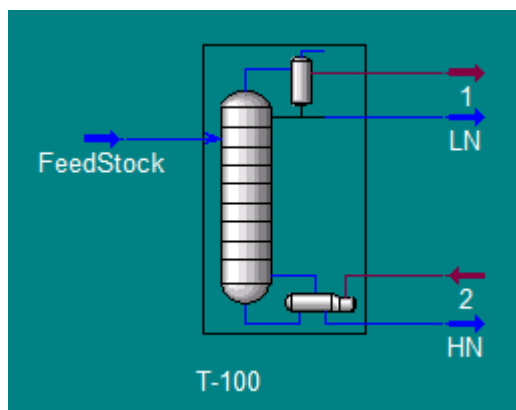


Рисунок 2.4 – Схема потоков колонны с тепловыми и материальными потоками в программе

На рисунке А.4 в приложении А представлена внутренняя среда колонны, которая изображает взаимосвязи материальных и тепловых потоков. Используя исходные данные, получили покомпонентный состав легкого и тяжелого бензина, представленного на рисунке А.5.

Для проверки результатов расчётов по полученной в программе схеме ректификационной установки с тепловыми и материальными потоками (рисунок 6) был произведен расчет материального и теплового баланса.

Общее уравнение материального баланса:

$$G_F = G_P + G_W;$$

где $G_F = 2,375e+005$ кг/ч — массовый расход исходной смеси;

$G_P = 6,793e+004$ кг/ч — массовый расход дистиллята;

$G_W = 1,696e+005$ кг/ч — массовый расход кубового остатка.

$$2,375e+005 \text{ кг/ч} = 6,793e+004 \text{ кг/ч} + 1,696e+005 \text{ кг/ч};$$

Общее уравнение теплового баланса:

$$Q_F + Q_{кип} = Q_D + Q_W + Q_{хол} + Q_{пот}$$

где $Q_F = - 4,008e+008$ кДж/ч – тепло, поступающее с исходной смесью;

$Q_{\text{кип}} = - 2,702+008 \text{ кДж/ч}$ – тепло, подводимое в низ колонны (кипятильника);

$Q_D = - 1,366\text{e}+008 \text{ кДж/ч}$ - тепло, отводимое с дистиллятом;

$Q_W = - 2,504\text{e}+008 \text{ кДж/ч}$ - тепло, отводимое с кубом;

$Q_{\text{хол}} = - 2,844\text{e}+008 \text{ кДж/ч}$ - тепло, отводимое в конденсаторе-холодильнике;

$Q_{\text{пот}}$ – потери тепла в окружающую среду, кДж/ч (принимая $Q_{\text{пот}} = 0$).

$$- 4,008\text{e}+008 \text{ кДж/ч} - 2,702+008 \text{ кДж/ч} = - 1,366\text{e}+008 \text{ кДж/ч} - 2,504\text{e}+008 \text{ кДж/ч} - 2,844\text{e}+008 \text{ кДж/ч};$$

И материальный, и тепловой балансы сошлись, значит, расчет был выполнен верно.

Также был произведен анализ исследуемых составов на соответствие требованиям по ограничению компонентов, предъявляемых к полученным составам легкой и тяжелой нефти, регламентирующей документацией. К получаемым продуктам разделения предъявляются следующие требования:

- Содержание бензола и бензолобразующих веществ в тяжелой нефти не более 0,5 % масс.;

- Содержание углеводородов C_7 и более тяжелых в легкой нефти не более 2 % масс.

Содержание регламентируемых веществ в продуктах, полученных вследствие разделения исходного проектного сырья, а также технологические параметры колонны представлены в таблицах 2.1-2.2. Составы требованиям соответствуют.

Таблица 2.1 – Качество продуктов

	В потоке	Требования
Верх колонны содержание C_{7+} , % масс.	1,05	2,000
Низ колонны содержание бензола и бензолобразующих, % масс.	0,41	0,500

Таблица 2.2 – Технологический режим работы колонны-сплиттера

Параметр	Значение
Температура верха колонны, °С	81,0
Давление верха колонны, кПа	128,0
Температура низа колонны, °С	163,0
Давление низа колонны, кПа	186,8

Температура входа сырья, °С	137,0
Расход нефти на разделение, кг/ч	237588,0
Выход легкой нефти, кг/ч	68564,0
Выход тяжелой нефти, кг/ч	169024,0
Флегмовое число	2,6

2.4 Математические модели процессов риформинга и изомеризации

Для математического описания процесса превращения углеводородов в реакторе риформинга предложена нестационарная математическая модель [35], которая представляет собой систему дифференциальных уравнений в частных производных с учётом степени использования внутренней поверхности зерна катализатора и коксообразования:

$$\begin{cases} G_c \frac{\partial C_i}{\partial Z} + G_c \frac{\partial C_i}{\partial V} = \sum_j k_j \cdot C_i \cdot n_j \\ G_c \frac{\partial T}{\partial Z} + G_c \frac{\partial T}{\partial V} = \frac{1}{\rho \cdot C_p^{см}} \sum_j \Delta H \cdot k_j \cdot C_i \cdot n_j \end{cases}$$

где G_c – расход газосырьевой смеси, м³/ч; Z – общий объем переработанного сырья, м³; V – объем катализатора в реакторах, м³; i – номер компонента в смеси; j – номер реакции по формализованному механизму; C_i – концентрация i -го компонента смеси на входе в реактор, моль/м³; k_j – константа скорости j -й реакции; $C_p^{см}$ – теплоемкость смеси, Дж/(кг·К); ρ – плотность, кг/м³; T – температура, К; ΔH – тепловой эффект j -й реакции, Дж/моль.

С помощью компьютерной системы сопровождения процесса риформинга «Aktiv» был выполнен расчет группового состава риформата после процесса риформинга тяжелой нефти.

На рисунке 2.5 представлены используемые технологические параметры проведения процесса риформинга в блоке моделирования.

Технологические параметры процесса риформинга

Дата отбора: 05.04.2014

Дата регенерации катализатора: 19.04.2013

Объем переработанного сырья, м3: 530711

Расход ВСГ, м.куб/час: 79956.1

Влажность ВСГ, ppm: 6.3

Серы в гидрогенизате, ppm: 0.10

Расход сырья, м.куб/час: 60.0

P-2

Давление, атм: 27.00

Температура, °C: 501.6

Перепад темп., °C: 74.5

P-3

Давление, атм: 27.00

Температура, °C: 502.1

Перепад темп., °C: 32.3

P-4

Давление, атм: 27.00

Температура, °C: 502.0

Перепад темп., °C: 10.1

Гидрогенизат → Печь → Катализат

Состав ВСГ

	H ₂	C1	C2	C3	n-C4	изо-C4	n-C5	изо-C5	C6	
Состав ВСГ	75.71	10.25	5.78	4.54	1.14	1.03	0.23	0.43	0.37	(99.5%)

[<< Назад](#)
[Далее >>](#)

Рисунок 2.5 – Блок моделирования процесса риформинга

Благодаря данной математической модели определили состав риформата (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Состав риформата после процесса риформинга

Группа углеводородов	Состав, % масс.
Газы C ₁ -C ₄	2,97
н - C ₅	2,34
н - C ₆	2,54
н - C ₇	2,07
н -C ₈	0,69
н – C ₉	0,20
н – C ₁₀	0,22
Изомеры C ₄	0,88
Изомеры C ₅	3,86
Изомеры C ₆	6,33
Изомеры C ₇	7,76
Изомеры C ₈	3,40
Изомеры C ₉	0,94
Изомеры C ₁₀	0,12
Нафтенy C ₆	0,34
Нафтенy C ₇	0,41
Нафтенy C ₈	0,28
Нафтенy C ₉	0,22
Нафтенy C ₁₀	0,10
Ароматические углеводороды C ₆	1,39

Ароматические углеводороды C ₇	18,67
Ароматические углеводороды C ₈	21,93
Ароматические углеводороды C ₉	16,54
Ароматические углеводороды C ₁₀	5,81

Моделирование кинетики реакции и процессов на поверхности катализатора дает оценку скорости протекающих реакций в зависимости от условий их осуществления (состав смеси, температура, давление, тип катализатора и пр.).

Процесс протекания реакций изомеризации для каждого из реагентов смеси углеводородов на поверхности шарикового катализатора описывается системой дифференциальных уравнений следующего вида [35]:

$$\left\{ \begin{array}{l} G \frac{\partial C_i}{\partial Z} + G \frac{\partial C_i}{\partial V} = \sum_{j=1}^m a_j \cdot r_j \\ G \frac{\partial T}{\partial Z} + G \frac{\partial T}{\partial V} = \frac{1}{\rho \cdot C_p^{см}} \sum_{j=1}^m Q_j \cdot a_j \cdot r_j \end{array} \right.$$

где G – нагрузка по сырью, м³/с; C_i – концентрация i -го компонента, моль/м³; Z – объем переработанного сырья, м³; V – объем реактора изомеризации, м³; m – число реакций; i – номер компонента в смеси; j – номер реакции по формализованному механизму; T – температура в реакторе, °С; Q_j – тепловой эффект j -ой реакции, Дж/моль; ρ – плотность, моль/м³; $C_p^{см}$ – удельная теплоемкость газовой смеси, Дж/(моль·град); a_j – активность катализатора; r_j – координата по радиусу зерна [80].

С помощью компьютерной системы сопровождения процесса изомеризации «Izom» был выполнен расчет группового состава изомеризата после процесса изомеризации легкой. На рисунке 2.6 представлены используемые технологические параметры проведения процесса изомеризации в блоке моделирования.

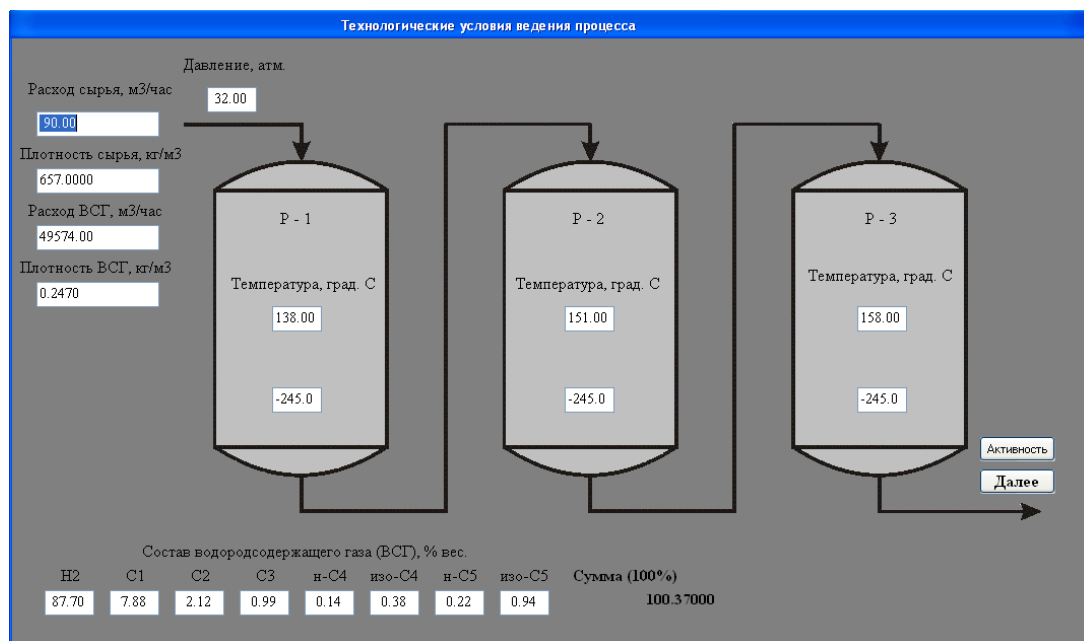


Рисунок 2.6 – Блок моделирования процесса изомеризации

Благодаря данной математической модели определили состав изомеризата (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Состав изомеризата после процесса изомеризации

Группа углеводородов	Состав, % масс
Газы C ₁ -C ₄	3,65
н – C ₅	8,22
н – C ₆	4,2
н –C ₇	0
Изомеры C ₄	0,41
Изомеры C ₅	34,79
Изомеры C ₆	27,94
Изомеры C ₇	0,42
Изомеры C ₈	0
Нафтенy C ₅	14,48
Нафтенy C ₆	5,27
Нафтенy C ₇	0,01
Ароматические углеводороды C ₆	0,62
Ароматические углеводороды C ₇	0

Аналогичным образом будут рассчитаны потоки сырья, отличного по составу, производимые блоком каталитической переработки прямогонных бензиновых фракций. В дальнейшем эти потоки будут использоваться для процесса компаундирования в моделирующей системе «Compounding».

2.5 Математическая модель процесса компаундирования товарных бензинов

Математическая модель процесса смешения компонентов бензинов позволяет подобрать условия для более эффективного проведения процесса компаундирования и получения рецептур требуемого качества.

Определяющую роль в данном процессе играет октановое число смешения, которое отличается от октановых чисел отдельных компонентов. Так как между углеводородами, входящими в состав бензинов, существует межмолекулярные взаимодействия, то нецелесообразно считать, что октановое число смеси является аддитивным либо по массе, либо по объему.

Таким образом, были установлены количественные закономерности между величиной полярности компонентов бензиновой смеси (дипольным моментом) и неаддитивностью октановых чисел смешения, согласно которым октановое число смешения можно представить в виде суммы двух составляющих: аддитивной и неаддитивной [36]:

$$\text{ОЧ}_{\text{см}} = \sum_{i=1}^n \text{ОЧ}_i \cdot C_i + B$$

$\text{ОЧ}_{\text{см}}$ – октановое число смешения бензинов;

ОЧ_i – октановое число i -го компонента;

C_i – концентрация i -го компонента, % мас.

B – суммарное отклонение октановых чисел от аддитивности;

Величина суммарного отклонения октановых чисел от аддитивности рассчитывается следующим образом [36]:

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

где B_i , B_j – величины, характеризующие склонность i -й молекулы к межмолекулярному взаимодействию с j -й молекулой, которую можно выразить через дипольные моменты молекул [36]:

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

где α и n – кинетические параметры, определяющие интенсивность межмолекулярных взаимодействий в зависимости от дипольного момента D , D_{max} – максимальный дипольный момент молекул ароматических углеводородов C_{9+} .

С помощью компьютерной моделирующей системы смешения «Compounding» можно осуществлять расчет детонационной стойкости, давления насыщенных паров и плотности, также данная программа позволяет фиксировать суммарное содержание олефиновых и ароматических углеводородов, в том числе бензола [38]. Окно программы представлено в приложении А на рисунке А.6.

В результате исследования с использованием компьютерной программы «Compounding» был произведен прогнозный расчет свойств автомобильных бензинов, при изменении состава перерабатываемого сырья, а также подбор соотношения потоков для получения рецептур товарных бензинов.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Предлагаемая математическая модель процесса производства автомобильных бензинов имеет достаточно высокий коммерческий потенциал и является ресурсосберегающей технологией.

Для проведения анализа потребителей результатов исследования, необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование [41].

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

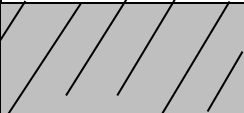
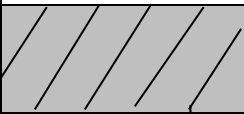
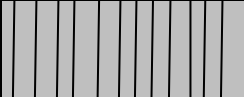
Потребитель	Вид услуги		
	Продажа программного продукта	Оказание услуг по исследованию и оптимизации	Продажа тренировочной версии
Крупные НПЗ			
Средние НПЗ			
Мелкие НПЗ			
Образовательные учреждения			

Рисунок 1- Карта сегментирования рынка услуг



Фирма А



Фирма Б



Фирма В

На Рисунке 4.1 показан уровень конкуренции рынке услуг по применению математической модели.

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. В ходе данного анализа были описаны сильные и слабые стороны научной разработки, выявлены возможности и угрозы для ее реализации. В дальнейшем было выявлено соответствие сильных и слабых сторон проекта внешним условиям и составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Оптимизация процесса производства бензинов на НПЗ. С2. Повышение эффективности переработки нефти. С3. Улучшение качества производимой продукции. С4. Активная модернизация производства. С5. Использование инновационных технологий. С6. Экологичность технологии. С7. Способность программы выполнять расчет углеводородного состава компонентов автомобильных бензинов. С8. Расчета оптимальных параметров проведения процесса. С9. Уменьшение риска выпуска некондиционных партий бензина.	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 изменением норм качества и стандартов продукции. Сл3. Слабая эффективность сбытовой сети. Сл4. Наличие конкурентов. Сл5. Отсутствие рекламной политики для продвижения на рынке.
Возможности:	СиВ:	СЛиВ:

В1. Интеграция в комплексную систему моделирования производства автомобильных бензинов с учетом влияния процессов нефтепереработки на качество конечного продукта. В2. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В3. Повышение экономичности и энергоэффективности процесса В4. Постепенное увеличение точности расчетов математической модели путем накопления собственной базы данных. В5. Внедрение модели в образовательную сферу в качестве компьютерного тренажера для обучения студентов. В6. Внедрение разработанной модели на предприятиях нефтепереработки для оптимизации процесса производства автомобильных бензинов. В7. Сокращение затрат путем оптимизации процесса производства бензинов. В8. Сотрудничество с зарубежными компаниями и увеличение спроса на модель, путем активной рекламы и реализации модели импортозамещения.	Оптимизация производства автомобильных бензинов и повышение эффективности 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 поспособствует энерго- и ресурсоэффективности процесса. Расширение аудитории потребителей путем внедрения модели в образовательную сферу в качестве компьютерного тренажера для обучения студентов.	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.
--	---	---

Угрозы:	СиУ:	СЛиУ:
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. Отсутствие заинтересованности предприятий по внедрению инновационного проекта. У6. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства. У7. Создание подобной модели на рынке в более быстрые сроки. У8. Несовместимость с имеющимся на НПЗ программным обеспечением. У9. Внедрение других моделей на предприятия НПЗ.	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. Использование инновационных технологий, их экологичность позволит избежать угрозы предпочтения потребителем разработок конкурентов. Также получение продуктов высокого качества и уменьшение риска выпуска некондиционных партий бензина, поспособствует развитию конкурентной среды. Продвижение новой технологии оптимизации процесса с применением математической модели. 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.	Увеличение точности расчетов математической модели путем накопления собственной базы данных позволит доработать модель в связи с возможными 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.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения планирования научно-исследовательских работ формируется рабочая группа, состав которой состоит из инженера, научного руководителя, консультанта по экономической части (ЭЧ) и консультанта по части социальной ответственности (СО) выпускной квалификационной работы. В рамках проведения научного исследования был составлен перечень этапов и работ, выполняемых по ходу разработки математической модели, также было проведено распределение исполнителей по видам работ. Результаты структуры работ представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Проведение патентных исследований	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Поиск необходимой литературы и программного обеспечения	Руководитель, инженер
	7	Разработка математической модели	Руководитель, инженер
	8	Проведение теоретических расчетов и обоснований на разработанной модели	Инженер
	9	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер
Обобщение и оценка результатов	10	Анализ и оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер

Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	11	Разработка принципиальной технологической схемы	Руководитель, инженер
	12	Выбор и расчет конструкции колонны сплиттера нефти	Инженер
	13	Подбор данных и оформление экономической части работы	Инженер
	14	Разработка социальной ответственности по данной работе	Инженер
	15	Оценка эффективности производства и применения научной разработки	Инженер
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	16	Составление пояснительной записки	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Ожидаемая трудоемкость $t_{ожи}$ оценивается в человеко-днях по следующей формуле:

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

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

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

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

Рассчитаем по формуле 1 ожидаемую трудоемкость для первого из этапов работы, приведенных в таблице 2:

$$t_{ожи} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 3}{5} = 2,4 \text{ чел.-дн.}$$

Аналогичный расчет проведен для последующих этапов. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяем продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p по следующей формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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

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

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

Продолжительность выполнения первого этапа работ в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{2,4}{1} = 2,4 \text{ раб. дн.}$$

Для остальных этапов расчет аналогичен. Все результаты представлены в таблице 3.

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

График проведения научного исследования представим в форме диаграммы Ганта - ленточный график, на котором этапы работ представлены в виде протяженных во времени отрезков, которые характеризуют даты выполнения работ.

Для удобства построения графика воспользуемся формулой 3, чтобы перевести из рабочих дней в календарные длительность каждого из этапов работ.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле 4:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году ($T_{\text{кал}} = 365$ дней);

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году ($T_{\text{вых}} = 52$ дня)

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году ($T_{\text{пр}} = 14$ дней).

Рассчитаем коэффициент календарности выполнения работ

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22.$$

Переведем из рабочих дней в календарные продолжительность выполнения первого этапа работ:

$$T_{ki} = 2,4 \cdot 1,22 = 2,928 = 3 \text{ к. дн.}$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 - Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнитель (И – инженер, Р – руководитель)	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
		$t_{\min}$, чел-дни	$t_{\max}$, чел-дни	$t_{\text{ожид}}$, чел-дни			
1	Составление и утверждение технического задания	2	3	2,4	Р	2,4	3
2	Подбор и изучение материалов по теме	7	10	8,2	И	8,2	11
3	Проведение патентных исследований	5	7	5,8	И	5,8	8
4	Выбор направления исследований	2	4	2,8	Р	2,8	3
		3	5	3,8	И	3,8	5
5	Календарное планирование работ по теме	2	4	2,8	Р	2,8	3
		3	5	3,8	И	3,8	5
6	Поиск необходимой литературы и программного обеспечения	2	4	2,8	Р	2,8	3
		5	7	5,8	И	5,8	8

7	Разработка математической модели	7	10	8,2	Р	8,2	10
		15	20	17	И	17	21
8	Проведение теоретических расчетов и обоснований на разработанной модели	7	10	8,2	И	8,2	11
9	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	5	7	5,8	И	5,8	9
10	Анализ и оценка эффективности полученных результатов	3	5	3,8	Р	3,8	5
		5	7	5,8	И	5,8	8
11	Разработка принципиальной технологической схемы	3	5	3,8	Р	3,8	5
		7	10	8,2	И	8,2	11
12	Выбор и расчет конструкции колонны сплиттера нефти	15	20	17	И	17	21
13	Подбор данных и оформление экономической части работы	7	10	8,2	И	8,2	11
14	Разработка социальной ответственности по данной работе	7	10	8,2	И	8,2	11
15	Оценка эффективности производства и применения научной разработки	3	5	3,8	И	3,8	5
16	Составление пояснительной записки	15	20	17	И	24	21

По таблице 4.3 построили календарный план-график, представленный в приложении В в таблице В.1.

4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

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

Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта, включая затраты на канцелярские принадлежности, картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (5)$$

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями.

Величина коэффициента (k_T) – транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Бумага	шт	350	0,95	396
Ручка	шт	5	25	200
Карандаш	шт	3	10	36
Стирательная резинка	шт	1	30	48
Чернила для принтера	мл	400	5	2120
Итого, руб.				2800

Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Затраты на специальное оборудование для научных работ, включая 15% на затраты по доставке и монтажу, а также амортизационные отчисления за время использования оборудования. Все расчеты сведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Расчет амортизационных отчислений за время использования спецоборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Амортизация, тыс. руб. в год	Общая стоимость амортизационных отчислений, тыс. руб.
1	Компьютер	1	30	6	6
2	Принтер	1	4	0,8	0,8
Итого, тыс. руб.:					6,8

Основная заработная плата исполнителей темы

Произведем расчет основной заработной платы работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату по следующей формуле:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

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

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

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя и инженера рассчитывается формуле 7:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 3);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

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.

В таблице 4.7 представлен баланс рабочего времени для руководителя и инженера, а также действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала.

Таблица 4.7 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	44	48
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	275

Месячный должностной оклад работника:

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

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

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

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{\text{тс}}$);

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Разряд	$k_{\text{т}}$	$Z_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	Ассистент кн	-	20800*1,28	0,3	0,3	1,3	55377,92	2471	52	128494,4
Инженер		-	24900*1,28	-	-	1,3	66293,76	2507	126	315895,8
Итого $Z_{\text{осн}}$										444390,2

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы, учитывающей величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций ведется по следующей формуле:

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

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Рассчитаем дополнительную заработную плату для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = 0,13 \cdot 128494,4 = 16704,27 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата для инженера:

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 315895,8 = 37907,50 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

На 2019 год социальный налог для университетов составляет – 27,1%.

В таблице 4.9 представлены отчисления во внебюджетные фонды.

Таблица 4.9 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	128494,4	16704,27
Инженер	315895,8	37907,50
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого, руб.:	135229,5	

Накладные расходы

Накладные расходы, учитывающие прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии и т.д. определяем по следующей формуле:

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

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (16%).

$$\begin{aligned} З_{накл} &= (2800 + 6800 + 444390,2 + 16704,27 + 37907,50 + 135229,5) \cdot 0,16 \\ &= 103\,013,035 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками).

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

При разработке данного проекта были использованы услуги интернета. Ежемесячная оплата равна 750 рублей. Значит, общие расходы составили: 4 500 рублей.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Бюджет затрат на научно-исследовательскую разработку приведен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	2 800	Пункт 2.4.1
2. Затраты на специальное оборудование	6 800	Пункт 2.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	444 390,2	Пункт 2.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	54 611,77	Пункт 2.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	135 229,5	Пункт 2.4.5
6. Накладные расходы	103 013,035	16 % от суммы ст. 1-6
7. Контрагентные расходы	4 500	Пункт 2.4.7
8. Бюджет затрат НТИ	751 344,505	Сумма ст. 1- 7

В результате данного раздела было выполнено планирование исследовательских работ, а именно определены этапы работы и ее

исполнители, составлено календарное планирование работ по теме. Далее был произведен расчет ожидаемой трудоемкости работ, исходя из которой, была определена продолжительность каждой работы в рабочих и календарных днях. Опираясь на расчеты, был построен график Ганта для проведения научного исследования, на котором видна временная протяженность выполнения каждой из работ. Также были рассчитаны материальные затраты НТИ, затраты на специальное оборудование, затраты по основной и дополнительной заработной плате исполнителей темы, а также отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы. Все результаты расчетов сведены в таблице 4.10. Согласно полученным результатам бюджет научно-технической разработки составляет 751 344,505 рублей.

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

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

Сравним ресурсную и финансовую эффективность с двумя аналогами, существующими на рынке - BOSS (Blend Optimization and Supervisory System) и Open BPC (Open Blend Property Control), которые управляют важным и завершающим процессом в производстве товарных продуктов, в том числе автомобильных бензинов, – компаундированием.

Интегральный финансовый показатель разработки отражает соответствующее численное увеличение или уменьшение бюджета затрат разработки в размах и определяется как:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

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

Φ_{pi} – стоимость научной разработки;

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

Стоимость BOSS составляет 880 000 руб.,

стоимость Open BPC – 950 000 руб.

Рассчитаем интегральный финансовый показатель научной разработки по формуле 13:

$$I_{финр}^p = \frac{751344,505}{751344,505 + 880\,000 + 950\,000} = 0,237$$

Интегральный финансовый показатель первого аналога (BOSS):

$$I_{финр}^{A1} = \frac{880\,000}{751344,505 + 880\,000 + 950\,000} = 0,363$$

Интегральный финансовый показатель второго аналога (Open BPC):

$$I_{финр}^{A2} = \frac{950\,000}{751344,505 + 880\,000 + 950\,000} = 0,400$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности объекта исследования можно определить по следующей формуле:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для разработки или аналога;

a_i – весовой коэффициент разработки или аналога;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка исполнения разработки (аналога), устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

В таблице 4.11 представлены сравнительные оценки характеристик научной разработки и аналогов.

Таблица 4.11- Сравнительная оценка характеристик разработки и аналогов

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Научная разработка	Первый аналог (BOSS)	Второй аналог (Open BPC)
1. Способствует снижению затрат на внедрения процесса на производстве (снижает материальные издержки)	0,25	5	3	4
2. Простота и удобство в эксплуатации	0,10	4	4	4
3. Оптимизация процесса для повышения производительности (выбор оптимального катализатора или оптимальной технологической схемы)	0,20	5	3	3
4. Определение слабых мест процесса (неправильно подобранный режим или оборудование)	0,20	5	3	4
5. Энергосбережение (улучшение параметров процесса)	0,10	5	5	5
6. Материалоемкость (снижение себестоимости сырья и увеличение выхода продукта за счет проведения процесса при оптимальных условиях)	0,15	4	5	5
ИТОГО	1	4,67	3,83	4,17

По данным в таблице 4.11 рассчитываем интегральный показатель ресурсоэффективности:

- разработки: $I_p = 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,10 + 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,15 = 4,75$;
- первого аналога: $I_{A1} = 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,10 + 3 \cdot 0,20 + 3 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,10 + 5 \cdot 0,15 = 3,60$;
- второго аналога: $I_{A2} = 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,10 + 3 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,10 + 5 \cdot 0,15 = 4,05$;

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{исп.}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по следующей формуле:

$$I_{p-ки} = \frac{I_p}{I_{финр}^p}, \quad I_{A-га1} = \frac{I_{A1}}{I_{финр}^{A1}} \text{ и т.д.}$$

Рассчитаем значения интегральный показатель эффективности научной разработки и аналогов, соответственно, по формуле 15:

$$I_{p-ku} = \frac{4,75}{0,237} = 20,04; \quad I_{A-za1} = \frac{3,60}{0,363} = 9,92; \quad I_{A-za2} = \frac{4,05}{0,400} = 10,125$$

Сравнение интегрального показателя эффективности научной разработки и аналогов позволяет определить сравнительную эффективность проекта по следующей формуле (таблица 4.12).

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_p}{I_{A,i}}$$

А также позволяет убедиться, что данная разработка имеет высокие показатели эффективности и может иметь преимущество на рынке среди аналогов.

Таблица 4.12 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Научная разработка	Первый аналог (BOSS)	Второй аналог (Open BPC)
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,237	0,363	0,400
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,75	3,60	4,05
3	Интегральный показатель эффективности	20,04	9,92	10,125
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	-	2,02	1,98

В результате данного раздела был рассмотрен целевой рынок потребителей результатов исследования, составлена карта сегментирования рынка услуг (рисунок 4.1), а также наличие заинтересованных потребителей для более эффективного продвижения данной разработки на рынке. Также были исследованы внешняя и внутренняя среда проекта, определены его слабые и сильные стороны, рассмотрены угрозы и возможности научной разработки. Все результаты исследования сведены в матрицу SWOT (таблица 4.1).

В результате данного раздела была определена эффективность данной научной разработки, а именно рассчитан интегральный показатель эффективности, опираясь на показатели ресурсоэффективности и финансовой эффективности. Также были выявлены критерии эффективности, по которым была произведена оценка сравнительных характеристик данной разработки существующих на рынке аналогов. По рассчитанной сравнительной эффективности (таблица 4.12) можно сделать вывод о том, что текущая разработка является эффективной по сравнению с представленным на рынке программным обеспечением с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

5 Социальная ответственность

Введение

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.

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

Экспериментальная часть бакалаврской работы 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.

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

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

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов субъектов РФ. Среди них можно выделить

федеральный закон “Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний”. Для реализации этих 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.

При выполнении работы по теме математическое моделирование производства автомобильных бензинов одним из важных требований являются разделы, посвященные рабочему месту. Оно должно соответствовать требованиям охраны труда и быть защищенным от влияния вредных и (или) опасных производственных факторов и её организация должна соответствовать правовым нормам, а также антропометрическим, социальным, психофизическим данным работника.

Для выполнения задачи сохранения жизни и здоровья работника, согласно приказу 302 Минздравсоцразвития России, при поступлении на работу проводится медосмотр, с целью проверки здоровья кандидата на соответствие. Для сохранения и поддержания здоровья работников, применяют комплексные меры. Они включают в себя средства индивидуальной защиты, которые обеспечивают механическую, термическую, биологическую, химическую, электрическую и радиационную безопасность, а так же для снижения вредного воздействия химических факторов (969 компонентов), биологических (микроорганизмы, препараты с живыми клетками) и физических (ионизирующие излучения) работникам выдается молоко питьевое в количестве 0,5 литра за смену для выведения из организма токсических веществ (возможна замена молока равноценными продуктами, согласно Приложению N1 или же денежная выплата).

5.2 Производственная безопасность

Произведем анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, 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».

Таблица 5.1 - Возможные опасные и вредные факторы.

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата в помещении.	+	+	+	ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
2.Недостаточная освещенность рабочей зоны.	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ Пожарная
3.Повышенное значение электромагнитного излучения и напряжения в электрической цепи.	+	+	+	безопасность. Общие требования (01.07.92). ГОСТ 12.1.019-2017 (с изм.№1) ССБТ. Электробезопасность. Общие
4.Психофизиологические производственные факторы.	+	+	+	требования и номенклатура видов защиты. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов

5.3.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении

Основными параметрами микроклимата является температура, относительная влажность и скорость воздуха. Микроклимат оказывает влияние на самочувствие человека, его трудоспособность и протекания физиологических процессов.

Для оценки метеоусловий в помещениях производят измерения температуры, влажности, запыленности, скорости движения воздуха. Результаты измерения сравнивают с нормативами ГОСТ 12.1.005-88.

Лаборатория относится к помещениям с небольшими выделениями тепла. Для помещений этого типа относительными метеорологическими условиями являются [42].

Таблица 5.2 - Сравнительная характеристика данных и допустимых показателей в лаборатории.

Метрологические условия	Данный показатель в лаборатории	Допустимый показатель в лаборатории
1. В холодное время с температурой наружного воздуха ниже +10°C		
температура воздуха в лаборатории, °C	+21 °C +23	+20 – +22
относительная влажность воздуха, %	40-60	35 – 55
скорость движения воздуха, м/с	0.1	0.1 - 0.2
2. В теплый период с температурой наружного воздуха выше +10°C		
температура воздуха в лаборатории, °C	+22 °C +24	+20 – +22
относительная влажность воздуха, %	40-60	35 – 55
скорость движения воздуха, м/с	0.2	0.1 - 0.2

На рабочих местах пользователей ПК должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата в соответствии с [43]. 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.

5.3.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Согласно [44] 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 освещенность 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 освещенности 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.

5.3.3 Повышенное значение электромагнитного излучения и напряжения в электрической 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.

Допустимые уровни электромагнитного излучения при работе с источниками излучения устанавливаются ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ "Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах", ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ" - Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля", а также другими нормативными правовыми актами по охране труда.

Электробезопасность установки должна обеспечиваться в любых возможных нормальных и аварийных эксплуатационных ситуациях. Источниками электрической опасности могут являться:

- оголенные части проводов или отсутствие изоляции;
- отсутствие заземления;
- замыкания;
- статическое напряжение.

Согласно [45], проведен контроль напряжений прикосновения и токов в местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека. Класс точности измерительных приборов не ниже 2,5.

Основными техническими способами и средствами защиты от поражения электрическим током являются:

- защитное зануление;
- выравнивание потенциалов;
- защитное заземление;
- электрическое разделение сети;
- изоляция токоведущих частей;

- оградительные устройства и другое.

Такие способы, как защитное заземление и изоляция применяются в помещении отдела разработки печатных плат. Из реально возможных аварийных случаев можно выделить пробой изоляции. В лаборатории отдела разработки печатных плат не имеется не защищенных изоляцией токоведущих частей электроустановок. Для контроля состояния электрической изоляции проводов, производят периодические испытания изоляции. Периодическое измерение сопротивления изоляции позволяет своевременно выявить и устранить повреждения.

5.3.4 Психофизиологические производственные факторы

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 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.

5.3.5 Мероприятия по защите от опасных и вредных факторов

Обязательными условиями ведения процесса, исключающими возможность возникновения аварий и обеспечивающими нормальные санитарно – гигиенические условия труда являются:

- эксплуатация оборудования и аппаратов в соответствии с требованиями стандартов,
- работа только на исправном оборудовании (технологическом, электрооборудовании, контрольно-измерительных приборах),
- строгое соблюдение правил проведения всех видов ремонтных работ,
- обеспечение герметичности всех систем трубопроводов,
- контроль за содержанием взрывоопасных газов в воздухе рабочих помещений,
- исправность системы дистанционного и автоматического регулирования, сигнальных устройств,
- теплоизоляция всех аппаратов, процесс в которых проводится при повышенных температурах, а также трубопроводов горячих паров и жидкостей.

5.4 Экологическая безопасность

Вредное воздействие установки компаундирования может распространяться на атмосферу.

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.

5.4.1 Воздействие на атмосферу

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 C1-C5, бензола, толуола и ксилола, которые не должны превышать установленных норм на предприятии [47-48].

5.4.2 Воздействие на гидросферу

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 согласно [49] не допускается утечка нефти и нефтепродуктов.

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.

5.4.3 Воздействие на литосферу

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.

В таблице 5.3 приведены виды отходов и способы их утилизации по технологическому регламенту [50].

Таблица 5.3 – Виды отходов и способы их утилизации

Наименование отхода	Способ хранения отхода	Способ утилизации
Лампы ртутные,	В закрытой таре	Накопление

ртутно-кварцевые, люминесцентные, утратившие потребительские свойства	раздельно (тара завода – изготовителя)	осуществляется на месте образования на специально отведенном для этого складе.
Спецодежда из натуральных, синтетических, искусственных и шерстяных волокон, загрязненная нефтепродуктами (содержание нефтепродуктов менее 15 %)	В закрытой таре в смеси (контейнер V=0.1м3, 4 шт.)	По мере накопления вывозятся для захоронения на полигон ТБО
Мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный)	В закрытой таре в смеси (контейнер V=0.7м3, 3 шт.)	Накопление осуществляется в металлических контейнерах. По мере накопления вывозятся для захоронения на полигон ТБО

5.4.4 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

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

5.4.5 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды и борьбы с загрязнениями

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 промотходов;
- 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.

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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.

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 ЭВМ, 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.

Для устранения возможности пожара, выделяют следующие мероприятия [51]:

- проведение инструктажей по пожарной безопасности;
- по окончании 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.

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.

Мероприятия, проводимые во время чрезвычайных ситуаций (аварий, стихийных бедствий, военных конфликтов), представляют собой проведение спасательных работ и неотложных аварийно-восстановительных работ в очаге поражения [51]. Данные мероприятия должны проводиться на основании положения комплекса государственных стандартов по предупреждению и ликвидации чрезвычайной ситуации и определены в системе стандартов безопасности труда [52].

При возникновении аварийной ситуации технологический персонал должен немедленно сообщать об аварийной ситуации диспетчеру, начальнику установки и принимают соответствующие меры по ликвидации аварии, руководствуясь «Планом локализации аварийных ситуаций» (ПЛАС). Для исключения возможности несчастных случаев проводят проверку знаний работников, требований безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004-2015.

Выводы по разделу

В данном разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, нормы трудового законодательства, а также 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 в лаборатории, при разработке или эксплуатации проектируемого решения.

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.

Произведен анализ возможных чрезвычайных ситуаций (ЧС), которые могут возникнуть при разработке, производстве или эксплуатации модели процесса производства автомобильных бензинов.

Заключение

Благодаря развитию и применению методов математического моделирования, стало возможным прогнозирование проведения процесса по производству товарных автомобильных бензинов, разработка рекомендации по корректировке режимов колонны разделения широкой бензиновой фракции, а также по оптимальным соотношениям потоков, направляемых на смешение товарных бензинов.

В ходе проделанной работы были достигнуты следующие результаты:

1. Установлено влияние покомпонентного состава и качества сырья на рецептуры и свойства получаемых моторных топлив. В данной работе рассматривалось влияние конкретных потоков компонентов смешения, таких как: «Риформат» и «Изомеризат». Влияние было оценено за счет сравнения характеристик полученных бензинов с использованием данных потоков низкого, среднего и высокого качества.

2. Представлены рекомендации по корректировке технологического режима разделения широкой бензиновой фракции для улучшения свойств продуктов каталитического риформинга и изомеризации.

3. Разработаны оптимальные рецептуры компаундирования бензинов торговых марок «Регуляр-92», «Премиум-95» и «Супер-98» с помощью моделирующей системы «Compounding», в зависимости от качества компонентов, вовлекаемых в смешение. Полученный товарный бензин соответствует требованиям ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные [6]. Бензин неэтилированный. Технические условия».

4. Проведена оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения научно-технического исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Спланирован бюджет научных исследований. Определена ресурсосберегающая, финансовая, бюджетная, социальная и экономическая эффективность исследования и выявлено, что данное исследование с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности является привлекательным.

5. Проведён анализ вредных и опасных факторов, возможных чрезвычайных ситуаций (ЧС), которые могут возникнуть при разработке или эксплуатации проектируемого решения. Проанализирован характер воздействия проектируемого решения по производству бензинов на окружающую среду и персонал, а также принятие решений, направленных на их защиту.

Список использованных источников

1. Данные о повышении НДС [Электронный ресурс]. – Комсомольская правда. URL: <https://www.tomsk.kp.ru/daily/26861.7/3903748/>, свободный. – Дата обращения: 18.02.2019 г.
2. Интервью В. Милова [Электронный ресурс]. – Новая газета. URL: <https://www.novayagazeta.ru/articles/2018/11/01/78424-ne-nado-protivopostavlyat-horoshuyu-vlast-plohim-neftyanikam-oni-zaодно>, свободный. – Дата обращения: 18.02.2019 г.
3. 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: 18.02.2019 г.
4. Емельянов, В. Е. / Производство автомобильных бензинов / В. Е. Емельянов. – Москва: Техника ТУМА ГРУПП, 2008. – 192 с.
5. Все о топливе. Автомобильный бензин: Свойства, ассортимент, применение / В. Е. Емельянов. – М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2003. – 79 с.
6. ГОСТ 32513-2013. Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014. – 18 с.
7. Турукалов М. Полная изомеризация // Нефтегазовая вертикаль. – 2008. – № 16. – С. 22-28.
8. 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. – 2006. – С. 26–29.
9. Ю.А. Федоров, Ю. К. Д. Подбор эффективного катализатора для процесса изомеризации фракций с5-с6. // Булатовские чтения. – 2018.- С. 307–309.
10. Калягин, К. А., Давлетшин, А. Р., Гаеткулова, Г. К., Пэн, К., Шадрина, А. Э. Испытание платиносодержащих цеолитных катализаторов в

- процессе изомеризации. // «Нефтегазовое Дело». – 2018. - № 4. – С. 84–99.
11. 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: 26.02.2019 г.
12. 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.
13. Данные о катализаторах [Электронный ресурс]. – Химик. URL: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/1914.html>, свободный. – Дата обращения: 28.02.2019 г.
14. A.A. Ishbulatova, A.V. Dolmatov, N.A. Rudnev, A. U. A. INTENSIFICATION OF THE PERFORMANCE OF A GASOLINE ISOMERIZATION UNIT. // Нефтегазовое Дело. – 2016. – С. 165–174.
15. Технологии процесса изомеризации [Электронный ресурс]. – ООО НПП «Нефтехим». URL: <http://nefthim.ru/razrabotki/tehnologii-izomerizatsii/>, свободный. – Дата обращения: 04.03.2019 г.
16. Ясакова, Е. А., Ситдикова, А. В., & Ахметов, А. Ф. Тенденции Развития Процесса Изомеризации в России и за Рубежом. // Нефтегазовое Дело. - 2010.- С. 3–11.
17. Хаимова Т.Г., Мхитарова Д.А. Изомеризация как эффективный путь производства высокооктановых компонентов бензина // Информационно-аналитический обзор. М.: ЦНИИТ Энефтехим. - 2005. – 80 с.
18. Данные о катализаторах технологиях [Электронный ресурс]. – Фирма «Honeywell UOP». URL: <http://honeywell.com/Pages/Home.aspx>, свободный. – Дата обращения: 09.03.2019 г.
19. Р.С. Мейерс, Основные процессы нефтепереработки. ЦОП «Профессия», Спб, 2011. 944 с.

20. 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). – 2007. – С. 60–66.
21. Хатмуллина Д.Д. Катализаторы риформинга. // Молодой Учёный. – 2014. - № 1. – С. 136-138.
22. Данные о катализаторах риформинга [Электронный ресурс]. – Фирма «ОЛКАТ». URL: <http://www.olkat.ru/>, свободный. – Дата обращения: 12.03.2019 г.
23. В.Г. Козин, Н.Л. Солодова, Н.Ю. Башкирцева, А.И.Абдуллин, Современные технологии производства компонентов моторных топлив. КГТУ, Казань, 2009. 328 с.
24. П.Г. Баннов, Процессы переработки нефти. ХИМИЗ-ДАТ, Спб, 2009. 368 с.
25. Ишмурзин А.В, Дорощук А.Б., Яшин А.А., Марышев В.Б., Осадченко А.И. Особенности технологии и результаты модернизации процесса каталитического риформинга. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2009. - № 4. – С. 35-37.
26. Abdullah M. Licensed Reforming Processes // Aitani King Fahd University of Petroleum and Minerals Dhahran, Saudi Arabia. - 2009. - С. 483-491.
27. Ишмурзин А.В., Минхайров М.Ф., 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. - 2008. - № 1.
28. Д.Р. Ахметзянов, М.С. Набиев, Н. Л. С. Методы удаления бензола из катализата риформинга. // Вестник Технологического Университета. – 2017. - № 8. – С. 133–143.
29. Н. Р. Тамаев, Н. Л. Солодова, Н. А. Т. Пути снижения содержания бензола в катализатах риформинга. // УДК 665.642.5. – 2005. – С. 133–137.

30. Физико-химические свойства топлив [Электронный ресурс]. – Химия нефти URL: <http://proofoil.ru/Oilchemistry/phisyschemicalproperty2.html>, свободный. – Дата обращения: 15.03.2019 г.
31. В.Е. Емельянов, И.Ф. Крылов, Автомобильный бензин и другие виды топлива. Свойства, ассортимент и применение. Астрель АСТ Профиздат, Москва, 2005. 207 с.
32. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: учебное пособие. – Москва: Академкнига, 2006. – 416 с.
33. Кравцов, А. В., Иванчина, Э. Д., Смышляева, Ю. А. Математическое моделирование процесса компаундирования товарных бензинов с учетом реакционной способности компонентов Смеси. // Известия Томского Политехнического Университета. – 2009. - № 3. - С. 81–85.
34. Карпов С.А., Борзаев Б.Х., Елиша М.К. Актуальные аспекты производства современных автомобильных топлив // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2007. – № 5. – С. 15-19.
35. Смышляева, Ю. А., Иванчина, Э. Д., Кравцов, А. В., Зыонг, Ч. Т., Фан Ф. Разработка базы данных по октановым числам для математической модели процесса компаундирования товарных бензинов. // Известия Томского Политехнического Университета. – 2010. - № 3. – С. 75–80.
36. Киргина М.В., Чеканцев Н.В., Иванчина Э.Д., Майлин М.В., Сахневич Б.В. Повышение ресурсоэффективности процессов производства моторных топлив методом математического моделирования // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2013. – №. 10. – С. 28-33.
37. Кравцов А.В., Иванчина Э.Д. Технологические компьютерные системы – новый этап в развитии методов управления процессами переработки углеводородного сырья // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2005. № 9. – С. 40-43.

38. Kirgina M.V., Ivanchina E.D., Dolganov I.M., Chekantsev N.V., Kravtsov A.V., Fu F. Computer Program for Optimizing Compounding of High-Octane Gasoline // Chemistry and Technology of Fuels and Oils – 2014. – Vol. 1. – P. 12-18.
39. Майлин М.В., Киргина М.В. Расчет и корректировка существующих рецептур приготовления для производства бензинов евро-класса // Химия под знаком СИГМА: исследование, инновации, технологии: тезисы докладов IV Всероссийской научной молодежной школы-конференции, Омск, 12-18 Мая 2014. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – С. 364-365.
40. Карпов С.А. Качество автомобильных бензинов в свете современных эксплуатационных требований // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2007. – №8. – С. 16-19.
41. И.Г. Видяев, Г.Н. СЕРИКОВА, Н.А. Гаврикова. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение. Учебно-методическое пособие. Томск: Изд-во НИ ТПУ, 2014. – 36 с.
42. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. - утвержден и введен 01.10.1996 - НИИ медицины труда РАМН, Госкомсанэпиднадзор России.
43. Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.1294–03 - утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 18 апреля 2003г. Москва.
44. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (ред. от 21.06.2016). - Министерство юстиции Российской Федерации, 2003.
45. ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – введ. 01.01.2019 - М.: Стандартинформ, 2017.

- 46.Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (ред. 15.11.2018) от 24 июля 2013 года N 328н. – М: АО "Кодекс", 2013.
- 47.ГН 2.1.6.3492-17 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений" (ред. 31.05.2018). – М: АО "Кодекс", 2017.
- 48.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, 2004.
- 49.ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений. – введ. 01.07.1986. - М.: ФГУП "СТАНДАРТИНФОРМ", 2010.
- 50.ГОСТ 17.4.3.04-85 Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения. – введ. 01.07.1986. - М.: Стандартиформ, 2008.
- 51.ГОСТ Р 22.0.01-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения. – введ. 01.06.2017. – М.: Стандартиформ, 2016.
- 52.ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда. Общие положения. – введ. 01.03.2017 – М.: Стандартиформ, 2016.
- 53.Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) – Москва, Кремль, 2001.

Приложение А

Дополнительные материалы к разделу 2

Таблица А.1 – Проектные и расчетные составы потоков колонны-сплиттера

Компонент	Нафта (Сырье) , % масс.	Легкая нефтя (Верх), % масс.		Тяжелая нефтя (Низ), % масс.	
	Проектное	Проектное	Расчетное	Проектное	Расчетное
Вода (H ₂ O)	Следы	-	0,00	-	0,00
Сероводород (H ₂ S)	Следы	-	0,00	-	0,00
Аммиак (NH ₃)	Следы	-	0,00	-	0,00
Водород (H ₂)	-	-	0,00	-	0,00
Метан (C ₁)	Следы	-	0,00	-	0,00
Этан (C ₂)	Следы	-	0,00	-	0,00
Пропан (C ₃)	Следы	Следы	0,00	-	0,00
Изобутан	1,44	1,44	1,44	-	0,00
н - Бутан	18,71	18,71	18,71	-	0,00
Олефин C ₄	0,01	0,01	0,01	-	0,00
Изопентан	172,22	172,22	172,22	-	0,00
н - Пентан	198,64	198,64	198,64	-	0,00
Циклопентан	140,08	140,08	140,08	-	0,00
2,2 - Диметилбутан	2,55	2,55	2,55	-	0,00
2,3 - Диметилбутан	9,01	9,01	9,01	Следы	0,00
2 - Метилпентан	60,98	60,98	60,98	Следы	0,00
3 - Метилпентан	55,57	55,57	55,57	Следы	0,00
н - Гексан	92,59	92,57	92,59	0,02	0,00
Метилциклопентан	71,33	71,22	71,31	0,11	0,02
Циклогексан	53,33	45,13	45,02	8,21	8,31
Бензол	9,16	9,15	9,15	Следы	0,01
2,2 - Диметилпентан	2,21	2,02	2,13	0,19	0,08
2,4 - Диметилпентан	4,40	3,98	4,21	0,42	0,19
2,2,3 - Триметилбутан	1,10	0,85	0,70	0,25	0,40
3,3 - Диметилпентан	2,26	0,52	0,01	1,74	2,25
2,3 - Диметилпентан	13,56	0,55	0,01	13,00	13,55
2 - Метилгексан	37,36	2,03	0,04	35,33	37,32
3 - Метилгексан	45,76	0,62	0,01	45,14	45,75
3 - Этилпентан	4,53	0,02	0,00	4,52	4,53
н - Гептан	96,02	0,02	0,00	96,01	96,02
Диметилциклопентан	38,59	2,27	0,05	36,31	38,54
Метилциклогексан	140,79	Следы	0,00	140,79	140,79
Этилциклопентан	39,22	Следы	0,00	39,22	39,22
Толуол	28,24	Следы	0,00	28,24	28,24
Изооктан	92,57	0,01	0,00	92,56	92,57
н - Октан	79,49	-	0,00	79,49	79,49
Пропилциклопентан	69,95	Следы	0,00	69,95	69,95
Этилциклогексан	105,75	-	0,00	105,75	105,75
Этилбензол	5,71	-	0,00	5,71	5,71

п - Ксилол	5,32	-	0,00	5,32	5,32
м - Ксилол	15,71	-	0,00	15,71	15,71
о - Ксилол	6,79	-	0,00	6,79	6,79
Изононан	99,76	-	0,00	99,76	99,76
н - Нонан	53,61	-	0,00	53,61	53,61
Бутилциклопентан	77,68	-	0,00	77,68	77,68
Пропилциклогексан	94,08	-	0,00	94,08	94,08
Изопропилбензол	2,14	-	0,00	2,14	2,14
н - Пропилбензол	2,14	-	0,00	2,14	2,14
1 - Метил - 3 - Этилбензол	1,84	-	0,00	1,84	1,84
1 - Метил - 4 - Этилбензол	3,96	-	0,00	3,96	3,96
1,3,5 - Триметилбензол	3,68	-	0,00	3,68	3,68
1 - Метил - 2 - Этилбензол	2,48	-	0,00	2,48	2,48
1,2,4 - Триметилбензол	10,52	-	0,00	10,52	10,52
1,2,3 - Триметилбензол	3,16	-	0,00	3,16	3,16
Индан	1,06	-	0,00	1,06	1,06
Насыщенные C ₁₀	111,04	-	0,00	111,04	111,04
Бутилциклогексан	56,71	-	0,00	56,71	56,71
Пентилциклопентан	42,21	-	0,00	42,21	42,21
Ароматические C ₁₀	1,86	-	0,00	1,89	1,86
Бутилбензол	1,76	-	0,00	1,76	1,76
1 - Метил - 2 - Изопропилбензол	1,76	-	0,00	1,76	1,76
1,4 - Диэтилбензол	1,76	-	0,00	1,76	1,76
1,3 - Диметил - 4 - Этилбензол	1,76	-	0,00	1,76	1,76
1,2,4,5 - Тетраметилбензол	1,76	-	0,00	1,76	1,76
1,2,3,4 - Тетраметилбензол	1,86	-	0,00	1,86	1,86
Насыщенные C ₁₁₊	14,89	-	0,00	14,89	14,89
Нафтенy C ₁₁₊	19,23	-	0,00	19,23	19,23
Ароматические C ₁₁₊	0,79	-	0,00	0,79	0,79

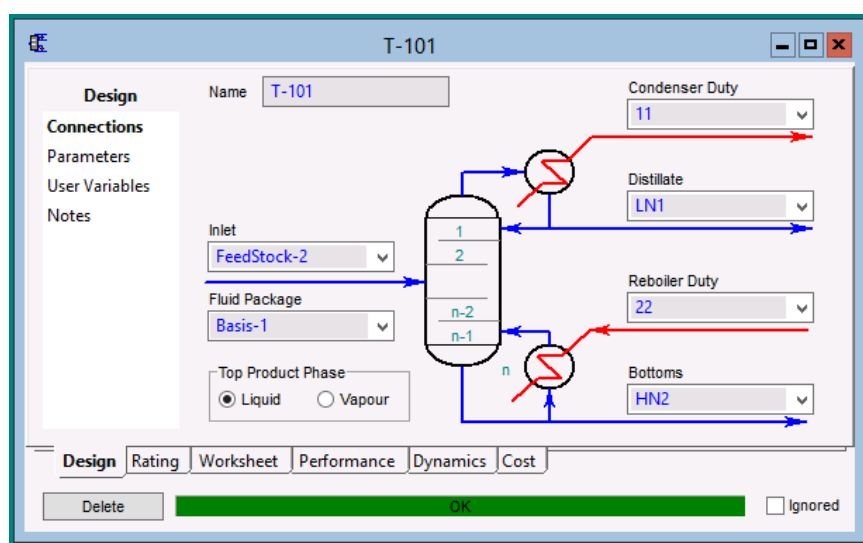


Рисунок А.1 – Внутренняя среда «ShortCut Column»

T-101

Design

Connections
Parameters
User Variables
Notes

Components

Component	Mole Fraction
i-Pentane	0,0000
Toluene	0,0000

Light Key in Bottoms
Heavy Key in Distillate

Pressures

Condenser Pressure	228,800 kPa
Reboiler Pressure	288,600 kPa

Reflux Ratios

External Reflux Ratio	2,600
Minimum Reflux Ratio	1,659

Design Rating Worksheet Performance Dynamics Cost

Delete OK Ignored

Рисунок А.2 – Минимальное флегмовое число

T-101

Performance

Trays

Minimum Number of Stages	34,750
Actual Number of Stages	59,631
Optimal Feed Stage	26,750

Temperatures

Condenser [C]	65,79
Reboiler [C]	158,6

Flows

Rectify Vapour [kgmole/h]	2596,169
Rectify Liquid [kgmole/h]	1875,011
Stripping Vapour [kgmole/h]	972,446
Stripping Liquid [kgmole/h]	2584,738
Condenser Duty [kJ/h]	67336701,686
Reboiler Duty [kJ/h]	22427420,078

Design Rating Worksheet Performance Dynamics Cost

Delete OK Ignored

Рисунок А.3 – Параметры колонны

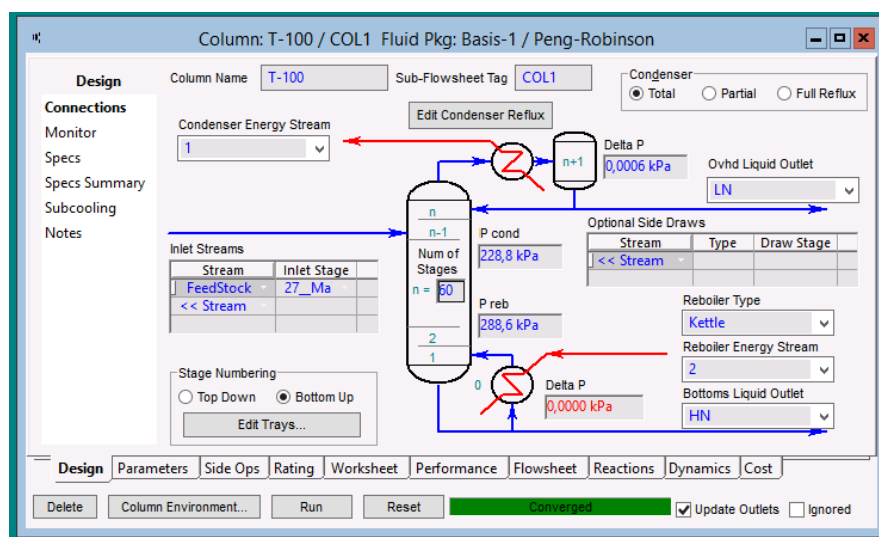


Рисунок А.4 – Внутренняя среда колонны

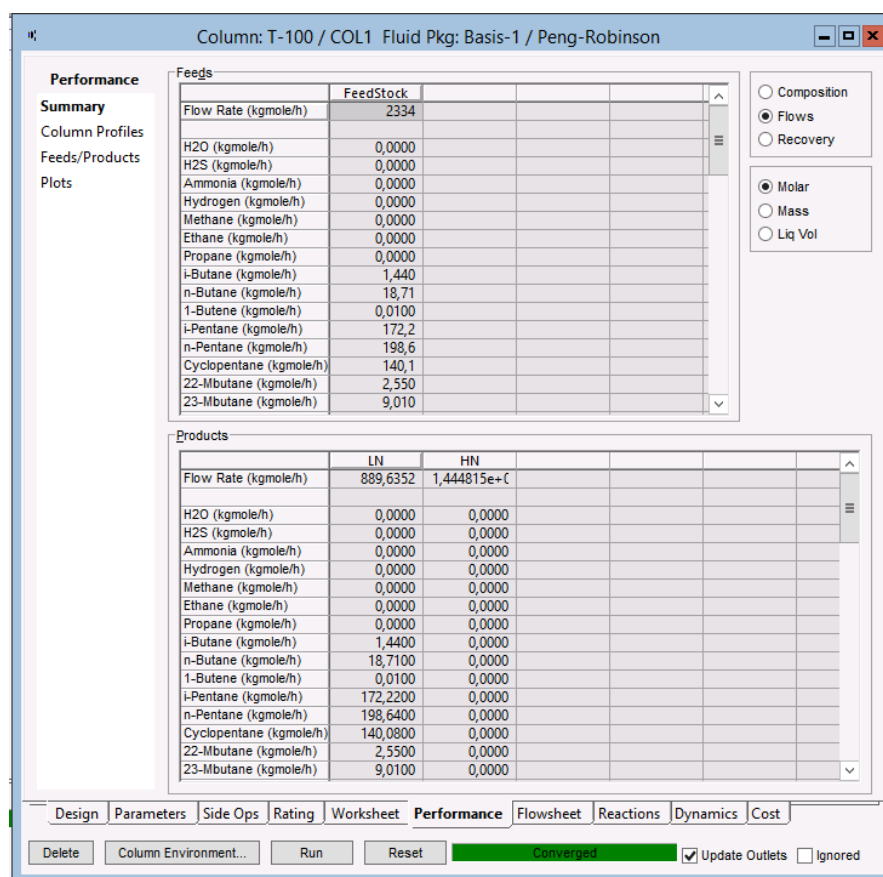


Рисунок А.5 – Состав легкого и тяжелого бензина

Products

	LN	HN
23-Mbutane (kgmole/h)	9,0100	0,0000
2-Mpentane (kgmole/h)	60,9800	0,0000
3-Mpentane (kgmole/h)	55,5700	0,0000
n-Hexane (kgmole/h)	92,5900	0,0000
1Mycyclopentan (kgmole/h)	71,3286	0,0014
Cyclohexane (kgmole/h)	45,1517	8,1783
Benzene (kgmole/h)	9,1560	0,0040
22-Mpentane (kgmole/h)	2,2049	0,0051
24-Mpentane (kgmole/h)	4,3876	0,0124
223-Mbutane (kgmole/h)	0,9422	0,1578
33-Mpentane (kgmole/h)	0,0057	2,2543
23-Mpentane (kgmole/h)	0,0018	13,5582
2-Mhexane (kgmole/h)	0,0203	37,3397
3-Mhexane (kgmole/h)	0,0023	45,7577
3-Epentane (kgmole/h)	0,0000	4,5300
n-Heptane (kgmole/h)	0,0000	96,0200
11Mycycpentan (kgmole/h)	0,0087	38,5813

Продолжение рисунка А.5

Products

	LN	HN
11Mycycpentan (kgmole/h)	0,0096	38,5804
1Mycyclohexane (kgmole/h)	0,0000	140,7900
Ecyclopentan (kgmole/h)	0,0000	39,2200
Toluene (kgmole/h)	0,0000	28,2400
234-Mpentane (kgmole/h)	0,0000	92,5700
n-Octane (kgmole/h)	0,0000	79,4900
n-Pcycycpentan (kgmole/h)	0,0000	69,9500
Ecyclohexane (kgmole/h)	0,0000	105,7500
E-Benzene (kgmole/h)	0,0000	5,7100
p-Xylene (kgmole/h)	0,0000	5,3200
m-Xylene (kgmole/h)	0,0000	15,7100
o-Xylene (kgmole/h)	0,0000	6,7900
33-Mheptane (kgmole/h)	0,0000	99,7600
n-Nonane (kgmole/h)	0,0000	53,6100
n-Bcycycpentan (kgmole/h)	0,0000	77,6800
n-Pcycchexane (kgmole/h)	0,0000	94,0800
Cumene (kgmole/h)	0,0000	2,1400

Продолжение рисунка А.5

Products					
	LN	HN			
Cumene (kgmole/h)	0,0000	2,1400			
n-PBenzene (kgmole/h)	0,0000	2,1400			
1M3-EBenzene (kgmole/h)	0,0000	1,8400			
1M4-EBenzene (kgmole/h)	0,0000	3,9600			
135-MBenzene (kgmole/h)	0,0000	3,6800			
1M2-EBenzene (kgmole/h)	0,0000	2,4800			
124-MBenzene (kgmole/h)	0,0000	10,5200			
123-MBenzene (kgmole/h)	0,0000	3,1600			
Indane (kgmole/h)	0,0000	1,0600			
n-Decane (kgmole/h)	0,0000	111,0400			
n-Bcyclohexane (kgmole/h)	0,0000	56,7100			
Cyclodecane (kgmole/h)	0,0000	42,2100			
Naphthalene (kgmole/h)	0,0000	1,8600			
n-BBenzene (kgmole/h)	0,0000	1,7600			
1M2nPropylBZ (kgmole/h)	0,0000	1,7600			
14-EBenzene (kgmole/h)	0,0000	1,7600			
13-E-BZ (kgmole/h)	0,0000	1,7600			
1245-M-BZ (kgmole/h)	0,0000	1,7600			
1234-M-BZ (kgmole/h)	0,0000	1,8600			
n-C11 (kgmole/h)	0,0000	14,8900			
n-Hex-CC5 (kgmole/h)	0,0000	19,2300			
2-M-NaphtIn (kgmole/h)	0,0000	0,7900			

Продолжение рисунка А.5

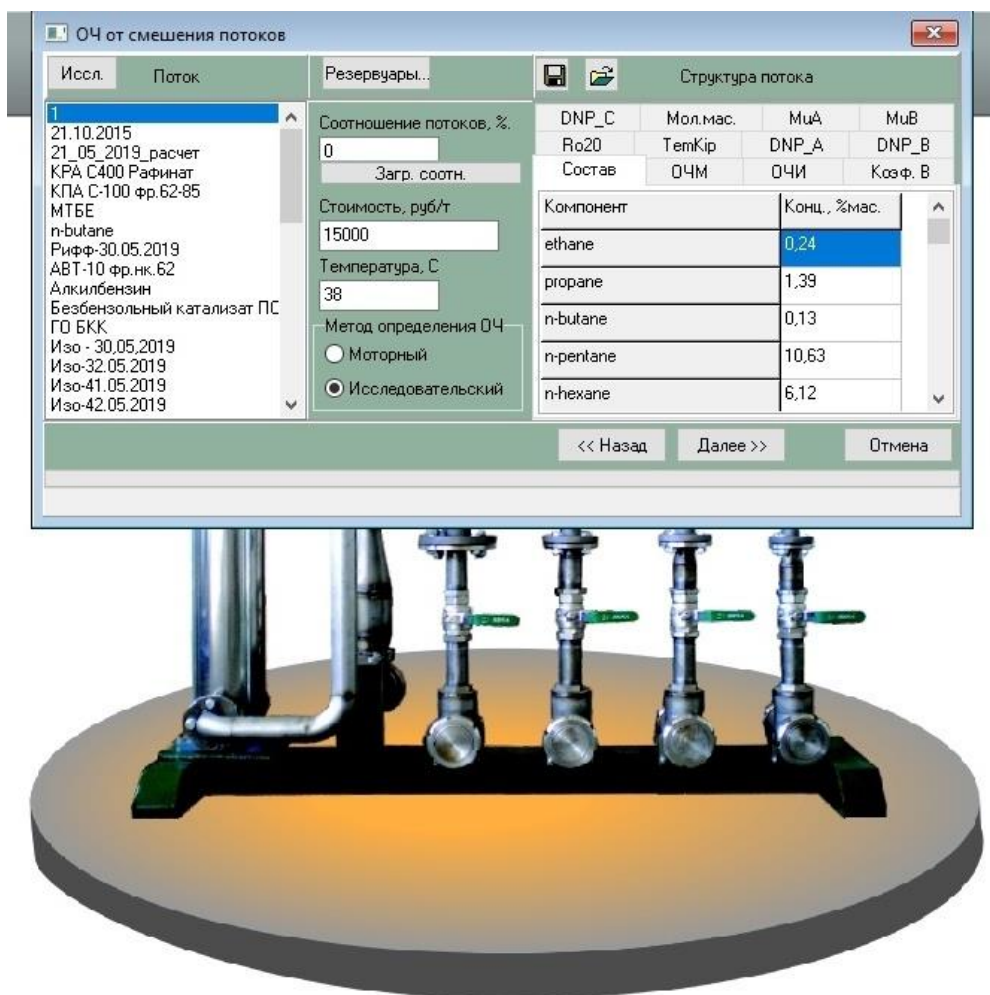


Рисунок А.6 – Главное диалоговое окно моделирующей системы «Compounding».

Приложение Б

Дополнительные материалы к разделу 3

Таблица Б.1 – Составы проектного сырья (с повышенным содержанием углеводородов C₇₊) и продуктов колонны-сплиттера

Компонент	Нафта (сырье), % масс.	Легкая нафта (верхний продукт), % масс.	Тяжелая нафта (нижний продукт), % масс.
Изобутан	0,035	0,121	0,000
н - Бутан	0,457	1,576	0,000
Олефин C ₄ (Бутилен - 1)	0,000	0,001	0,000
Изопентан	5,226	18,010	0,000
н - Пентан	6,027	20,773	0,000
Циклопентан	4,132	14,240	0,000
2,2 - Диметилбутан	0,092	0,319	0,000
2,3 - Диметилбутан	0,254	0,874	0,000
2 - Метилпентан	2,210	7,617	0,000
3 - Метилпентан	2,014	6,941	0,000
н - Гексан	3,117	10,742	0,000
Метилциклопентан	2,336	8,048	0,001
Циклогексан	1,770	5,966	0,054
Бензол	0,279	0,962	0,000
2,2 - Диметилпентан	0,093	0,314	0,003
2,4 - Диметилпентан	0,185	0,623	0,007
2,2,3 - Триметилбутан	0,126	0,398	0,016
3,3 - Диметилпентан	0,211	0,230	0,203
2,3 - Диметилпентан	0,759	0,132	1,015
2 - Метилгексан	1,574	0,448	2,035
3 - Метилгексан	1,928	0,112	2,671
3 - Этилпентан	0,191	0,002	0,268
н - Гептан	4,214	0,001	5,936
Диметилциклопентан (Цис - 1,3)	1,593	1,552	1,610
Метилциклогексан	5,814	0,000	8,190
Этилциклопентан	1,619	0,000	2,281
Толуол	1,279	0,000	1,801
Изооктан (2,2,4 - Триметилпентан)	4,447	0,000	6,265
н - Октан	3,819	0,000	5,379
Пропилциклопентан	3,301	0,000	4,650
Этилциклогексан	4,990	0,000	7,030
Этилбензол	0,255	0,000	0,359
п - Ксилол	0,238	0,000	0,335
м - Ксилол	0,701	0,000	0,988

о - Ксилол	0,303	0,000	0,427
Изононан (2,2,3,3 - Тетраметилпентан)	5,381	0,000	7,580
н - Нонан	2,892	0,000	4,074
Бутилциклопентан	4,124	0,000	5,809
Пропилциклогексан	4,994	0,000	7,036
Изопропилбензол (Кумол)	0,108	0,000	0,152
н - Пропилбензол	0,108	0,000	0,152
1 - Метил - 3 - Этилбензол	0,093	0,000	0,131
1 - Метил - 4 - Этилбензол	0,200	0,000	0,282
1,3,5 - Триметилбензол	0,186	0,000	0,262
1 - Метил - 2 - Этилбензол	0,125	0,000	0,177
1,2,4 - Триметилбензол	0,532	0,000	0,749
1,2,3 - Триметилбензол	0,160	0,000	0,225
Индан	0,053	0,000	0,074
Насыщенные C ₁₀ (Декан)	6,644	0,000	9,360
Бутилциклогексан	3,345	0,000	4,713
Пентилциклопентан (Изобутилциклогексан)	2,490	0,000	3,508
Ароматические C ₁₀ (Нафталин)	0,100	0,000	0,141
Бутилбензол	0,099	0,000	0,140
1 - Метил - 2 - Изопропилбензол (о - Цимол)	0,099	0,000	0,140
1,4 - Диэтилбензол	0,099	0,000	0,140
1,3 - Диметил - 4 - Этилбензол (4 - Этил м-Ксилол)	0,099	0,000	0,140
1,2,4,5 - Тетраметилбензол	0,099	0,000	0,140
1,2,3,4 - Тетраметилбензол	0,105	0,000	0,148
Насыщенные C ₁₁₊ (Ундекан)	0,979	0,000	1,379
Нафтенy C ₁₁₊ (Циклоундекан)	1,248	0,000	1,758
Ароматические C ₁₁₊ (1 - Метилнафталин)	0,047	0,000	0,067
Сумма	100,000	100,000	100,000

Таблица Б.2 – Составы проектного сырья с повышенным содержанием углеводородов C₇₊ и продуктов колонны-сплиттера после регулировки технологического режима

Компонент	Нафта (сырье), % масс.	Легкая нафта (верхний продукт), % масс.	Тяжелая нафта (нижний продукт), % масс.
Изобутан	0,035	0,123	0,000
н - Бутан	0,457	1,600	0,000
Олефин C ₄ (Бутилен - 1)	0,000	0,001	0,000
Изопентан	5,226	18,275	0,000
н - Пентан	6,027	21,079	0,000
Циклопентан	4,132	14,349	0,000

2,2 - Диметилбутан	0,092	0,323	0,000
2,3 - Диметилбутан	0,254	1,142	0,000
2 - Метилпентан	2,210	7,719	0,000
3 - Метилпентан	2,014	7,043	0,000
н - Гексан	3,117	11,735	0,000
Метилциклопентан	2,336	8,821	0,003
Циклогексан	1,770	5,398	0,351
Бензол	0,279	1,052	0,000
2,2 - Диметилпентан	0,093	0,375	0,019
2,4 - Диметилпентан	0,185	0,725	0,045
2,2,3 - Триметилбутан	0,126	0,121	0,029
3,3 - Диметилпентан	0,211	0,106	0,132
2,3 - Диметилпентан	0,759	0,011	0,807
2 - Метилгексан	1,574	0,001	2,207
3 - Метилгексан	1,928	0,000	2,703
3 - Этилпентан	0,191	0,000	0,268
н - Гептан	4,214	0,000	5,673
Диметилциклопентан (Цис - 1,3)	1,593	0,001	2,234
Метилциклогексан	5,814	0,000	8,151
Этилциклопентан	1,619	0,000	2,270
Толуол	1,279	0,000	1,534
Изооктан (2,2,4 - Триметилпентан)	4,447	0,000	6,235
н - Октан	3,819	0,000	5,354
Пропилциклопентан	3,301	0,000	4,628
Этилциклогексан	4,990	0,000	6,996
Этилбензол	0,255	0,000	0,357
п - Ксилол	0,238	0,000	0,333
м - Ксилол	0,701	0,000	0,983
о - Ксилол	0,303	0,000	0,425
Изононан (2,2,3,3 - Тетраметилпентан)	5,381	0,000	7,544
н - Нонан	2,892	0,000	4,054
Бутилциклопентан	4,124	0,000	5,781
Пропилциклогексан	4,994	0,000	7,002
Изопропилбензол (Кумол)	0,108	0,000	0,152
н - Пропилбензол	0,108	0,000	0,152
1 - Метил - 3 - Этилбензол	0,093	0,000	0,130
1 - Метил - 4 - Этилбензол	0,200	0,000	0,281
1,3,5 - Триметилбензол	0,186	0,000	0,261
1 - Метил - 2 - Этилбензол	0,125	0,000	0,176
1,2,4 - Триметилбензол	0,532	0,000	0,745
1,2,3 - Триметилбензол	0,160	0,000	0,224
Индан	0,053	0,000	0,074
Насыщенные C ₁₀ (Декан)	6,644	0,000	9,315
Бутилциклогексан	3,345	0,000	4,690

Пентилциклопентан (Изобутилциклогексан)	2,490	0,000	3,491
Ароматические C ₁₀ (Нафталин)	0,100	0,000	0,141
Бутилбензол	0,099	0,000	0,139
1 - Метил - 2 - Изопропилбензол (о - Цимол)	0,099	0,000	0,139
1,4 - Диэтилбензол	0,099	0,000	0,139
1,3 - Диметил - 4 - Этилбензол (4 - Этил м-Ксилол)	0,099	0,000	0,139
1,2,4,5 - Тетраметилбензол	0,099	0,000	0,139
1,2,3,4 - Тетраметилбензол	0,105	0,000	0,147
Насыщенные C ₁₁₊ (Ундекан)	0,979	0,000	1,372
Нафтенy C ₁₁₊ (Циклоундекан)	1,248	0,000	1,770
Ароматические C ₁₁₊ (1 - Метилнафталин)	0,047	0,000	0,066
Сумма	100,000	0,123	0,000

Таблица Б.3 – Составы проектного сырья с повышенным содержанием бензола и бензолобразующих веществ и продуктов колонны-сплиттера

Компонент	Нафта (сырье), % масс.	Легкая нафта (верхний продукт), % масс.	Тяжелая нафта (нижний продукт), % масс.
Изобутан	0,035	0,123	0,000
н - Бутан	0,459	1,598	0,000
Олефин C ₄ (Бутилен - 1)	0,000	0,001	0,000
Изопентан	5,242	18,255	0,000
н - Пентан	6,046	21,056	0,000
Циклопентан	4,145	14,434	0,000
2,2 - Диметилбутан	0,093	0,323	0,000
2,3 - Диметилбутан	0,328	1,141	0,000
2 - Метилпентан	2,217	7,721	0,000
3 - Метилпентан	2,020	7,036	0,000
н - Гексан	3,417	11,901	0,000
Метилциклопентан	2,592	9,023	1,034
Циклогексан	1,953	5,076	2,709
Бензол	0,379	1,317	1,021
2,2 - Диметилпентан	0,093	0,301	0,010
2,4 - Диметилпентан	0,186	0,588	0,024
2,2,3 - Триметилбутан	0,046	0,079	0,033
3,3 - Диметилпентан	0,096	0,003	0,133
2,3 - Диметилпентан	0,573	0,002	0,803
2 - Метилгексан	1,579	0,009	2,212
3 - Метилгексан	1,934	0,002	2,713
3 - Этилпентан	0,191	0,000	0,269
н - Гептан	4,059	0,000	5,694

Диметилциклопентан (Цис - 1,3)	1,598	0,015	2,236
Метилциклогексан	5,832	0,000	8,181
Этилциклопентан	1,625	0,000	2,279
Толуол	1,098	0,000	1,540
Изооктан (2,2,4 - Триметилпентан)	4,461	0,000	6,258
н - Октан	3,831	0,000	2,374
Пропилциклопентан	3,311	0,000	4,645
Этилциклогексан	5,006	0,000	7,022
Этилбензол	0,256	0,000	0,359
п - Ксилол	0,238	0,000	0,334
м - Ксилол	0,704	0,000	0,987
о - Ксилол	0,304	0,000	0,427
Изононан (2,2,3,3 - Тетраметилпентан)	5,398	0,000	7,572
н - Нонан	2,901	0,000	4,069
Бутилциклопентан	4,137	0,000	5,803
Пропилциклогексан	5,010	0,000	6,028
Изопропилбензол (Кумол)	0,109	0,000	0,152
н - Пропилбензол	0,109	0,000	0,152
1 - Метил - 3 - Этилбензол	0,093	0,000	0,131
1 - Метил - 4 - Этилбензол	0,201	0,000	0,282
1,3,5 - Триметилбензол	0,184	0,000	0,262
1 - Метил - 2 - Этилбензол	0,176	0,000	0,176
1,2,4 - Триметилбензол	0,533	0,000	0,748
1,2,3 - Триметилбензол	0,160	0,000	0,225
Индан	0,053	0,000	0,074
Насыщенные C ₁₀ (Декан)	6,665	0,000	9,350
Бутилциклогексан	3,356	0,000	4,707
Пентилциклопентан (Изобутилциклогексан)	2,498	0,000	3,504
Ароматические C ₁₀ (Нафталин)	0,101	0,000	0,141
Бутилбензол	0,100	0,000	0,140
1 - Метил - 2 - Изопропилбензол (о - Цимол)	0,100	0,000	0,140
1,4 - Диэтилбензол	0,100	0,000	0,140
1,3 - Диметил - 4 - Этилбензол (4 - Этил м-Ксилол)	0,100	0,000	0,140
1,2,4,5 - Тетраметилбензол	0,100	0,000	0,140
1,2,3,4 - Тетраметилбензол	0,105	0,000	0,148
Насыщенные C ₁₁₊ (Ундекан)	0,758	0,000	1,064
Нафтенy C ₁₁₊ (Циклоундекан)	1,009	0,000	1,415
Ароматические C ₁₁₊ (1 - Метилнафталин)	0,047	0,000	0,066
Сумма	100,000	100,000	100,000

Таблица Б.4 – Составы проектного сырья (с повышенным содержанием бензола и бензолобразующих веществ) и продуктов колонны-сплиттера после регулировки технологического режима

Компонент	Нафта (сырье), % масс.	Легкая нафта (верхний продукт), % масс.	Тяжелая нафта (нижний продукт), % масс.
Изобутан	0,035	0,082	0,000
н - Бутан	0,459	1,067	0,000
Олефин C ₄ (Бутилен - 1)	0,000	0,000	0,000
Изопентан	5,242	12,189	0,000
н - Пентан	6,046	14,059	0,000
Циклопентан	4,145	9,637	0,000
2,2 - Диметилбутан	0,093	0,216	0,000
2,3 - Диметилбутан	0,328	0,762	0,000
2 - Метилпентан	2,217	5,155	0,000
3 - Метилпентан	2,020	4,098	0,000
н - Гексан	3,417	21,623	0,000
Метилциклопентан	2,592	16,300	0,021
Циклогексан	1,953	11,628	0,441
Бензол	0,379	1,943	0,000
2,2 - Диметилпентан	0,093	0,171	0,002
2,4 - Диметилпентан	0,186	0,539	0,005
2,2,3 - Триметилбутан	0,046	0,108	0,009
3,3 - Диметилпентан	0,096	0,209	0,127
2,3 - Диметилпентан	0,573	0,101	0,801
2 - Метилгексан	1,579	0,102	2,206
3 - Метилгексан	1,934	0,000	2,704
3 - Этилпентан	0,191	0,000	0,227
н - Гептан	4,059	0,000	5,674
Диметилциклопентан (Цис - 1,3)	1,598	0,000	2,234
Метилциклогексан	5,832	0,000	8,152
Этилциклопентан	1,625	0,000	2,271
Толуол	1,098	0,000	1,534
Изооктан (2,2,4 - Триметилпентан)	4,461	0,000	6,236
н - Октан	3,831	0,000	5,355
Пропилциклопентан	3,311	0,000	4,629
Этилциклогексан	5,006	0,000	6,998
Этилбензол	0,256	0,000	0,357
п - Ксилол	0,238	0,000	0,333
м - Ксилол	0,704	0,000	0,984
о - Ксилол	0,304	0,000	0,425
Изононан (2,2,3,3 - Тетраметилпентан)	5,398	0,000	7,546
н - Нонан	2,901	0,000	4,055
Бутилциклопентан	4,137	0,000	5,783
Пропилциклогексан	5,010	0,000	7,004
Изопропилбензол (Кумол)	0,109	0,000	0,152

н - Пропилбензол	0,109	0,000	0,152
1 - Метил - 3 - Этилбензол	0,093	0,000	0,130
1 - Метил - 4 - Этилбензол	0,201	0,000	0,281
1,3,5 - Триметилбензол	0,184	0,000	0,261
1 - Метил - 2 - Этилбензол	0,176	0,000	0,176
1,2,4 - Триметилбензол	0,533	0,000	0,746
1,2,3 - Триметилбензол	0,160	0,000	0,224
Индан	0,053	0,000	0,074
Насыщенные C ₁₀ (Декан)	6,665	0,000	9,317
Бутилциклогексан	3,356	0,000	4,691
Пентилциклопентан (Изобутилциклогексан)	2,498	0,000	3,492
Ароматические C ₁₀ (Нафталин)	0,101	0,000	0,141
Бутилбензол	0,100	0,000	0,139
1 - Метил - 2 - Изопропилбензол (о - Цимол)	0,100	0,000	0,139
1,4 - Диэтилбензол	0,100	0,000	0,139
1,3 - Диметил - 4 - Этилбензол (4 - Этил м-Ксилол)	0,100	0,000	0,139
1,2,4,5 - Тетраметилбензол	0,100	0,000	0,139
1,2,3,4 - Тетраметилбензол	0,105	0,000	0,147
Насыщенные C ₁₁₊ (Ундекан)	0,758	0,000	1,373
Нафтенy C ₁₁₊ (Циклоундекан)	1,009	0,000	1,770
Ароматические C ₁₁₊ (1 - Метилнафталин)	0,047	0,000	0,066
Сумма	100,000	100,000	100,000

Таблица Б.5 – Составы проектного сырья (с повышенным содержанием бензола, бензолобразующих веществ и углеводородов C₇₊) и продуктов колонны-сплиттера

Компонент	Нафта (сырье), % масс.	Легкая нафта (верхний продукт), % масс.	Тяжелая нафта (нижний продукт), % масс.
Изобутан	0,035	0,123	0,000
н - Бутан	0,458	1,599	0,000
Олефин C ₄ (Бутилен - 1)	0,000	0,001	0,000
Изопентан	5,233	18,269	0,000
н - Пентан	6,036	21,072	0,000
Циклопентан	4,138	14,445	0,000
2,2 - Диметилбутан	0,093	0,323	0,000
2,3 - Диметилбутан	0,363	1,267	0,000
2 - Метилпентан	2,250	7,854	0,001
3 - Метилпентан	2,017	7,032	0,004
н - Гексан	3,412	11,739	0,069
Метилциклопентан	2,552	8,208	0,282

Циклогексан	1,890	3,351	1,304
Бензол	0,301	0,912	0,056
2,2 - Диметилпентан	0,093	0,175	0,060
2,4 - Диметилпентан	0,186	0,336	0,125
2,2,3 - Триметилбутан	0,046	0,057	0,042
3,3 - Диметилпентан	0,095	0,045	0,115
2,3 - Диметилпентан	0,572	0,181	0,729
2 - Метилгексан	1,577	0,546	1,991
3 - Метилгексан	1,931	0,504	2,504
3 - Этилпентан	0,191	0,037	0,253
н - Гептан	4,052	0,450	5,498
Диметилциклопентан (Цис - 1,3)	1,596	0,715	1,949
Метилциклогексан	5,822	0,489	7,963
Этилциклопентан	1,622	0,086	2,239
Толуол	1,096	0,047	1,517
Изооктан (2,2,4 - Триметилпентан)	4,454	0,085	6,207
н - Октан	3,824	0,019	5,352
Пропилциклопентан	3,306	0,004	4,631
Этилциклогексан	4,997	0,017	6,997
Этилбензол	0,255	0,001	0,358
п - Ксилол	0,238	0,000	0,333
м - Ксилол	0,581	0,001	0,814
о - Ксилол	0,304	0,000	0,425
Изононан (2,2,3,3 - Тетраметилпентан)	5,310	0,008	7,438
н - Нонан	2,896	0,000	4,058
Бутилциклопентан	4,130	0,000	5,788
Пропилциклогексан	5,002	0,001	7,009
Изопропилбензол (Кумол)	0,108	0,000	0,152
н - Пропилбензол	0,108	0,000	0,152
1 - Метил - 3 - Этилбензол	0,093	0,000	0,131
1 - Метил - 4 - Этилбензол	0,200	0,000	0,281
1,3,5 - Триметилбензол	0,186	0,000	0,261
1 - Метил - 2 - Этилбензол	0,126	0,000	0,176
1,2,4 - Триметилбензол	0,583	0,000	0,746
1,2,3 - Триметилбензол	0,160	0,000	0,224
Индан	0,053	0,000	0,074
Насыщенные C ₁₀ (Декан)	6,654	0,000	9,325
Бутилциклогексан	3,350	0,000	4,695
Пентилциклопентан (Изобутилциклогексан)	2,494	0,000	3,495
Ароматические C ₁₀ (Нафталин)	0,100	0,000	0,173
Бутилбензол	0,099	0,000	0,139
1 - Метил - 2 - Изопропилбензол (о - Цимол)	0,099	0,000	0,139
1,4 - Диэтилбензол	0,099	0,000	0,139
1,3 - Диметил - 4 - Этилбензол (4 - Этил м-Ксилол)	0,099	0,000	0,139

1,2,4,5 - Тетраметилбензол	0,099	0,000	0,139
1,2,3,4 - Тетраметилбензол	0,105	0,000	0,168
Насыщенные C ₁₁₊ (Ундекан)	0,980	0,000	1,397
Нафтенy C ₁₁₊ (Циклоундекан)	1,250	0,000	1,751
Ароматические C ₁₁₊ (1 - Метилнафталин)	0,047	0,000	0,066
Сумма	100,000	100,000	100,000

Таблица Б.6 – Составы проектного сырья (с повышенным содержанием бензола, бензолобразующих веществ и углеводородов C₇₊) и продуктов колонны-сплиттера после регулировки технологического режима

Компонент	Нафта (сырье), % масс.	Легкая нафта (верхний продукт), % масс.	Тяжелая нафта (нижний продукт), % масс.
Изобутан	0,035	0,123	0,000
н - Бутан	0,458	1,597	0,000
Олефин C ₄ (Бутилен - 1)	0,000	0,001	0,000
Изопентан	5,233	18,248	0,000
н - Пентан	6,036	21,047	0,000
Циклопентан	4,138	14,428	0,000
2,2 - Диметилбутан	0,093	0,323	0,000
2,3 - Диметилбутан	0,363	1,266	0,000
2 - Метилпентан	2,250	7,846	0,000
3 - Метилпентан	2,017	7,033	0,000
н - Гексан	3,412	11,893	0,001
Метилциклопентан	2,552	8,870	0,012
Циклогексан	1,890	5,267	0,332
Бензол	0,301	1,041	0,004
2,2 - Диметилпентан	0,093	0,275	0,020
2,4 - Диметилпентан	0,186	0,535	0,045
2,2,3 - Триметилбутан	0,046	0,087	0,030
3,3 - Диметилпентан	0,095	0,009	0,130
2,3 - Диметилпентан	0,572	0,006	0,800
2 - Метилгексан	1,577	0,028	2,200
3 - Метилгексан	1,931	0,007	2,705
3 - Этилпентан	0,191	0,000	0,268
н - Гептан	4,052	0,000	5,682
Диметилциклопентан (Цис - 1,3)	1,596	0,073	2,208
Метилциклогексан	5,822	0,000	8,163
Этилциклопентан	1,622	0,000	2,274
Толуол	1,096	0,000	1,537
Изооктан (2,2,4 - Триметилпентан)	4,454	0,000	6,244

н - Октан	3,824	0,000	5,362
Пропилциклопентан	3,306	0,000	4,635
Этилциклогексан	4,997	0,000	7,007
Этилбензол	0,255	0,000	0,358
п - Ксилол	0,238	0,000	0,334
м - Ксилол	0,581	0,000	0,815
о - Ксилол	0,304	0,000	0,426
Изононан (2,2,3,3 - Тетраметилпентан)	5,310	0,000	7,445
н - Нонан	2,896	0,000	4,060
Бутилциклопентан	4,130	0,000	5,791
Пропилциклогексан	5,002	0,000	7,013
Изопропилбензол (Кумол)	0,108	0,000	0,152
н - Пропилбензол	0,108	0,000	0,152
1 - Метил - 3 - Этилбензол	0,093	0,000	0,131
1 - Метил - 4 - Этилбензол	0,200	0,000	0,281
1,3,5 - Триметилбензол	0,186	0,000	0,261
1 - Метил - 2 - Этилбензол	0,126	0,000	0,176
1,2,4 - Триметилбензол	0,583	0,000	0,747
1,2,3 - Триметилбензол	0,160	0,000	0,424
Индан	0,053	0,000	0,074
Насыщенные C ₁₀ (Декан)	6,654	0,000	9,325
Бутилциклогексан	3,350	0,000	4,697
Пентилциклопентан (Изобутилциклогексан)	2,494	0,000	3,493
Ароматические C ₁₀ (Нафталин)	0,100	0,000	0,173
Бутилбензол	0,099	0,000	0,139
1 - Метил - 2 - Изопропилбензол (о - Цимол)	0,099	0,000	0,139
1,4 - Диэтилбензол	0,099	0,000	0,139
1,3 - Диметил - 4 - Этилбензол (4 - Этил м-Ксилол)	0,099	0,000	0,139
1,2,4,5 - Тетраметилбензол	0,099	0,000	0,139
1,2,3,4 - Тетраметилбензол	0,105	0,000	0,168
Насыщенные C ₁₁₊ (Ундекан)	0,980	0,000	1,397
Нафты C ₁₁₊ (Циклоундекан)	1,250	0,000	1,752
Ароматические C ₁₁₊ (1 - Метилнафталин)	0,047	0,000	0,066
Сумма	100,000	100,000	100,000

Таблица Б.7 – Составы проектного сырья с повышенным содержанием углеводородов C₇₊ и продуктов колонны-сплиттера

Компонент	Нафта (сырье), % масс.	Легкая нафта (верхний продукт), % масс.	Тяжелая нафта (нижний продукт), % масс.
Изобутан	0,035	0,121	0,000

н - Бутан	0,457	1,576	0,000
Олефин C ₄ (Бутилен - 1)	0,000	0,001	0,000
Изопентан	5,226	18,01	0,000
н - Пентан	6,027	16,773	0,000
Циклопентан	4,132	14,24	0,000
2,2 - Диметилбутан	0,092	0,31	0,000
2,3 - Диметилбутан	0,254	0,874	0,000
2 - Метилпентан	2,210	5,313	0,000
3 - Метилпентан	2,014	6,941	0,000
н - Гексан	3,117	8,256	0,000
Метилциклопентан	2,336	5,048	0,071
Циклогексан	1,770	3,966	0,154
Бензол	0,279	0,962	0,000
2,2 - Диметилпентан	0,093	4,318	0,003
2,4 - Диметилпентан	0,185	1,623	0,007
2,2,3 - Триметилбутан	0,126	2,398	0,016
3,3 - Диметилпентан	0,211	2,023	0,203
2,3 - Диметилпентан	0,759	3,132	1,015
2 - Метилгексан	1,574	0,448	2,035
3 - Метилгексан	1,928	1,112	2,571
3 - Этилпентан	0,191	0,002	0,268
н - Гептан	4,214	0,001	5,936
Диметилциклопентан (Цис - 1,3)	1,593	2,552	1,610
Метилциклогексан	5,814	0,000	8,120
Этилциклопентан	1,619	0,000	2,281
Толуол	1,279	0,000	1,801
Изооктан (2,2,4 - Триметилпентан)	4,447	0,000	6,265
н - Октан	3,819	0,000	5,379
Пропилциклопентан	3,301	0,000	4,650
Этилциклогексан	4,990	0,000	7,030
Этилбензол	0,255	0,000	0,359
п - Ксилол	0,238	0,000	0,335
м - Ксилол	0,701	0,000	0,988
о - Ксилол	0,303	0,000	0,427
Изонonan (2,2,3,3 - Тетраметилпентан)	5,381	0,000	7,580
н - Нонан	2,892	0,000	4,074
Бутилциклопентан	4,124	0,000	5,809
Пропилциклогексан	4,994	0,000	7,036
Изопропилбензол (Кумол)	0,108	0,000	0,152
н - Пропилбензол	0,108	0,000	0,152
1 - Метил - 3 - Этилбензол	0,093	0,000	0,131
1 - Метил - 4 - Этилбензол	0,200	0,000	0,282
1,3,5 - Триметилбензол	0,186	0,000	0,262
1 - Метил - 2 - Этилбензол	0,125	0,000	0,177

1,2,4 - Триметилбензол	0,532	0,000	0,749
1,2,3 - Триметилбензол	0,160	0,000	0,225
Индан	0,053	0,000	0,074
Насыщенные C ₁₀ (Декан)	6,644	0,000	9,360
Бутилциклогексан	3,345	0,000	4,713
Пентилциклопентан (Изобутилциклогексан)	2,490	0,000	3,508
Ароматические C ₁₀ (Нафталин)	0,100	0,000	0,141
Бутилбензол	0,099	0,000	0,140
1 - Метил - 2 - Изопропилбензол (о - Цимол)	0,099	0,000	0,140
1,4 - Диэтилбензол	0,099	0,000	0,140
1,3 - Диметил - 4 - Этилбензол (4 - Этил м-Ксилол)	0,099	0,000	0,140
1,2,4,5 - Тетраметилбензол	0,099	0,000	0,140
1,2,3,4 - Тетраметилбензол	0,105	0,000	0,148
Насыщенные C ₁₁₊ (Ундекан)	0,979	0,000	1,379
Нафтенy C ₁₁₊ (Циклоундекан)	1,248	0,000	1,758
Ароматические C ₁₁₊ (1 - Метилнафталин)	0,047	0,000	0,067
Сумма	100,000	100,000	100,000

Таблица Б.8 – Составы проектного сырья с повышенным содержанием углеводородов C₇₊, бокового погона и продуктов колонны-сплиттера

Компонент	Нафта (сырье), % масс.	Легкая нафта (верхний продукт), % масс.	Боковой погон, % масс.	Тяжелая нафта (нижний продукт), % масс.
Изобутан	0,035	0,189	0,006	0,000
н - Бутан	0,459	0,753	0,032	0,000
Олефин C ₄ (Бутилен - 1)	0,000	10,911	0,468	0,000
Изопентан	5,242	16,752	0,721	0,000
н - Пентан	6,046	4,930	1,110	0,000
Циклопентан	4,145	6,237	1,992	0,000
2,2 - Диметилбутан	0,093	12,045	2,183	0,000
2,3 - Диметилбутан	0,328	13,929	2,569	0,000
2 - Метилпентан	2,217	21,730	3,601	0,000
3 - Метилпентан	2,020	0,750	3,208	0,000
н - Гексан	3,417	0,104	2,237	0,000
Метилциклопентан	2,592	0,410	2,055	0,023
Циклогексан	1,953	0,039	6,318	0,229
Бензол	0,379	5,942	2,671	0,000
2,2 - Диметилпентан	0,093	0,838	0,695	0,010
2,4 - Диметилпентан	0,186	0,066	1,406	1,200
2,2,3 - Триметилбутан	0,046	0,242	6,459	0,500
3,3 - Диметилпентан	0,096	0,019	8,579	0,800

2,3 - Диметилпентан	0,573	0,131	5,081	0,058
2 - Метилгексан	1,579	0,005	3,538	3,257
3 - Метилгексан	1,934	0,027	13,672	7,867
3 - Этилпентан	0,191	0,032	8,754	0,070
н - Гептан	4,059	0,013	5,873	6,775
Диметилциклопентан (Цис - 1,3)	1,598	0,000	1,473	2,794
Метилциклогексан	5,832	0,014	3,476	5,321
Этилциклопентан	1,625	0,000	2,645	0,237
Толуол	1,098	0,000	1,324	9,607
Изооктан (2,2,4 - Триметилпентан)	4,461	0,000	0,112	0,697
н - Октан	3,831	0,000	0,101	6,745
Пропилциклопентан	3,311	0,000	0,050	5,486
Этилциклогексан	5,006	0,000	0,000	3,066
Этилбензол	0,256	0,000	0,002	2,524
п - Ксилол	0,238	0,000	0,416	0,087
м - Ксилол	0,704	0,000	0,150	1,952
о - Ксилол	0,304	0,000	0,050	1,746
Изононан (2,2,3,3 - Тетраметилпентан)	5,398	0,000	1,500	7,419
н - Нонан	2,901	0,000	0,000	3,134
Бутилциклопентан	4,137	0,000	0,000	1,333
Пропилциклогексан	5,010	0,000	0,000	2,420
Изопропилбензол (Кумол)	0,109	0,002	5,072	8,866
н - Пропилбензол	0,109	0,000	0,000	0,675
1 - Метил - 3 - Этилбензол	0,093	0,000	0,000	0,024
1 - Метил - 4 - Этилбензол	0,201	0,000	0,001	0,168
1,3,5 - Триметилбензол	0,184	0,000	0,000	0,238
1 - Метил - 2 - Этилбензол	0,176	0,000	0,000	1,094
1,2,4 - Триметилбензол	0,533	0,000	0,000	1,091
1,2,3 - Триметилбензол	0,160	0,000	0,000	0,441
Индан	0,053	0,000	0,000	0,000
Насыщенные C ₁₀ (Декан)	6,665	0,000	0,000	1,020
Бутилциклогексан	3,356	0,000	0,000	0,000
Пентилциклопентан (Изобутилциклогексан)	2,498	0,000	0,000	0,000
Ароматические C ₁₀ (Нафталин)	0,101	0,000	0,000	2,012
Бутилбензол	0,100	0,000	0,000	0,296
1 - Метил - 2 - Изопропилбензол (о - Цимол)	0,100	0,000	0,000	0,295
1,4 - Диэтилбензол	0,100	0,000	0,000	0,203
1,3 - Диметил - 4 - Этилбензол (4 - Этил м-Ксилол)	0,100	0,000	0,000	0,125
1,2,4,5 - Тетраметилбензол	0,100	0,000	0,000	1,782
1,2,3,4 - Тетраметилбензол	0,105	0,000	0,000	0,099
Насыщенные C ₁₁₊ (Ундекан)	0,758	0,000	0,000	2,025
Нафтенy C ₁₁₊ (Циклоундекан)	1,009	0,000	0,000	3,132

Ароматические C ₁₁₊ (1 - Метилнафталин)	0,047	0,000	0,000	1,057
Сумма	100,000	100,000	100,000	100,000

Таблица Б.9 – Составы проектного сырья с повышенным содержанием бензола и бензолобразующих веществ и продуктов колонны-сплиттера

Компонент	Нафта (сырье), % масс.	Легкая нафта (верхний продукт), % масс.	Тяжелая нафта (нижний продукт), % масс.
Изобутан	0,035	0,123	0,000
н - Бутан	0,459	1,598	0,000
Олефин C ₄ (Бутилен - 1)	0,000	0,001	0,000
Изопентан	5,242	18,255	0,000
н - Пентан	6,046	21,056	0,000
Циклопентан	4,145	14,434	0,000
2,2 - Диметилбутан	0,093	0,323	0,000
2,3 - Диметилбутан	0,328	1,141	0,000
2 - Метилпентан	2,217	7,721	0,000
3 - Метилпентан	2,020	7,036	0,000
н - Гексан	3,417	11,901	0,000
Метилциклопентан	2,592	9,023	1,034
Циклогексан	1,953	5,076	2,509
Бензол	0,379	1,317	2,021
2,2 - Диметилпентан	0,093	0,301	0,010
2,4 - Диметилпентан	0,186	0,588	0,024
2,2,3 - Триметилбутан	0,046	0,079	0,033
3,3 - Диметилпентан	0,096	0,003	0,133
2,3 - Диметилпентан	0,573	0,002	0,803
2 - Метилгексан	1,579	0,009	2,212
3 - Метилгексан	1,934	0,002	2,713
3 - Этилпентан	0,191	0,000	0,269
н - Гептан	4,059	0,000	5,694
Диметилциклопентан (Цис - 1,3)	1,598	0,015	2,236
Метилциклогексан	5,832	0,000	8,181
Этилциклопентан	1,625	0,000	2,279
Толуол	1,098	0,000	1,540
Изооктан (2,2,4 - Триметилпентан)	4,461	0,000	6,258
н - Октан	3,831	0,000	2,374
Пропилциклопентан	3,311	0,000	4,645
Этилциклогексан	5,006	0,000	7,022
Этилбензол	0,256	0,000	0,359
п - Ксилол	0,238	0,000	0,334
м - Ксилол	0,704	0,000	0,987

о - Ксилол	0,304	0,000	0,427
Изононан (2,2,3,3 - Тетраметилпентан)	5,398	0,000	7,572
н - Нонан	2,901	0,000	4,069
Бутилциклопентан	4,137	0,000	5,803
Пропилциклогексан	5,010	0,000	6,028
Изопропилбензол (Кумол)	0,109	0,000	0,152
н - Пропилбензол	0,109	0,000	0,152
1 - Метил - 3 - Этилбензол	0,093	0,000	0,131
1 - Метил - 4 - Этилбензол	0,201	0,000	0,282
1,3,5 - Триметилбензол	0,184	0,000	0,262
1 - Метил - 2 - Этилбензол	0,176	0,000	0,176
1,2,4 - Триметилбензол	0,533	0,000	0,748
1,2,3 - Триметилбензол	0,160	0,000	0,225
Индан	0,053	0,000	0,074
Насыщенные C ₁₀ (Декан)	6,665	0,000	9,350
Бутилциклогексан	3,356	0,000	4,707
Пентилциклопентан (Изобутилциклогексан)	2,498	0,000	3,504
Ароматические C ₁₀ (Нафталин)	0,101	0,000	0,141
Бутилбензол	0,100	0,000	0,140
1 - Метил - 2 - Изопропилбензол (о - Цимол)	0,100	0,000	0,140
1,4 - Диэтилбензол	0,100	0,000	0,140
1,3 - Диметил - 4 - Этилбензол (4 - Этил м-Ксилол)	0,100	0,000	0,140
1,2,4,5 - Тетраметилбензол	0,100	0,000	0,140
1,2,3,4 - Тетраметилбензол	0,105	0,000	0,148
Насыщенные C ₁₁₊ (Ундекан)	0,758	0,000	1,064
Нафтенy C ₁₁₊ (Циклоундекан)	1,009	0,000	1,415
Ароматические C ₁₁₊ (1 - Метилнафталин)	0,047	0,000	0,066
Сумма	100,000	100,000	100,000

Таблица Б.10 – Составы проектного сырья с повышенным содержанием бензола и бензолобразующих веществ, бокового погона и продуктов колонны-сплиттера

Компонент	Нафта (сырье), % масс.	Легкая нафта (верхний продукт), % масс.	Боковой погон, % масс.	Тяжелая нафта (нижний продукт), % масс.
Изобутан	0,035	0,189	0,005	0,000
н - Бутан	0,459	0,753	0,024	0,000
Олефин C ₄ (Бутилен - 1)	0,000	10,911	0,810	0,000
Изопентан	5,242	15,752	1,157	0,000
н - Пентан	6,046	4,930	0,839	0,000
Циклопентан	4,145	6,237	1,514	0,000

2,2 - Диметилбутан	0,093	16,045	3,588	0,000
2,3 - Диметилбутан	0,328	14,929	3,729	0,000
2 - Метилпентан	2,217	21,730	9,776	0,000
3 - Метилпентан	2,020	0,750	1,791	0,009
н - Гексан	3,417	0,104	4,764	0,551
Метилциклопентан	2,592	0,410	1,179	0,007
Циклогексан	1,953	0,039	0,215	0,005
Бензол	0,379	5,942	2,685	0,000
2,2 - Диметилпентан	0,093	0,838	0,529	0,000
2,4 - Диметилпентан	0,186	0,066	1,027	0,000
2,2,3 - Триметилбутан	0,046	0,242	8,992	0,057
3,3 - Диметилпентан	0,096	0,019	8,055	0,24
2,3 - Диметилпентан	0,573	0,031	7,615	1,628
2 - Метилгексан	1,579	0,005	0,494	0,054
3 - Метилгексан	1,934	0,017	12,670	2,425
3 - Этилпентан	0,191	0,032	8,214	1,54
н - Гептан	4,059	0,013	2,582	1,185
Диметилциклопентан (Цис - 1,3)	1,598	0,000	0,433	0,228
Метилциклогексан	5,832	0,012	5,135	0,46
Этилциклопентан	1,625	0,000	1,886	0,856
Толуол	1,098	0,000	3,236	6,762
Изооктан (2,2,4 - Триметилпентан)	4,461	0,000	0,800	5,599
н - Октан	3,831	0,000	0,062	2,145
Пропилциклопентан	3,311	0,000	0,031	3,255
Этилциклогексан	5,006	0,000	0,000	5,088
Этилбензол	0,256	0,000	0,001	4,969
п - Ксилол	0,238	0,000	1,019	1,325
м - Ксилол	0,704	0,000	0,000	0,263
о - Ксилол	0,304	0,000	0,000	2,19
Изононан (2,2,3,3 - Тетраметилпентан)	5,398	0,000	1,200	1,357
н - Нонан	2,901	0,000	0,000	1,445
Бутилциклопентан	4,137	0,000	0,000	0,881
Пропилциклогексан	5,010	0,000	0,000	0,687
Изопропилбензол (Кумол)	0,109	0,002	3,941	3,253
н - Пропилбензол	0,109	0,000	0,000	4,231
1 - Метил - 3 - Этилбензол	0,093	0,000	0,000	3,295
1 - Метил - 4 - Этилбензол	0,201	0,000	0,000	3,321
1,3,5 - Триметилбензол	0,184	0,000	0,000	1,11
1 - Метил - 2 - Этилбензол	0,176	0,000	0,000	9,781
1,2,4 - Триметилбензол	0,533	0,000	0,000	0,599
1,2,3 - Триметилбензол	0,160	0,000	0,000	1,427
Индан	0,053	0,000	0,000	0,864
Насыщенные C ₁₀ (Декан)	6,665	0,000	0,000	1,057
Бутилциклогексан	3,356	0,000	0,000	0,425

Пентилциклопентан (Изобутилциклогексан)	2,498	0,000	0,000	0,687
Ароматические C ₁₀ (Нафталин)	0,101	0,000	0,000	6,324
Бутилбензол	0,100	0,000	0,000	7,296
1 - Метил - 2 - Изопропилбензол (о - Цимол)	0,100	0,000	0,000	3,295
1,4 - Диэтилбензол	0,100	0,000	0,000	3,203
1,3 - Диметил - 4 - Этилбензол (4 - Этил м-Ксилол)	0,100	0,000	0,000	0,125
1,2,4,5 - Тетраметилбензол	0,100	0,000	0,000	1,782
1,2,3,4 - Тетраметилбензол	0,105	0,000	0,000	0,599
Насыщенные C ₁₁₊ (Ундекан)	0,758	0,000	0,000	0,425
Нафтенy C ₁₁₊ (Циклоундекан)	1,009	0,000	0,000	0,632
Ароматические C ₁₁₊ (1 - Метилнафталин)	0,047	0,000	0,000	1,057
Сумма	100,000	100,000	100,000	100,000

Приложение В

Дополнительные материалы к разделу 4

Таблица В.1 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ														
				ян в.	февр.			март			апр.			май			июнь	
					3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1	Составление и утверждение технического задания	Р	3															
2	Подбор и изучение материалов по теме	И	11															
3	Проведение патентных исследований	И	8															
4	Выбор направления исследований	Р	3															
		И	5															
5	Календарное планирование работ по теме	Р	3															
		И	5															
6	Поиск необходимой литературы и программного обеспечения	Р	3															
		И	8															
7	Разработка математической модели	Р	10															
		И	21															
8	Проведение теоретических расчетов и обоснований на разработанной модели	И	11															
9	Сопоставление результатов																	

	экспериментом в с теоретическим и исследования ми	И	9														
10	Анализ и оценка эффективност и полученных результатов	Р	5														
		И	8														
11	Разработка принципиальн ой технологическ ой схемы	Р	5														
		И	11														
12	Выбор и расчет конструкции колонны сплиттера нафты	И	21														
13	Подбор данных и оформление экономическо й части работы	И	11														
14	Разработка социальной ответственнос ти по данной работе	И	11														
15	Оценка эффективност и производства и применения научной разработки	И	5														
16	Составление пояснительно й записки	И	21														

 Руководитель (Р)

 Инженер (И)