

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 ООП Химическая технология переработки нефти и газа
 Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка математической модели цеоформинга стабильного газового конденсата

УДК 665.642.4:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Лукиянов Даниил Максимович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Киргина Мария Владимировна	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер ОХИ ИШПР	Алтынов Андрей Андреевич			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Гуляев Милий Всеволодович	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Мойзес Ольга Ефимовна	к.т.н.		

Томск – 2022 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ

по образовательной программе
«Химическая технология переработки нефти и газа»
(направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»)

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности
УК(У)-9	способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	способность и готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	готовностью использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-3	готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире
ОПК(У)-4	владение пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознания опасности и угрозы, возникающих в этом процессе, способностью соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-5	владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК(У)-6	владение основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий

Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	способность и готовностью осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции
ПК(У)-2	готовность применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования
ПК(У)-3	готовность использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	способность принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест
ПК(У)-6	способность налаживать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)-7	способность проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта
ПК(У)-8	готовность к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	способностью анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	способность проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)-11	способность выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
Дополнительные профессиональные компетенции (профессиональные компетенции, установленные университетом)	
ДПК(У)-1	способность планировать и проводить химические эксперименты, проводить обработку результатов эксперимента, оценивать погрешности, применять методы математического моделирования и анализа при исследовании химико-технологических процессов
ДПК(У)-2	готовность изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования
ДПК(У)-3	готовность использовать знания фундаментальных физико-химических закономерностей для решения возникающих научно-исследовательских задач, самостоятельного приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе, химических реакторов
ДПК(У)-4	готовность использовать информационные технологии при разработке проектов
ДПК(У)-5	готовность изучать научно-техническую информацию отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования на английском языке

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Мойзес О.Е.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д8Б	Лукьянову Даниилу Максимовичу

Тема работы:

Разработка математической модели цеоформинга стабильного газового конденсата	
Утверждена приказом директора ИШПР (дата, номер)	от 28.01.2022 г. № 28-92/с

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Образцы стабильных газовых конденсатов, цеолитный катализатор типа ZSM-5.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Литературный обзор 1.1 Тренды в нефтегазовой промышленности России 1.2 Цеолитные катализаторы 1.3 Переработка бензиновой фракции и стабильного газового конденсата на цеолитных катализаторах 1.4 Математическое моделирование процесса цеоформинга 2 Объект и методы исследования 2.1 Объект исследования 2.2 Методика переработки стабильного газового конденсата на каталитической установке 2.3 Методика исследования состава стабильного газового конденсата и продуктов его переработки 2.4 Автоматизированная формализация составов

	стабильного газового конденсата 2.5 Методика нахождения кинетических параметров для кинетической модели цеоформинга 3 Расчеты и аналитика 3.1 Результаты определения состава образцов СГК 3.2 Результаты определения состава продуктов цеоформинга 3.3 Формализация составов образцов СГК и продуктов цеоформинга 4. Результаты исследования 4.1 Обзор кинетической математической модели 4.2 Программная реализация кинетической модели 4.3 Подбор кинетических параметров реакций 4.4 Проверка разработанной модели на адекватность 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6 Социальная ответственность
--	--

Перечень графического материала

Нет

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	к.э.н., доцент ОСГН ШБИП Рыжакина Т.Г.
«Социальная ответственность»	старший преподаватель ООД ШБИП Гуляев М.В.

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

Нет

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

25.01.2022 г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Киргина М.В.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Лукьянов Даниил Максимович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии
 Период выполнения весенний семестр 2021/2022 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

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

Дата контроля	Название раздела (модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2022 г.	Введение	10
15.03.2022 г.	Литературный обзор: тренды в нефтегазовой промышленности России; цеолитные катализаторы; переработка бензиновой фракции и стабильного газового конденсата на цеолитных катализаторах; математическое моделирование процесса цеоформинга.	20
01.04.2022 г.	Объект и методы исследования: объект исследования; методика переработки стабильного газового конденсата на каталитической установке; методика исследования состава стабильного газового конденсата и продуктов его переработки; автоматизированная формализация составов стабильного газового конденсата и продуктов цеоформинга; методика нахождения кинетических параметров для кинетической модели цеоформинга.	20
15.04.2022 г.	Расчеты и аналитика: результаты определения состава образцов СГК; результаты определения состава продуктов цеоформинга; формализация составов образцов СГК и продуктов цеоформинга.	20
01.05.2022 г.	Результаты исследования: обзор кинетической математической модели; программная реализация кинетической модели; подбор кинетических параметров реакций; проверка разработанной модели на адекватность.	10
20.05.2022 г.	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». Раздел «Социальная ответственность».	10
01.06.2022 г.	Выводы	10

СОСТАВИЛ:**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Киргина Мария Владимировна	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер ОХИ ИШПР	Алтынов Андрей Андреевич	—		

СОГЛАСОВАНО:**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Мойзес Ольга Ефимовна	К.Т.Н.		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Лукиянов Даниил Максимович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д8Б	Лукьянов Даниилу Максимовичу

Школа	ИШПР	Отделение	Химическая инженерия
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.</i>
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	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
3. Планирование процесса управления НИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ</i>
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	<i>Проведение оценки экономической эффективности исследования получения поливинилхлорида суспензионным способом</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		01.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Лукьянов Даниил Максимович		01.02.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
2Д8Б		Лукьянову Даниилу Максимовичу	
Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Химическая инженерия
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

Тема ВКР:

Разработка математической модели цеоформинга стабильного газового конденсата	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> образцы стабильного газового конденсата, отобранные на различных месторождениях Западной Сибири, а также продукты их переработки на цеолитном катализаторе.</p> <p><i>Область применения:</i> нефтеперерабатывающая промышленность</p> <p><i>Рабочая зона:</i> лаборатория второго корпуса ТПУ (ауд. 129), компьютерная аудитория ТПУ (ауд. 133)</p> <p><i>Размеры помещения:</i> 5 x 20 м, 6 x 5 м.</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> лабораторная каталитическая установка, персональный компьютер</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> экспериментально проведение процесса цеоформинга стабильного газового конденсата, разработка математической модели процесса с использованием персонального компьютера</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>«Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022); N 123-ФЗ от 22.07.2008 (ред. от 30.04.2021) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»; ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения). ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ потенциально вредных и опасных производственных факторов – Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов 	<p>Анализ вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего; – Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; – Повышенный уровень шума; – Производственные факторы, связанные с наличием электростатического поля и электромагнитных полей радиочастотного диапазона; – Перенапряжение зрительного анализатора;

	<ul style="list-style-type: none"> – Умственное перенапряжение. <p>Анализ опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Пожарная опасность; – Поражение электрическим током; <p>Основные средства защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> – халаты, перчатки, защитные очки, респираторы.
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения	<p>Воздействие на литосферу оказывают влияние загрязнение почв исходными химическими веществами и продуктами реакции, а также отходы, образующиеся при выполнении работ: макулатура, пластик, отработанные люминесцентные лампы и т.д.</p> <p>Воздействие на гидросферу оказывают периодические стоки, содержащие вредные вещества.</p> <p>Воздействие на атмосферу оказывают углеводородные пары стабильного газового конденсата и продуктов его переработки</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – пожар – взрыв – утечка реагентов <p>Наиболее потенциально опасная ЧС – пожар</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Гуляев Милий Всеволодович	—		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Лукьянов Даниил Максимович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 118 страниц, включает 38 рисунков, 31 таблицу, 38 источников и 1 Приложение.

Ключевые слова: цеоформинг, цеолит, стабильный газовый конденсат, математическое моделирование, хроматография, генетический алгоритм, кинетические параметры, бензин, моторное топливо.

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

Объект исследования – образцы стабильного газового конденсата, отобранные на различных месторождениях Западной Сибири, а также продукты их переработки на цеолитном катализаторе.

Предмет исследования – химические превращения веществ, входящих в состав стабильного газового конденсата в процессе цеоформинга.

Цель работы – разработка математической модели цеоформинга стабильного газового конденсата

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы разработан программный продукт для автоматизированной обработки данных хроматографического анализа. Кинетическая модель цеоформинга стабильного газового конденсата программно реализована для расчета состава получаемых продуктов цеоформинга по известному составу сырья. С помощью генетического алгоритма подобраны кинетические параметры, позволяющие с удовлетворительной точностью выполнять расчет состава продуктов цеоформинга при 375 °С, давлении 0,25 МПа и объемной скорости подачи сырья 2 ч⁻¹.

Экономическая эффективность: разработанный программный продукт может использоваться при проектировании нефтеперерабатывающих заводов малой мощности, расчете материального баланса установки цеоформинга и оценке ожидаемого экономического эффекта от ее строительства.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	15
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	19
1.1 Тренды в нефтегазовой промышленности России	19
1.2 Цеолитные катализаторы	22
1.3 Переработка бензиновой фракции и стабильного газового конденсата на цеолитных катализаторах.....	26
1.4 Математическое моделирование процесса цеоформинга.....	31
2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	34
2.1 Объект исследования.....	34
2.2 Методика переработки стабильного газового конденсата на каталитической установке.....	35
2.3 Методика исследования состава стабильного газового конденсата и продуктов его переработки.....	38
2.4 Автоматизированная формализация составов стабильного газового конденсата и продуктов цеоформинга.....	40
2.5 Методика нахождения кинетических параметров для кинетической модели цеоформинга	43
3 РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА	46
3.1 Результаты определения состава образцов СГК.....	46
3.2 Результаты определения состава продуктов цеоформинга	48
3.3 Формализация составов образцов СГК и продуктов цеоформинга	52
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	54
4.1 Обзор кинетической математической модели	54
4.2 Программная реализация кинетической модели	62
4.3 Подбор кинетических параметров реакций	63
4.4 Проверка разработанной модели на адекватность	64
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	69

5.1	Потенциальные потребители результатов исследования	69
5.2	Анализ конкурентных технических решений	70
5.3	SWOT-анализ.....	72
5.4	Планирование научно-исследовательских работ	75
5.4.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	75
5.4.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	76
5.4.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	77
5.5	Бюджет научно-технического исследования	82
5.5.1	Расчет материальных затрат научно-технического исследования.....	82
5.5.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	83
5.5.3	Основная заработная плата исполнителей темы	86
5.5.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	88
5.5.5	Отчисления во внебюджетные фонды.....	88
5.5.6	Накладные расходы	89
5.5.7	Формирования бюджета затрат научно-исследовательского проекта	89
5.6	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	90
6	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	93
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	93
6.1.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства	93
6.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .	94
6.2	Производственная безопасность	96
6.2.1	Анализ потенциально вредных и опасных производственных факторов.....	96
6.2.2	Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	98
6.3	Экологическая безопасность при разработке проектного решения	103
6.3.1	Воздействие на литосферу	104
6.3.2	Воздействие на гидросферу	104

6.3.3 Воздействие на атмосферу.....	105
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	105
ВЫВОДЫ.....	108
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА.....	110
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	112
ПРИЛОЖЕНИЕ А	116

ВВЕДЕНИЕ

Современный вектор развития ТЭК в мире сосредоточен на поиске новых технологий, эффективных с точки зрения использования полезных ископаемых, а также повышении ресурсоэффективности уже существующих способов переработки углеводородного сырья. Подобные поиски ведутся в условиях продолжающегося роста спроса со стороны промышленности и населения на топливо для различных видов транспорта, спроса на электрическую и тепловую энергию. Последнее десятилетие характеризуется увеличением объемов добычи углеводородов нефте- и газодобывающими компаниями Российской Федерации. В этой тенденции следует выделить стабильный газовый конденсат, добыча которого возросла на протяжении этого периода почти в два раза.

Газовый конденсат представляет собой жидкую смесь относительно легких углеводородов, которые отделяют от природного газа посредством низкотемпературной сепарации в процессе его подготовки. После сепарации газовый конденсат содержит относительно большое количество растворенных легких углеводородов C_1 - C_4 , которые отделяют посредством ректификации в стабилизационных колоннах. Полученная жидкость после удаления легких газов называется стабильным газовым конденсатом (СГК).

В связи с вышеописанным интерес представляет исследование возможности использования СГК в качестве сырья для получения компонентов моторных топлив. Получение компонентов моторного топлива тесно сопряжено с применением каталитических процессов, которые в описанных условиях должны отличаться, прежде всего, резистивностью катализатора к примесям в сырье невысокой степени подготовки. Удовлетворить подобные требования возможно благодаря использованию цеолитных катализаторов. Таким образом, актуальными становятся исследования, направленные на изучение направлений химических превращений, протекающих на поверхности цеолитов и выявление факторов, влияющих на эти направления. Интерес с практической точки зрения

представляет также создание математической модели процесса, позволяющей определять состав продуктов по заданному составу сырья и термобарическим условиям проведения процесса.

Целью работы является разработка математической модели цеоформинга стабильного газового конденсата.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Реализовать цеоформинг в лабораторных условиях с использованием СГК в качестве сырья при различных температурах процесса. Исследовать влияние температуры на направления химических превращений углеводородов СГК в процессе цеоформинга;
2. Формализовать углеводородные составы продуктов цеоформинга СГК конечным перечнем компонентов. Программно реализовать автоматизированную обработку данных хроматографического анализа продуктов цеоформинга СГК;
3. Разработать программный продукт для расчета состава продуктов цеоформинга СГК в соответствии с кинетической моделью процесса;
4. Осуществить подбор кинетических параметров, позволяющих реализовать расчет концентраций веществ в продуктах цеоформинга СГК с удовлетворительной точностью относительно данных хроматографического анализа соответствующих продуктов.

Объектом исследования в данной работе являются образцы СГК, отобранные на различных месторождениях Западной Сибири, а также продукты их переработки на цеолитном катализаторе.

Предметом исследования являются химические превращения веществ, входящих в состав СГК в процессе цеоформинга.

Научная новизна работы:

1. На лабораторной каталитической установке реализован процесс цеоформинга различных образцов СГК с использованием цеолитного катализатора типа ZSM-5. Выявлены закономерности влияния температуры на направления химических превращений углеводородов

СГК в процессе цеоформинга. Установлено, что с повышением температуры цеоформинга значительно возрастает содержание ароматических углеводородов в получаемых продуктах; одновременно снижается содержание н-парафинов и изопарафинов, вследствие ускорения реакций крекинга углеводородов СГК;

2. Получен формализованный перечень компонентов, на основании анализа компонентного состава образцов СГК и продуктов его цеоформинга, включающий 31 индивидуальное вещество и 19 псевдокомпонентов. Выработаны принципы отнесения индивидуальных веществ в псевдокомпоненты. Разработан программный продукт для автоматизированной обработки данных хроматографического анализа продуктов цеоформинга СГК с целью группировки веществ в заданные на этапе формализации компоненты;
3. Разработан программный продукт для расчета состава продуктов цеоформинга СГК, в основе которого лежит кинетическая модель процесса цеоформинга, включающая 180 реакций восьми типов;
4. С использованием генетического алгоритма подобраны кинетические параметры, которые позволяют выполнять расчет состава продуктов цеоформинга СГК при температуре 375 °С, давлении 0,25 МПа, объемной скорости подачи сырья 2 ч⁻¹ с удовлетворительной точностью.

Практическая значимость работы:

Разработанная кинетическая модель процесса цеоформинга СГК и созданный на ее основе программный продукт могут использоваться при проектировании нефтеперерабатывающих заводов малой мощности, расчете материального баланса установки цеоформинга и оценке ожидаемого экономического эффекта от ее строительства.

Программный продукт может использоваться в целях оптимизации условий ведения процесса цеоформинга СГК в экспериментально исследованных интервалах температуры, давления и объемной скорости подачи сырья.

Апробация работы:

Результаты разработки программного продукта для автоматизированной обработки данных хроматографического анализа были представлены на XXV Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр».

На программный продукт для автоматизированной обработки данных хроматографического анализа получено Свидетельство №2022610977 о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Результаты программной реализации математической модели цеоформинга СГК и подбора кинетических параметров были представлены на XXIII Международной научно-практической конференции «Химия и химическая технология в XXI веке» имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера, получен диплом I степени.

Программный продукт был представлен на Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР», получен диплом II степени.

По результатам работы опубликовано 11 докладов в сборниках материалов конференций, а также 1 статья, в издании, включенном в перечень ВАК.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Тренды в нефтегазовой промышленности России

Экономическое развитие России сохраняет тесную связь с сектором добычи и переработки углеводородных ресурсов. Несмотря на осложнения в международных отношениях, мировая энергетика характеризуется растущей степенью глобализации, что способствует увеличению конкуренции уже не только между производителями топлив и масел внутри отрасли, но и между различными видами конечных энергоносителей (топливо, электроэнергия, водород).

Анализ, проведенный в [1] указывает на неполную загрузку мощностей НПЗ в странах – ключевых производителей моторных топлив: США, Индии, России, Китае, странах Европейского союза, Японии. Так, по прогнозам ПАО «Лукойл», уже введенных мощностей переработки нефти достаточно, чтобы удовлетворить основную часть растущего спроса на топливо до 2035 года. Одновременно, Азиатско-Тихоокеанский регион в последние годы отличается активными инвестициями в новые НПЗ, обладающие высокой глубиной переработки нефти.

Перечисленные факторы вынуждают российские нефтеперерабатывающие компании вести поиск источников повышения маржинальности с целью дальнейшего сохранения устойчивого положения на рынке.

В описанной ситуации стратегически верным видится целенаправленная деятельность по оптимизации различных аспектов процессов производства товарных продуктов из нефтяного сырья.

Организация подобной деятельности должна проводиться с учетом следующих факторов:

1. Ориентация мировой энергетики на ресурсоэффективную модель производства;
2. Географические и климатические особенности России;

3. Располагаемую материально-техническую базу российских нефтеперерабатывающих компаний.

Для нефтегазоперерабатывающей отрасли в России характерна высокая сосредоточенность производственных мощностей в активах шести доминирующих компаний: ПАО «Роснефть», ПАО «Лукойл», ПАО Сургутнефтегаз, ПАО «Газпромнефть», ПАО «Татнефть» и ПАО АНК «Башнефть» (дочерняя структура ПАО «Роснефть»).

Перечисленные нефтяные компании являются вертикальноинтегрированными. Олигопольное положение представителей сектора способствует эффективному управлению, прогнозированию, однако, последующие экономические преимущества участников рынка в значительной степени распределяются в пользу государства (посредством налоговых механизмов), как и ответственность за дальнейшее развитие отрасли.

Взаимовыгодное сотрудничество вертикальноинтегрированных нефтяных компаний и с государством является традиционным для российского нефтяного сектора и имеет положительные результаты.

С принятием приказа от 8 апреля 2014 года N651/172 «Об утверждении стратегии развития химической и нефтехимической промышленности в период до 2030 года» в России наблюдается значительное увеличение показателя глубины переработки нефти. Так, за 2015-2017 годы глубина переработки нефти возросла с 70,8 до 82,1 %, а производство мазута сокращено с 71,0 до 51,2 млн. т при сохранении объемов производства автомобильного бензина и дизельного топлива [2, 3]. Рост данных показателей связан в значительной степени с вводом мощностей гидрокрекинга на российских НПЗ. Однако на сегодняшний день влияние этого фактора как драйвера развития отрасли можно считать реализованным.

В работе [4] авторами выделены следующие возможные источники оптимизации производственной деятельности российских нефтеперерабатывающих предприятий:

1. Модернизация материально-технической базы с целью выпуска продукции, соответствующей актуальным требованиям потребителей;
2. Ввод новых экологических стандартов, которые позволят обеспечить не только функциональные качества топлив и масел, но и их соответствие экологическим требованиям, обозначенным странами-потребителями;
3. Повышение глубины переработки нефти за счет наиболее полного вовлечения различных компонентов сырья.

Важным трендом для России является возрастание доли месторождений нефти с трудноизвлекаемыми запасами. Нередкими стали периоды, когда выведенные из эксплуатации месторождения (вследствие истощения или международных договоренностей) не находят аналогичной по объему и рентабельности замены [5]. В этих условиях особенно возрастает важность наращивания темпов геологоразведочных работ, развития и удешевления технологий добычи трудноизвлекаемых запасов и повышения глубины переработки уже добываемого сырья.

Данные по динамике добычи природного газа, напротив, отличаются растущей тенденцией. Объем добытого природного газа в 2020 году на 7 % превышает уровень добычи 2010 года, причем в 2021 году наблюдается ускоренное увеличение объемов добычи [6]. По прогнозам экспертов компании Rystad Energy [7] объем добычи природного газа к 2040 году на 24 % превысит значение 2020 года, причем в сфере доставки газа наибольший рост придется на сжиженный природный газ.

В сложившейся ситуации перспективными с точки зрения экономической отдачи видятся инвестиции в крупные газовые месторождения, сосредоточенные на крайнем севере России. Низкие средние температуры северных регионов благоприятно влияют на процесс сжижения природного газа и способствуют синергетическому эффекту.

Одним из продуктов подготовки природного газа является нестабильный газовый конденсат, который отделяется в процессе низкотемпературной

сепарации и представляет собой смесь углеводородов C_{5+} , которые находятся в жидком состоянии при стандартных условиях (температура (T) = 20 °С, давление (P) = 760 мм.рт.ст.). Удалением более легких компонентов ректификацией или ступенчатой сепарацией из нестабильного газового конденсата получают стабильный газовый конденсат [8].

СГК может быть использован в качестве сырья для получения бензинов в процессе его каталитической переработки на цеолитсодержащем катализаторе. В работе [9] цеоформинг рассматривается в качестве альтернативы каталитическому риформингу – традиционному процессу повышения ОЧ бензиновой фракции. Основными отличиями этих процессов являются более мягкие условия при цеоформинге ($T = 350-450$ °С, $P = 0,2-2,0$ МПа) относительно условий риформинга ($T = 470-540$ °С, $P = 2,5-5,0$ МПа). Катализаторы риформинга содержат платину (0,3-0,6 % мас.), нанесенную на γ -оксид алюминия или цеолит, в то время как для цеоформинга используются цеолиты без нанесенных благородных металлов.

Далее более подробно рассматриваются состав и структура цеолитных катализаторов.

1.2 Цеолитные катализаторы

В переводе с греческого термин «цеолит» означает «кипящий камень». Такое название они получили из-за явления вспучивания при нагревании образца природного цеолита – стильбита, наблюдаемого Кронштедтом А.Ф. в 1756 году [10].

Состав цеолитов характеризуются следующей общей формулой [11]



где n – валентность катиона металла M , который принадлежит I или II группе таблицы Д.И. Менделеева; x – отношение SiO_2/Al_2O_3 , которое может быть равно или больше 2. Эту характеристику еще называют «кремнеземистостью» цеолита.

Основным отличием аморфных алюмосиликатов от цеолитов является кристаллическая структура последних. Она характеризуется наличием системы каналов определенного диаметра (Рисунок 1.1), который зависит от состава и условий образования кристаллической решетки. Эта система каналов может быть одномерной (каналы параллельны), двумерной (каналы параллельны и имеют поперечные более узкие каналы, расположенные в отдельных плоскостях) и трехмерной (разветвленная сеть каналов).

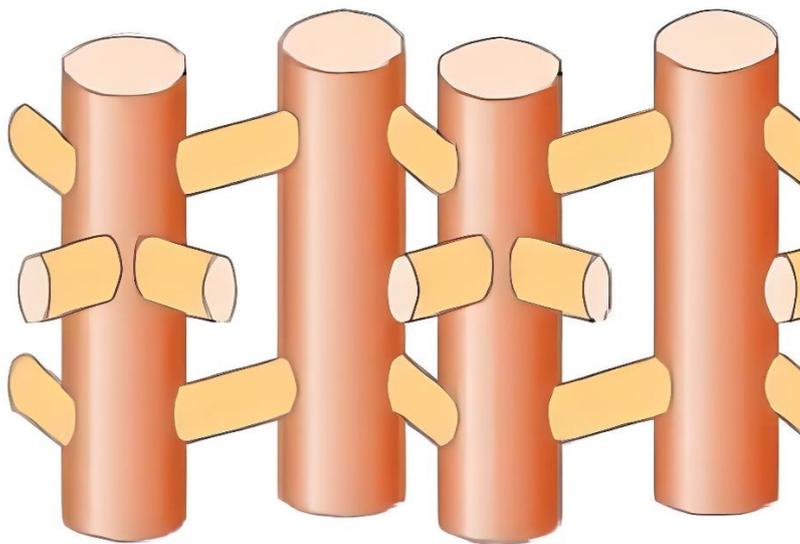


Рисунок 1.1 – Схема каналов в цеолите типа пентасила ZSM-5 [10]

С кристаллической структурой и каналами (нанопорами) определенного диаметра соизмеримого с размерами молекул различных веществ связано особое свойство цеолитов, называемое молекулярно-ситовым эффектом. Данное свойство заключается в том, что при пропускании через объем цеолита смесей газов или жидкостей, часть молекул, неспособная пройти через каналы цеолита задерживается, в то время как другие молекулы проходят через объемную структуру. На данном явлении основана, например, методика отделения изопарафинов от н-парафинов, что особенно важно при проведении анализов на групповой состав углеводородных смесей [12].

В зависимости от условий образования, цеолиты разделяются на природные и синтетические. В настоящее время известно порядка 600 цеолитов, из которых более 50 относятся к искусственно созданным [13].

Однако далеко не все из них нашли применение в практических задачах. Это связано с тем, что одни цеолиты после удаления воды (дегидратации) имеют в своем объеме поры очень малого диаметра, что затрудняет диффузию внутри каналов, а другие после дегидратации теряют структуру каркаса, что делает процесс дегидратации необратимым. На способности некоторых цеолитов к обратимой дегидратации основаны технологии глубокой адсорбционной осушки газов (в стабильных дегидратированных цеолитах свободное пространство составляет около 25-45 % объема цеолита).

Основной структурной единицей цеолита является тетраэдрический комплекс, состоящий из атомов кислорода и Т-атомов (в основном Si или Al, реже Ga, P, B, Ge). Такой комплекс описывается формулой TO_4 . Атомы кислорода в отдельном тетраэдрическом комплексе имеют по одной связи Si – O или Al – O (Рисунок 1.2).

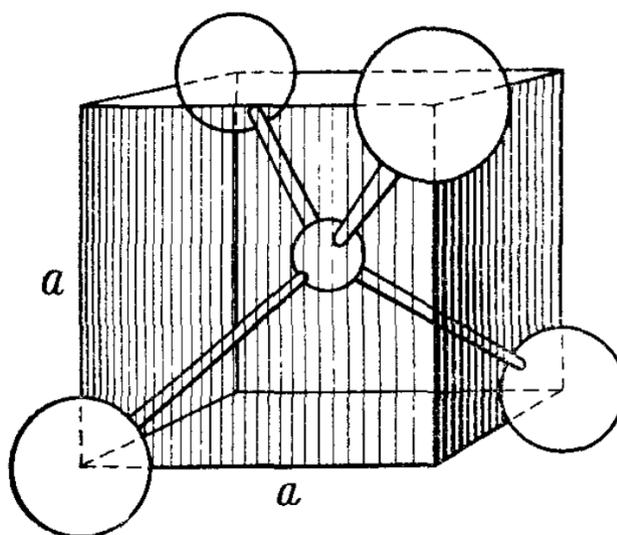


Рисунок 1.2 – Тетраэдр SiO_4 . $a = 1,82 \text{ \AA}$

Особенность цеолитов в том (в отличие от большого числа других алюмосиликатов), что каждую вторую валентность атомы кислорода насыщают благодаря связи с атомом Si/Al из другого тетраэдрического комплекса. Таким образом, атомы кислорода являются общими для двух атомов Si или Al, выступая в роли мостиков. При изоморфном замещении атома Si на атом Al тетраэдр приобретает единичный отрицательный заряд, который компенсируется ионами металлов I или II группы периодической системы.

Однако, эти ионы способны к ионному обмену, в том числе и на многовалентные металлы, что открывает возможность модификации кристаллической решетки цеолитов.

Соединения тетраэдров образует различные повторяющиеся в структуре цеолита кольца (из 4, 5, 6, 8, 10, 12 Т-атомов), призмы и различные многогранники, которые называются вторичными структурными единицами. Возможные структуры цеолитов, образованные из вторичных элементов, отличаются большим разнообразием. Различия в топологии являются основой для классификации кристаллических алюмосиликатов, которая подробно изложена Д. Бреком в [11], хотя с момента написания данной книги было получено достаточно много новых цеолитов, что способствовало усложнению их классификации.

Экспериментальная часть данной работы посвящена исследованию цеоформинга СГК на цеолитном катализаторе типа ZSM-5 (относится к семейству пентасилов), структура которого изображена на Рисунке 1.3.

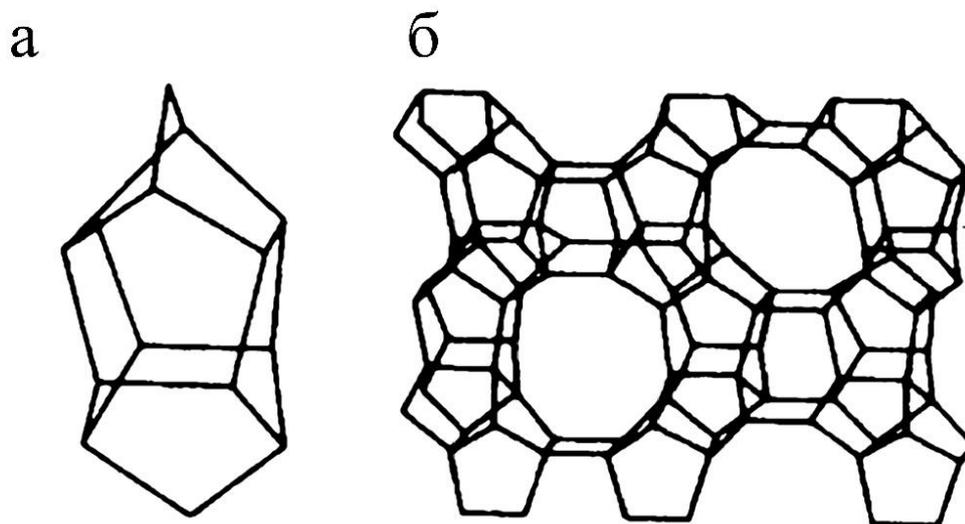


Рисунок 1.3 – Структура цеолита ZSM-5 (zeolite «Secondi Mobil») [14]

а – основная вторичная структурная единица; б – сечение узкого канала.

Рассмотрим результаты, полученные исследователями процесса переработки СГК и бензиновой фракции на цеолитных катализаторах.

1.3 Переработка бензиновой фракции и стабильного газового конденсата на цеолитных катализаторах

Цеоформинг SGK с целью получения моторных топлив, как правило, изучается на предмет соответствия получаемых продуктов требованиям, предъявляемым к качеству автомобильных бензинов. Авторы работы [15] показали, что из бензиновой фракции с октановым числом (ОЧ) по моторному методу (ОЧМ) 40-60 пунктов нефтяных и газоконденсатных месторождений можно получать бензины марок от АИ-80 до АИ-95 путем их переработки на катализаторе ИК-30. Данный катализатор представляет собой синтетический цеолит с высоким отношением $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, разработанный в Институте катализа им. Г.К. Борескова СО РАН.

На Рисунке 1.4 представлен график зависимости группового состава катализата от температуры при переработке средневилюйского газового конденсата ($P = 1,0$ МПа, объемная скорость подачи сырья (V) = 2 ч^{-1}).

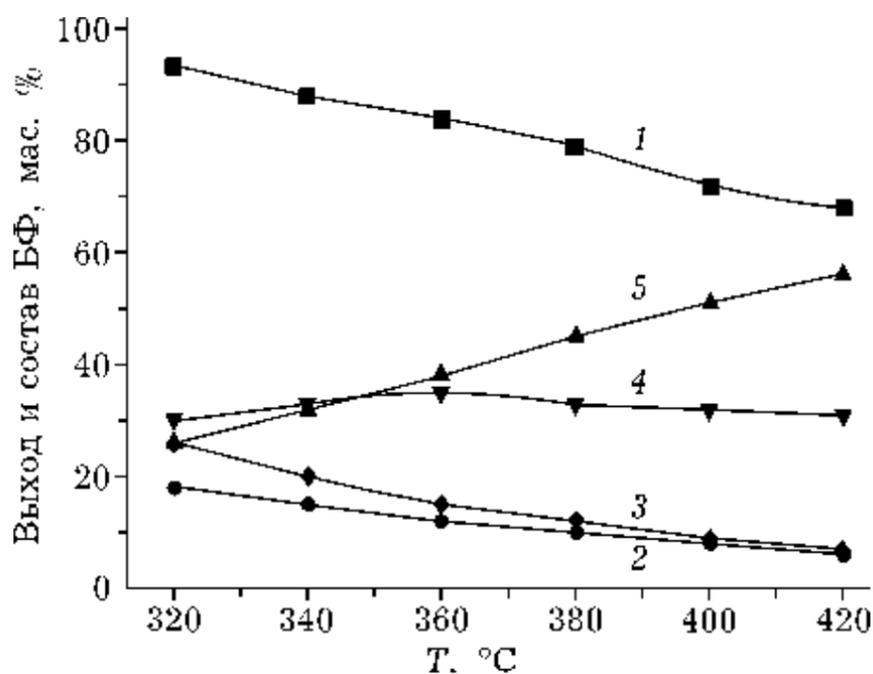


Рисунок 1.4 – Влияние температуры цеоформинга на групповой состав продуктов [15]

1 – выход бензиновой фракции (БФ); 2 – содержание в БФ н-парафинов; 3 – нафтенов; 4 – изопарафинов; 5 – ароматических углеводородов.

Можно видеть, что с увеличением температуры выше 380 °С возрастает выход ароматических соединений (как следствия возрастает ОЧ) и начинает незначительно снижаться содержание изопарафинов, снижается содержание нафтенов и н-парафинов. Таким образом, поиск оптимальной температуры цеоформинга в значительной степени является компромиссом между требуемым ОЧ и ограничением [16] на непревышение содержания бензола (1 % об.). Цеоформинг при температуре ниже 380 °С менее оправдан с точки зрения ОЧ получаемого продукта и невысокой степени конверсии н-парафинов и нафтенов.

В работе [17] авторы провели анализ процесса цеоформинга, реализованного на промышленной установке мощностью 1,8 млн. т/год. При давлении 0,7 МПа, температуре 385-400 °С исследователи получили автобензины марок А-76 и АИ-91. Повышение ОЧ удалось достичь благодаря снижению объемной скорости подачи сырья с 1,8 ч⁻¹ до 1,2 ч⁻¹. При этом выход бензина снизился с примерно 50 % до 25 % по сырью, т.е. производительность установки по бензину снизилась в 3 раза. В работе также приводятся подробности по длительности межрегенерационного периода используемого цеолитсодержащего катализатора в диапазоне 250-300 часов. Отмечается также, что при производстве марки АИ-91 уже через 30-40 часов происходит снижение активности катализатора в реакциях ароматизации, что приводит к недостижению продуктом требуемого ОЧ для бензина АИ-91. Авторы указывают на преимущество цеоформинга относительно риформинга в виде низкого выхода бензола по причине неподходящих для его образования термодинамических условий.

Сравнение ОЧ продуктов, полученных при переработке на цеолитных катализаторах типа ZSM-5 (пентасил) и FAU (модифицированных вольфрамом), было выполнено в работе [18]. Авторы проводили процесс при температуре 350-430 °С с шагом в 10 °С, давлении 1,3 МПа и объемной скорости подачи сырья 1,2 ч⁻¹. Исследование показало, что добавка вольфрама позволяет получить продукт с ОЧ по исследовательскому методу (ОЧИ)

примерно 93-94 пункта, что на 2-3 пункта выше, чем при цеоформинге на цеолите типа ZSM-5. Данный эффект был объяснен увеличением числа апротонных кислотных центров, что повысило скорость реакции дегидрирования низших алканов. Полученные низшие олефины участвует в реакциях перераспределения водорода с образованием высокооктановых ароматических компонентов.

Модификация цеолитов типа пентасила ионами Fe, Cu, Zn было исследована в работе [19]. В качестве сырья использовали н-гексан и бензиновую фракцию. Результаты испытаний с н-гексаном показали, что в исследуемом диапазоне температур 350-500 °С модификация ионами перечисленных металлов приводит к повышению селективности в реакциях изомеризации. Однако для реакций ароматизации наблюдается снижение селективности при температурах 350-400 °С относительно немодифицированного цеолита, в то время как при температурах 450-500 °С ионы металлов способствует более активному ходу, как реакций изомеризации, так и реакций ароматизации. Критерием эффективности добавки авторы определили селективность цеолита в реакциях изомеризации при умеренной скорости реакций ароматизации, так как достижение высокого ОЧ за счет высокого содержания изопарафинов стимулируется нормативными документами и является более экологичным, чем благодаря высокому содержанию ароматических соединений. Наиболее удачной для цеоформинга н-гексана среди ионов Fe, Cu, Zn оказалась добавка ионов меди.

Процесс с бензиновой фракцией был проведен при температурах 350, 380 и 430 °С и объемной скоростью подачи сырья 2 ч⁻¹. В опыте использовали модифицированный медью цеолит, варьируя массовую долю добавки (1, 2, 3 % мас.). Для всех опытов при 380 °С были получены максимумы содержания изопарафинов в продукте. Содержание ароматических соединений возрастало с ростом температуры во всех опытах. Наиболее оптимальным по результатам анализа группового состава и определения ОЧ продуктов оказался процесс, проведенный при 380 °С и 2 % мас. добавки ионов меди. В таком

продукте суммарное содержание н-парафинов и нафтенов составило 34,1 % мас., изопарафинов 37,1 % мас., олефинов 0,9 % мас., ароматических углеводородов 27,9 % мас. ОЧИ составило 85 пунктов. Относительно процесса на немодифицированном цеолите исследователи получили качественно положительный результат.

Авторы работы [20] приводят данные, подтверждающие возможность применения цеолитов в целях выпуска автомобильных бензинов в контексте актуальных требований законодательства развитых стран на предельно допустимое содержание серосодержащих соединений. Отмечено, что модифицированные ионами молибдена и никеля цеолиты могут использоваться для обессеривания сырья. Дополнительным преимуществом цеолитсодержащих катализаторов, по мнению исследователей, является неполное гидрирование олефинов в процессе цеоформинга. Наличие олефинов положительно влияет на антидетонационные свойства топлива, в то время как при классической последовательности гидроочистка → риформинг на первой стадии происходит насыщение олефинов. Данные аспекты особенно важны, если рассматривать в качестве сырья риформинга/цеоформинга бензиновую фракцию, полученную на установках каталитического крекинга. Кроме того, поток легких олефинов дополнительно может быть добавлен в сырье, что способствует большей глубине обессеривания и большему выходу C_{5+} углеводородов.

Ссылаясь на работы Степанова В.Г. и Ионе К.Г., авторы в [20] отмечают, что процесс цеоформинга сопровождается образованием фракции с температурой кипения 200-280 °С, что требует последующей ректификации продукта цеоформинга. Вдобавок, ректификация может быть необходима для регулирования давления насыщенных паров (ДНП) производимой бензиновой фракции.

Относительно высокая стойкость цеолитных катализаторов к серосодержащим соединениям вкупе с реакциями образования сероводорода позволяет получать продукты с пониженным содержанием серы, что особенно

выгодно на малотоннажных НПЗ, способных удовлетворить спрос на моторные топлива в отдаленных регионах Крайнего Севера.

Процесс удаления серосодержащих соединений в процессе цеоформинга представлен на Рисунке 1.5. Иллюстрация выполнена по материалам статьи [20].

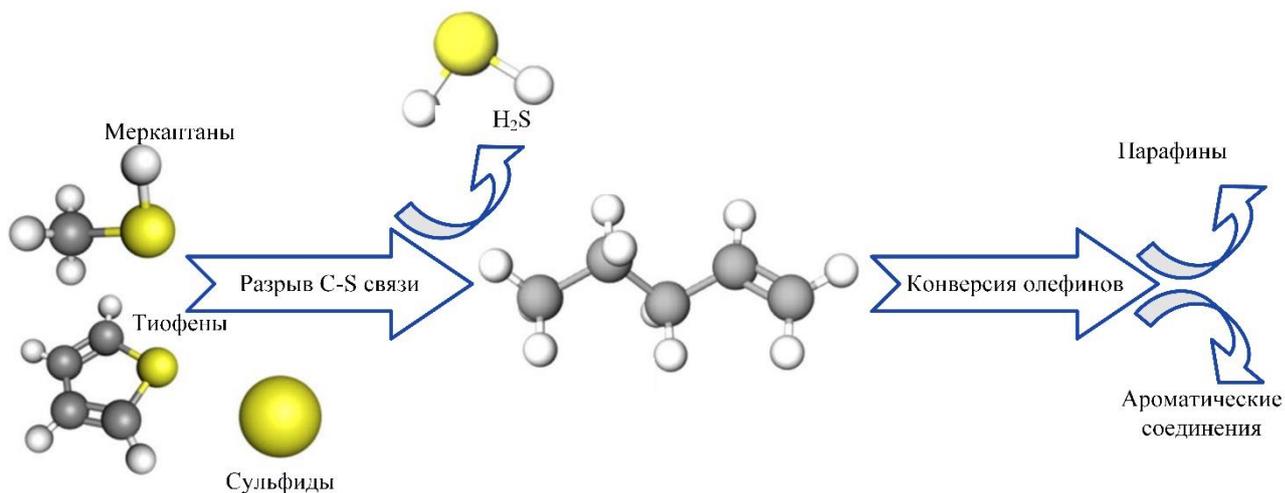


Рисунок 1.5 – Конверсия серосодержащих соединений в процессе цеоформинга

Таким образом, при разрыве C-S связи происходит образование олефинов – промежуточных веществ, которые в результате реакций перераспределения водорода образуют парафины и ароматические соединения.

Также авторы отметили исследования, в которых обнаружено, что модификация галлием приводит к повышению селективности катализатора в реакциях ароматизации. Отмечается корреляция между изомеризирующей способностью цеолитов и их кислотностью, которая измеряется теплотой адсорбции аммиака на поверхности катализатора.

Авторы работы [21] предлагают комплексную переработку углеводородного сырья на малых НПЗ благодаря применению следующих процессов переработки: первичная перегонка (АТ), цеоформинг бензиновой фракции, гидрокрекинг мазута. Перечисленные процессы способны обеспечить производство товарных топлив (бензина и дизельного топлива) и котельного топлива (остаток гидрокрекинга). Источник водорода для предложенной схемы

авторы не обозначают. Предполагаемая окупаемость мини-НПЗ для снабжения регионов составляет 1-1,5 лет.

Ниже приведены основные преимущества и недостатки процесса цеоформинг в сравнении с классической схемой, основанной на риформинге [22]:

1. Цеоформинг не требует предварительного удаления серы из сырья. Серосодержащие соединения переходят в сероводород, который отделяется с легкими углеводородными газами C_1-C_4 ;
2. Продукт цеоформинга содержит больше изопарафинов и меньше ароматических соединений (в особенности бензола) в сравнении с риформингом. Более того, продукты риформинга более не могут являться основным компонентом товарного бензина при компаундировании по причине законодательных ограничений на содержание бензола;
3. Выход бензиновой фракции при цеоформинге ниже (65-75 % мас.), чем в процессе риформинга (84-85 % мас.);
4. Катализаторы цеоформинга имеют малую продолжительность межрегенерационного периода, которая составляет 150-500 часов. Она может быть несколько увеличена модификацией ионами цинка.

1.4 Математическое моделирование процесса цеоформинга

Разработка математической модели является сложной задачей, требующей глубокого понимания механизма взаимодействия, входящих в нее объектов. При разработке математической модели первым этапом работы является изучение направлений химических превращений в ходе процесса, а также влияния на них различных факторов. Затем выполняется формализация полученных данных и закономерностей в виде алгебраических и дифференциальных уравнений, описывающих процессы, состояние и поведение объектов в моделируемой системе. Далее производится решение составленных уравнений и оценивается полученный результат сравнением с

экспериментальным фактом. При недостижении адекватности результата расчета выполняется аналитический поиск неправильно описанного взаимодействия объектов и производится корректировка математического описания. Адекватная модель, в основе которой лежат физико-химические закономерности может служить средством оптимизации и исследования процесса, в том числе в условиях, не изученных экспериментально.

На основании собственных экспериментов и литературных данных авторы работы [23] предложили схему превращений бензиновых фракций различного происхождения в условиях цеоформинга. Основными этапами преобразования выделены: расщепление С – С связей в парафинах с образованием олефинов и перераспределение водорода в олефинах с образованием ароматических соединений и парафинов. К побочным реакциям, идущим менее активно, отнесены реакции изомеризации и алкилирования. Предложенная схема превращений веществ в процессе цеоформинга представлена на Рисунке 1.6.

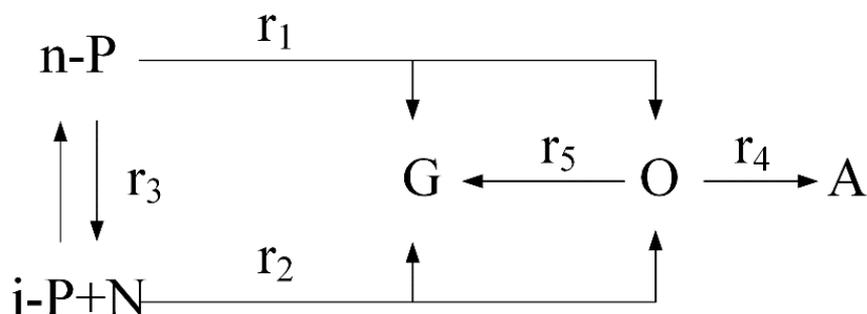


Рисунок 1.6 – Схема превращений веществ в процессе цеоформинга

n-P – n-парафины; i-P + N – изопарафины и нафтены G – УВ-газы; O – олефины; A – ароматические соединения

Совместным решением системы кинетических уравнений, составленных по закону действующих масс и уравнений материального баланса авторы определили численные значения для констант скоростей реакций. Адекватность предложенной модели подтверждается Рисунком 1.7.

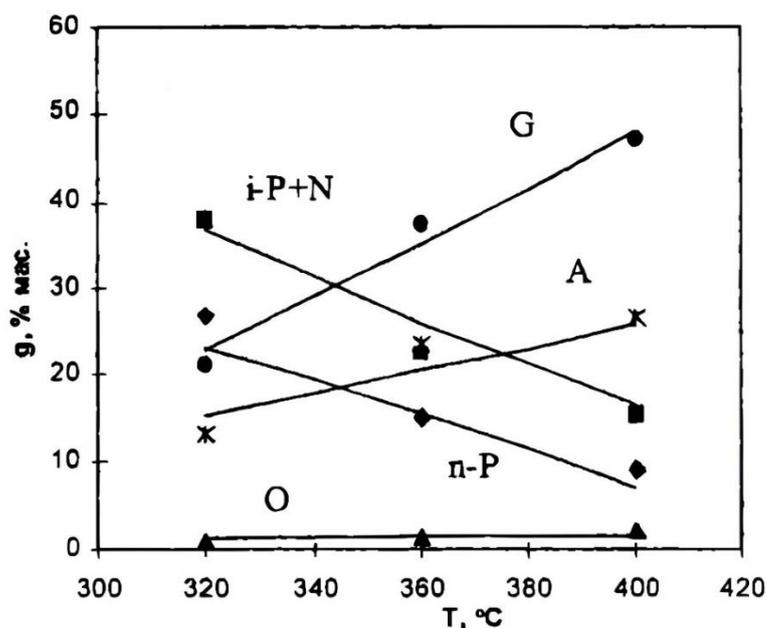


Рисунок 1.7 – Зависимость состава продуктов цеоформинга Херсонского газового конденсата

Содержание в % мас.: ● – углеводородных газов; ▲ – олефинов; ■ – изопарафинов и нафтенов; ◆ – n-парафинов; × – ароматических соединений;

Особенностью групповой кинетической модели является зависимость ее параметров как от условий проведения процесса и катализатора, так и от состава реагирующих веществ, так как различия на уровне индивидуальных веществ могут быть не учтены при рассмотрении группового состава.

Анализ реакционной способности олефинов и алюминий органических соединений выполнен исследователями Института нефтехимии и катализа РАН в работе [24]. Количественной мерой реакционной способности вещества в системе, где проходят химические превращения, было предложено считать константы скорости реакций, в которых участвует вещество. Для определения кинетических параметров использовались механизмы реакций, описывающие элементарные стадии химического превращения. Разработанная на основе данных механизмов кинетическая модель позволила решить обратную кинетическую задачу – вычислить значения констант скоростей химических реакций с помощью эволюционного алгоритма, суть которого состоит в организации отбора значений кинетических констант подобно естественному, существующему в живой природе.

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Разработка кинетической модели процесса цеоформинга производится группой работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Данная выпускная квалификационная работа заключается в разработке кинетической модели процесса цеоформинга СГК на основании анализа литературных источников и экспериментальных данных, полученной в научной лаборатории и программной реализации разработанной модели.

Цель раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» заключается в оценке перспективности программной реализации кинетической модели цеоформинга с учетом анализа рынка возможных потребителей, трудозатрат на разработку математической модели и возможных рисков.

Достижение данной цели подразумевает решение следующих задач:

1. Оценка потенциальных потребителей разработанной программы;
2. Выполнение конкурентного и SWOT-анализа разработки;
3. Оценка структуры работ по разработке кинетической модели и трудозатрат на их выполнение;
4. Расчет бюджета на разработку.

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Согласно экономическим оценкам, наиболее рентабельным является эксплуатация установок цеоформинга на малых НПЗ мощностью 5-30 млн. т/год [28].

С учетом назначения разработанной кинетической модели – расчет материального баланса процесса цеоформинга СГК, а также назначения процесса цеоформинга СГК выполним сегментирование рынка потребителей на

основании следующих критериев: размер проектируемого НПЗ, вид целевой продукции на проектируемом НПЗ (Рисунок 5.1).

		Вид целевой продукции НПЗ		
		Бензин	Дизель	Сжиженный газ
Размер проектируемого НПЗ	Крупный			
	Средний			
	Мелкий			

Рисунок 5.1 – Карта сегментирования рынка потребителей разработанной программы для расчета материального баланса процесса цеоформинга

Таким образом, потенциальными потребителями разработанной кинетической модели процесса цеоформинга являются компании и отделы компаний, специализирующиеся на проектировании малотоннажных объектов переработки СГК в бензиновое топливо и сжиженный газ.

В качестве примера организации-потребителя служит компания ООО НПЗ «НОУПРОМ».

5.2 Анализ конкурентных технических решений

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

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты [29]. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в Таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _М	Б _{К1}	Б _{К2}	К _М	К _{К1}	К _{К2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Простота анализа	0,1	5	2	5	0,5	0,2	0,5
2. Точность результатов	0,15	4	5	4	0,6	0,75	0,6
3. Универсальность метода	0,1	3	5	4	0,3	0,5	0,4
4. Безопасность метода	0,15	5	3	5	0,75	0,45	0,75
5. Надежность метода	0,15	4	4	4	0,6	0,6	0,6
6. Сроки анализа	0,05	5	3	5	0,25	0,15	0,25
Экономические критерии							
1. Цена	0,25	5	3	4	1,25	0,75	1
2. Сроки приобретения потребителем	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
ИТОГО	1	36	29	36	4,50	3,60	4,35

где B_M – расчет материального баланса цеоформинга с помощью разработанной модели;

B_{K1} – экспериментальное определение материального баланса;

B_{K2} – расчет материального баланса цеоформинга с помощью существующих групповых моделей процесса.

Конкурентоспособность технических решений определена по формуле:

$$K_i = \sum_{j=1}^3 (V_j \cdot B_j) \quad (5.1)$$

где K_i – конкурентоспособность i -го технического решения;

V_j – вес j -го критерия;

B_j – балл j -го показателя.

Согласно представленной оценочной карте, разработанный продукт является конкурентоспособным относительно существующих технических решений. Наиболее конкурентным преимуществом при этом является цена разработанного продукта. Основным недостатком является невысокая степень универсальности метода.

5.3 SWOT-анализ

Выполним SWOT-анализ, который представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта (Таблица 5.2). Применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Анализ проводится в три этапа.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Результатом выполнения первого этапа является промежуточная матрица SWOT, которая предоставлена в Таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Промежуточная матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Низкая стоимость разработки; С2. Большое количество учитываемых компонентов в расчете материального баланса; С3. Перспективность процесса цеоформинга; С4. Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов.	Сл1. Требуется апробация на промышленных установках; Сл2. Невысокий интерес к мини-НПЗ в РФ; Сл3. Невысокая точность расчета; Сл4. Неполный учет термобарических условий процесса при расчете.
Возможности во внешней среде	Угрозы внешней среды
В1. Расширение сферы участия в проектах, реализуемых в рамках программ ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на исследования В3. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В4. Внедрение на Российский НПЗ процесса и соответственно повышение спроса на разрабатываемую модель.	У1. Создание подобной модели на рынке в более быстрые сроки У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства У3. Отсутствие спроса на новые технологии. У4. Внедрение других моделей на предприятия отечественных НПЗ

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта.

Интерактивная матрица проекта представлена в Таблице 5.3. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных

сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 5.3 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4
	B1	+	0	+	+
	B2	+	-	+	+
	B3	+	0	+	+
	B4	+	+	+	+
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	0	+	0	-
	B2	+	0	0	+
	B3	0	0	+	+
	B4	+	-	0	0
Угрозы	Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4
	У1	0	-	+	+
	У2	-	0	-	+
	У3	+	-	0	-
	У4	+	+	0	+
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	-	0	+
	У2	+	-	-	+
	У3		+	0	-
	У4	+	-	0	+

Представим анализ интерактивной матрицы проекта в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей или слабых сторон и возможностей:

- B1B2B3B4C1C3C4; B4C2;
- B2B4Сл1; B1Сл2; C3Сл3; B2B3Сл4;
- У3У4C1; У4C2; У1C3; У1У2У4C4;
- У1У2У4Сл1Сл4; У3Сл2.

Наиболее сильной стороной проекта является низкая стоимость его реализации, а также перспективность процесса цеоформинга, в особенности на малых НПЗ.

Повышение конкурентоспособности разработки может быть обеспечено дополнительными исследованиями с целью проверки модели на промышленных установках цеоформинга, а также за счет более полного учета термобарических условий процесса цеоформинга.

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в Таблице 5.4

Таблица 5.4 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны	Слабые стороны
	С1. Низкая стоимость разработки; С2. Большое количество учитываемых компонентов в расчете материального баланса; С3. Перспективность процесса цеоформинга; С4. Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов.	Сл1. Требуется апробация на промышленных установках; Сл2. Невысокий интерес к мини-НПЗ в РФ; Сл3. Невысокая точность расчета; Сл4. Неполный учет термобарических условий процесса при расчете.
1	2	3
Возможности В1. Расширение сферы участия в проектах, реализуемых в рамках программ ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на исследования В3. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В4. Внедрение на Российский НПЗ процесса и соответственно повышение спроса на разрабатываемую модель.	Появление дополнительного спроса на исследования вкпе с инновационной структурой ТПУ и низкой стоимостью разработки позволяет обеспечить высокий темп масштабирования проекта.	По причине долгого срока разработки модели в связи с поставками необходимых для исследований материалов, возможно отставание от конкурентов с последующим падением спроса на продукцию.

Продолжение Таблицы 5.4

1	2	3
<p>Угрозы</p> <p>У1. Создание подобной модели на рынке в более быстрые сроки</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p> <p>У3. Отсутствие спроса на новые технологии.</p> <p>У4. Внедрение других моделей на предприятия отечественных НПЗ</p>	<p>Главной угрозой проекта является внедрение другой модели на российских предприятиях, поскольку замена освоенных программ является трудоемким для предприятий мероприятием. Большое количество учитываемых компонентов является важным конкурентным преимуществом с этой стороны.</p>	<p>Из-за относительной длительности проведения эксперимента могут возникнуть проблемы с продвижением данного исследования.</p>

5.4 Планирование научно-исследовательских работ

5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

1. определение структуры работ в рамках научного исследования;
2. определение участников каждой работы;
3. установление продолжительности работ;
4. построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель и студент. По каждому виду запланированных работ установлена соответствующая должность исполнителей.

Перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в Таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель

Продолжение Таблицы 5.5

1	2	3	4
Проведение литературного обзора, изучение материалов	2	Выбор направления исследований	Бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	4	Календарное планирование работ	Руководитель, Бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Формирование и расчет математической модели	Руководитель Бакалавр
	6	Обсуждение адекватности модели и ее доработка	Руководитель, Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Бакалавр
Оформление отчета по НИР	8	Разработка соц. ответственности по теме	Бакалавр
	9	Оформление ВКР	

5.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, который зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож_i}$ использована следующая формула:

$$t_{ож_i} = \frac{3 \cdot t_{min_i} + 2 \cdot t_{max_i}}{5} \quad (5.2)$$

где $t_{ож_i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -й работы, чел.-дн.;

t_{min_i} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -й работы, чел.-дн.;

t_{max_i} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -й работы, чел.-дн.

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{ч_i} \quad (5.3)$$

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

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

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

5.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным представлением проведения научных работ является построение ленточного графика в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ в рабочих днях следует перевести в календарные дни. Для этого была использована следующая формула:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (5.4)$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})} \quad (5.5)$$

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

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

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

Расчет коэффициента календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48 \quad (5.6)$$

Расчитанные временные показатели программной реализации кинетической модели цеоформинга представлены в Таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Временные показатели программной реализации кинетической модели цеоформинга

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители (количество параллельно работающих исполнителей)	Длительность работ в рабочих днях T_p			Длительность работ в календарных днях $T_{кал}$			Начало	Окончание
	T_{min} , чел.-дни			T_{max} , чел.-дни			$T_{ож}$, чел.-дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Составление и утверждение технического задания	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Студент, научный руководитель (2)	0,7	0,7	0,7	1	1	1	01.02.2022	02.02.2022
Выбор направления исследований	1	1	1	4	2	4	2,2	1,4	2,2	Научный руководитель (1)	2,2	1,4	2,2	3	2	3	02.02.2022	05.02.2022
Подбор и изучение материалов по теме	8	7	10	11	11	13	9,2	8,6	11,2	Студент (1)	9,2	8,6	11,2	14	13	17	05.02.2022	22.02.2022
Календарное планирование работ	2	2	2	4	3	5	2,8	2,4	3,2	Студент, научный руководитель (2)	1,4	1,2	1,6	2	2	2	22.02.2022	24.02.2022
Формирование и расчет математической модели	15	17	18	35	30	33	23	22,2	24	Студент, научный руководитель (2)	11,5	11,1	12	17	16	18	24.02.2022	14.03.2022

Продолжение Таблицы 5.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Обсуждение адекватности модели и ее доработка	10	12	14	14	16	18	11,6	13,6	15,6	Студент, научный руководитель (2)	5,8	6,8	7,8	9	10	12	14.03.2022	26.03.2022
Оценка эффективности полученных результатов	10	12	14	12	15	18	10,8	13,2	15,6	Студент, консультант ЭЧ (1)	10,8	13,2	15,6	16	20	23	26.03.2022	18.04.2022
Разработка соц. ответственности по теме	7	8	6	9	10	9	7,8	8,8	7,2	Студент, консультант СО (1)	7,8	8,8	7,2	12	13	11	18.04.2022	29.04.2022
Оформление ВКР	15	14	13	21	21	18	17,4	16,8	15	Студент (1)	17,4	16,8	15	26	25	22	29.04.2022	21.05.2022
Итого											66,8	68,6	73,3	100	102	109		

Для иллюстрации календарного плана была выполнена диаграмма Ганта, которая представлена на Рисунке 5.2.

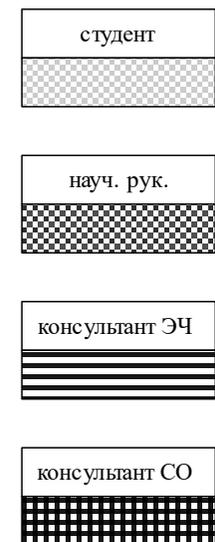
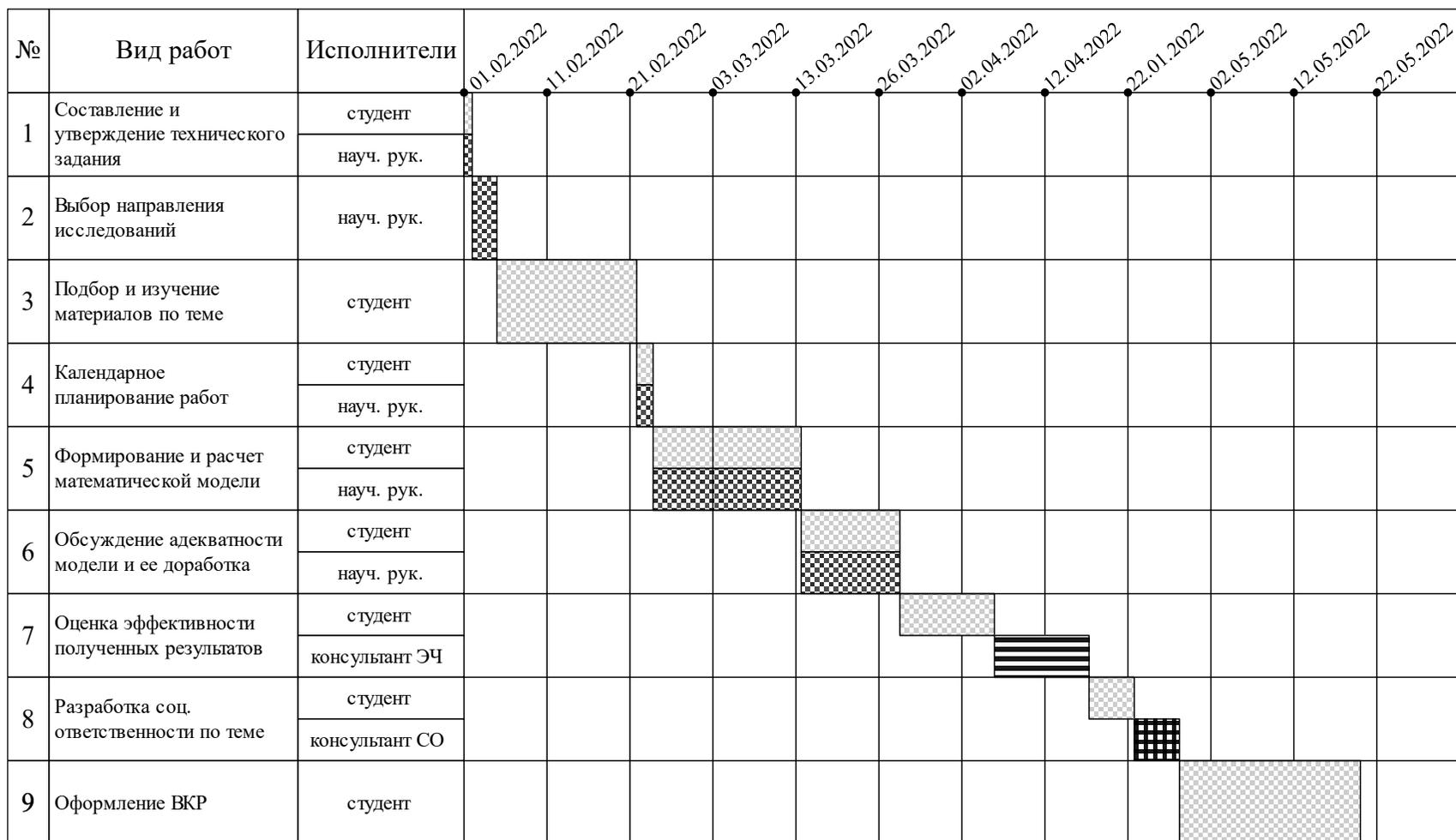


Рисунок 5.2 – Календарный план-график программной реализации кинетической модели цеоформинга

5.5 Бюджет научно-технического исследования

Бюджет научно-технического исследования отражает все виды расходов, связанных с его выполнением и отражает затраты по следующим статьям:

1. Материальные затраты;
2. Затраты на специальное оборудование;
3. Основная и дополнительная заработная плата;
4. Страховые отчисления;
5. Прямые затраты;
6. Накладные расходы.

5.5.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по теме проводимого исследования.

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m (C_i \cdot N_{\text{расх},i}) \quad (5.7)$$

где k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы;

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

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

$N_{\text{расх},i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования.

Результаты расчета затрат на сырье, материалы и покупные изделия в процессе проведения НИР представлены в Таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3
Баллон N2	шт.	1	1	1	34000	34000	34000	34000
Лабораторная посуда (пробирки)	шт.	24	130	24	100	2400	13000	2400
Бумага, А4	шт.	100	180	110	3	300	540	330
Электроэнергия	кВт·ч	580	400	590	4,5	2610	1800	2655
Итого с учетом транспортно-заготовительных расходов (20 %), руб.						47172	59208	47262

Общие материальные затраты составили 47 280 руб.

5.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

В нашем случае, стоимость лабораторного оборудования, используемого при выполнении научного проекта, учитывается в виде амортизационных отчислений, так как все необходимые установки имеются в ТПУ.

Стоимость использования (в руб./час) имеющегося оборудования рассчитывается по формуле:

$$\text{Стоимость использования} = \frac{\text{стоимость оборудования}}{\text{срок эксплуатации}} \quad (5.8)$$

С учетом стоимости каталитической установки «САТАСОН», каталитической установки-аналога, хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000»,

персонального компьютера и предполагаемой длительности их эксплуатации рассчитаем стоимость единицы времени использования перечисленного оборудования по формуле (5.8).

$$\text{Стоимость использования}_{САТАСОН} = \frac{2880000}{5 \cdot 365 \cdot 24} = 66 \frac{\text{руб.}}{\text{ч}} \quad (5.9)$$

$$\text{Стоимость использования}_{установка-аналог} = \frac{4032000}{5 \cdot 365 \cdot 24} = 92 \frac{\text{руб.}}{\text{ч}} \quad (5.10)$$

$$\text{Стоимость использования}_{Хроматэк-Кристалл 5000} = \frac{1107500}{5 \cdot 365 \cdot 24} = 25 \frac{\text{руб.}}{\text{ч}} \quad (5.11)$$

$$\text{Стоимость использования}_{ПК} = \frac{55000}{6 \cdot 365 \cdot 24} = 1 \frac{\text{руб.}}{\text{ч}} \quad (5.12)$$

Расчет затрат по данной статье представлен в Таблице 5.8.

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

№	Наименование оборудования			Кол-во единиц оборудования (время использования), шт. (ч)			Цена единицы оборудования (стоимость использования), руб/шт. (руб/час)			Общая стоимость оборудования, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Каталитическая установка «САТАСОН»	Каталитическая установка «САТАСОН»	Каталитическая установка (аналог)	(72)	(24)	(144)	(66)	(66)	(92)	4734	1578	13256
2	Хроматограф «Хроматэк-Кристалл-5000»	Хроматограф «Хроматэк-Кристалл-5000»	Хроматограф «Хроматэк-Кристалл-5000»	(72)	(24)	(144)	(25)	(25)	(25)	1821	607	3641
3	Персональный компьютер	Персональный компьютер	Персональный компьютер	(260)	(30)	(300)	(1)	(1)	(1)	272	31	314
4	ПО (MS Excel, Word, Visio)	ПО (MS Excel, Word)	ПО (MS Excel, Word, Visio)	2	1	2	30000	5000	30000	60000	5000	60000
Итого:										66827	7216	77211

Общие затраты на специальное оборудование составили 66 827 руб.

5.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 12-20 % от тарифа или оклада.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) исполнителя (работника) рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (5.13)$$

где T_p – продолжительность работы, выполняемых научно-техническим работником, раб. дни (Таблица 5.55.6);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (5.14)$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

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

В Таблице 5.9 приведен баланс рабочего времени каждого работника научно-технического исследования.

Таблица 5.9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент	Консультант ЭЧ	Консультант СО
Календарное число дней	365	365	365	365
Количество нерабочих дней				
- выходные дни	118	118	118	118
- праздничные дни				
Потери рабочего времени				
- отпуск	48	72	48	48
- невыходы по болезни	0	0	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени (F_d)	199	175	199	199

Месячный должностной оклад работника вычисляется по формуле:

$$Z_m = Z_b \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (5.15)$$

где Z_b – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок, который составляет 0,2;

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

Расчет среднедневной заработной платы представлен в Таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Расчет среднедневной заработной платы

Исполнители	Z_b , руб	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	М	F_d	$Z_{дн}$, руб
Студент	3100	0	0	1,3	4 030	9,6	175	221
Руководитель	33664	0,3	0,2	1,3	65 645	10,4	199	3 431
Консультант ЭЧ	33664	0,3	0,2	1,3	65 645	10,4	199	3 431
Консультант СО	33664	0,3	0,2	1,3	65 645	10,4	199	3 431

Расчёт основной заработной платы приведён в Таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{дн}$, руб	T_p , раб. дн.			$Z_{осн}$, руб		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Студент	221	55,3	56,2	59,7	12 225	12 424	13 198
Руководитель	3 431	21,6	21,2	24,3	74 103	72 730	83 366
Консультант ЭЧ	3 431	5,4	6,6	7,8	18 526	22 643	26 759
Консультант СО	3 431	3,9	4,4	3,6	13 380	15 095	12 350
Итого					118 234	122 892	135 674

5.5.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет заработной платы с учетом дополнительной ведется по следующей формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} = 1,16 \cdot Z_{осн} \quad (5.16)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (принята равной 16 % от основной);

Расчет заработной платы представлен в Таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Расчет заработной платы с учетом дополнительной заработной платы

Исполнители	$Z_{осн}$, руб			$Z_{зп}$, руб		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Студент	12 225	12 424	13 198	14 181	14 412	15 310
Руководитель	74 103	72 730	83 366	85 959	84 367	96 704
Консультант ЭЧ	18 526	22 643	26 759	21 490	26 265	31 041
Консультант СО	13 380	15 095	12 350	15 520	17 510	14 327
Итого	118 234	122 892	135 674	137 151	142 555	157 381

5.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{зп} \quad (5.17)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в Таблице 5.13.

Таблица 5.13 – Расчет отчислений во внебюджетные фонды

Исполнители	З _{зп} , руб			З _{внеб} , руб		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Студент	14 181	14 412	15 310	4 254	4 324	4 593
Руководитель	85 959	84 367	96 704	25 788	25 310	29 011
Консультант ЭЧ	21 490	26 265	31 041	6 447	7 880	9 312
Консультант СО	15 520	17 510	14 327	4 656	5 253	4 298
Итого	137 151	142 555	157 381	41 145	42 767	47 214
Суммарные затраты на заработную плату, руб.						
Исп. 1	178 296					
Исп. 2	185 322					
Исп. 3	204 596					

5.5.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = \sum \text{статей} \cdot k_{\text{накл}} \quad (5.18)$$

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

Накладные расходы для исполнения 1 составили:

$$Z_{\text{накл}} = (47 172 + 66 827 + 178 296) \cdot 0,16 = 46 767 \text{ руб.} \quad (5.19)$$

Накладные расходы для исполнения 2 составили:

$$Z_{\text{накл}} = (59 208 + 7 216 + 185 322) \cdot 0,16 = 40 279 \text{ руб.} \quad (5.20)$$

Накладные расходы для исполнения 3 составили:

$$Z_{\text{накл}} = (47 262 + 77 211 + 52 651) \cdot 0,16 = 52 651 \text{ руб.} \quad (5.21)$$

5.5.7 Формирования бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в Таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Расчет бюджета затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	47 172	59 208	47 262	Пункт 5.5.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	66 827	7 216	77 211	Пункт 5.5.2
3. Затраты по основной и дополнительной заработной плате исполнителей темы	137 151	142 555	157 381	Пункты 5.5.3, 5.5.4
4. Отчисления во внебюджетные фонды	41 145	42 767	47 214	Пункт 5.5.5
5. Затраты на научные и производственные командировки	-	-	-	Отсутствуют
6. Контрагентские расходы	-	-	-	Отсутствуют
7. Накладные расходы	46 767	40 279	52 651	Пункт 5.5.6
8. Бюджет затрат НТИ	339 062	292 025	381 720	–

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{р.}i}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (5.22)$$

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

$\Phi_{\text{р.}i}$ – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп1}} = \frac{339\,062}{381\,720} = 0,888 \quad (5.23)$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп2}} = \frac{292\,025}{381\,720} = 0,765 \quad (5.24)$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп3}} = \frac{381\,720}{381\,720} = 1 \quad (5.25)$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n (a_i \cdot b_i) \quad (5.26)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^j – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки для j -го критерия.

n – количество параметров сравнения.

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта представлена в Таблице 5.15.

Таблица 5.15 – Сравнительная характеристика вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,3	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,3	5	4	5
3. Наукоемкость	0,15	5	4	5
4. Точность	0,15	4	5	5
5. Надежность	0,1	4	5	4
6. Интегральный показатель ресурсоэффективности	1	4,75	3,95	4,6

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

$$I_{исп1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{фин.р}^{исп1}} = \frac{4,75}{0,888} = 5,35 \quad (5.27)$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{фин.р}^{исп2}} = \frac{3,95}{0,765} = 5,16 \quad (5.28)$$

$$I_{исп3} = \frac{I_{р-исп3}}{I_{фин.р}^{исп3}} = \frac{4,60}{1} = 4,60 \quad (5.29)$$

Сравнительная эффективность вариантов исполнения разработки определяется на основании сравнения интегрального показателя эффективности.

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп,i}}{I_{исп1}} \quad (5.30)$$

Сравнительная эффективность разработки представлена в Таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,888	0,765	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,75	3,95	4,6
3	Интегральный показатель эффективности	5,35	5,16	4,60
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,964	0,860

Рассчитанные значения сравнительной эффективности вариантов исполнения разработки позволяют заключить, что реализация технологии в соответствии с первым исполнением является более эффективным вариантом с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Данная научно-исследовательская работа направлена на разработку формализованной схемы превращения и кинетической математической модели цеоформинга стабильного газового конденсата.

Объектом исследования в данной работе являются образцы стабильного газового конденсата, отобранные на различных месторождениях Западной Сибири, а также продукты их переработки на цеолитном катализаторе.

Процесс цеоформинга направлен на повышение детонационной стойкости легкого углеводородного сырья (прямогонной бензиновой фракции, СГК) с использованием цеолитных катализаторов. Является альтернативой процессу риформинга.

Область применения разработки – нефтеперерабатывающая промышленность.

Потенциальными потребителями разработки являются организации, специализирующиеся на проектировании объектов нефтепереработки малой мощности, которые с помощью разработанной программы могут выполнять приближенный расчет материального баланса установки цеоформинга.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Правовые вопросы в сфере обеспечения безопасности труда регулируются Трудовым Кодексом (ТК) РФ, который устанавливает гарантии трудовых прав граждан и направлен на обеспечение благоприятных условий труда работников и защиту интересов работодателей.

Программная реализация модели цеоформинга включает два вида работ: проведение эксперимента в химической лаборатории с целью анализа состава углеводородных смесей и работа за компьютером с целью обработки экспериментальных данных и написания кода программы. С учетом специфики

работы, согласно ТК РФ [30], выделим следующие характерные правовые нормы, устанавливающие права работника на:

1. Повышенную оплату труда работника, занятого на работах с вредными и (или) опасными условиями труда (статья 147);
2. Необходимые условия, созданные работодателем в соответствии с трудовым законодательством, которые обеспечивают соблюдение работником трудовой дисциплины (статья 189);
3. Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск предоставляется работникам, условия труда на рабочих местах которых, по результатам специальной оценки условий труда отнесены к вредным условиям труда 2, 3 или 4 степени либо опасным условиям труда (статья 117);
4. Безопасные условия труда исходя из комплексной оценки технического и организационного уровня рабочего места (статья 214);
5. Обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний (статья 216);
6. Обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя (статья 221);
7. Организацию первой помощи работнику при несчастных случаях и доставку его в медицинскую организацию силами с средствами работодателя, а также обеспечение работодателем необходимых мер в целях расследования несчастного случая (статья 228).

6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Основные требования к пожарной безопасности, обеспечивающие защиту жизни, здоровья и имущества от пожаров установлены Федеральным Законом «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Положения данного Федерального закона обязательны к исполнению при:

1. Проектировании, строительстве, ремонте и т.п. объектов защиты;

2. Разработке технических регламентов, содержащих требования к пожарной безопасности;
3. Разработке технической документации на объекты защиты;
4. В отношении объектов защиты специального назначения;
5. В отношении объектов культурного наследия.

Данный Федеральный закон вводит определения объекта защиты – здание, сооружение, технологическая установка или иное имущество, к которому должны быть установлены требования пожарной безопасности.

В лаборатории (129) и компьютерной аудитории (133) второго корпуса ТПУ расположено технически сложное и дорогостоящее оборудование для выполнения химических анализов и исследований, а также 12 ЭВМ. Перечисленное имущество является объектом защиты.

Помещения опытно-производственной лаборатории обеспечиваются первичными средствами пожаротушения согласно действующим нормам. Все работники должны уметь пользоваться средствами пожаротушения и уметь оказывать первую помощь при несчастном случае. Не допускается загромождения рабочих мест, проходов, выходов из помещений и здания, доступа к противопожарному оборудованию.

Безопасность работы в химической лаборатории обеспечивается соблюдением требований ПНД Ф 12.13.1-03 «Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения)».

Лаборатория обеспечена водоснабжением и канализацией. Имеются емкости для слива химических реагентов. Для работы с вредными и легколетучими веществами в помещении установлены вытяжные шкафы, обеспечивающих удаление вредных газов и защиту верхней части тела лаборанта. В дневное время суток используется естественное освещение, а в вечернее – искусственное. Полы выполнены из негорючей и не впитывающей жидкости плитки. Столы имеют гладкие поверхности из материалов, мало сорбирующих вредные вещества, и легко поддаются очистке.

Обработка экспериментальных данных и разработка программы ведется в компьютерной аудитории второго корпуса ТПУ (133). Общие эргономические требования к рабочему месту при выполнении работ сидя установлены ГОСТ 12.2.032-78.

Высота рабочего сиденья с учетом среднего роста мужчин и женщин в России (170 см) должна составлять 40-45 см, а высота рабочей поверхности (стола) для выполнения тонких работ, к которым относится работа за компьютером, должна составлять 85-89 см.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 60-70 см, но не ближе 50 см с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Уровень глаз при вертикально расположенном экране должен приходиться на центр или $2/3$ высоты экрана. Линия взора должна быть перпендикулярна центру экрана и оптимальное её отклонение от перпендикуляра, проходящего через центр экрана в вертикальной плоскости, не должно превышать 5 градусов, допустимое 10 градусов.

6.2 Производственная безопасность

6.2.1 Анализ потенциально вредных и опасных производственных факторов

С учетом специфики работ при разработке программы для расчета кинетической модели процесса цеоформинга выделим вредные и опасные производственные факторы.

Для идентификации потенциальных факторов использован ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлены в Таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Перечень опасных и вредных факторов при выполнении экспериментальной части бакалаврской работы

Источник фактора, наименование вида работ	Факторы по ГОСТ 12.0.003-2015		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Проведение процесса цеоформинга на лабораторной установке	<ul style="list-style-type: none"> – Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего; – Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; – Повышенный уровень шума; – Производственные факторы, связанные с наличием электростатического поля и электромагнитных полей радиочастотного диапазона. 	<ul style="list-style-type: none"> – Пожарная опасность – Поражение электрическим током. 	<ul style="list-style-type: none"> – СанПиН 1.2.3685-21 [31]; – СП 52.13330.2016 [32]; – ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [33]; – ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности [34]; – Федеральный закон от 22.07.2013г. №123-ФЗ [35]; – ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [36];
Обработка экспериментальных данных; Программная реализации кинетической модели	<ul style="list-style-type: none"> – Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего; – Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; – Повышенный уровень шума; – Производственные факторы, связанные с наличием электростатического поля и электромагнитных полей радиочастотного диапазона; – Перенапряжение зрительного анализатора; – Умственное перенапряжение. 	<ul style="list-style-type: none"> – Пожарная опасность; – Поражение электрическим током. 	<ul style="list-style-type: none"> – СанПиН 1.2.3685-21 [31]; – СП 52.13330.2016 [32]; – ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [33]; – ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности [34]; – ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 2. Дисплеи [37]; – СП 2.2.3670-20. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда [38]; – Федеральный закон от 22.07.2013г. №123-ФЗ [35]; – ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [36];

6.2.2 Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов

Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего.

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма. Если измеренные параметры соответствуют требованиям [44], то условия труда по показателям микроклимата характеризуются как оптимальные (1 класс) или допустимые (2 класс). В случае несоответствия – условия труда относят к вредным и устанавливают степень вредности, которая характеризует уровень перегревания или охлаждения организма человека.

С точки зрения обеспечения оптимальных значений показателей, характеризующих микроклимат, наиболее важными факторами в условиях континентального климата Томска являются системы вентиляции воздуха и отопления. При этом относительно массивные стены второго корпуса ТПУ обеспечивают высокую температурную инерционность внутри помещений корпуса ТПУ, в том числе, при отсутствии системы кондиционирования воздуха.

Оптимальные микроклиматические условия для выполняемых работ представлены в Таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Оптимальные значения показателей микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
	Iб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплый	Ia (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1
	Iб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1

где I_a – работа за компьютером;

I_b – работа в лаборатории.

Согласно [31] микроклимат в лаборатории (ауд. 129) и компьютерной аудитории (ауд. 133) второго корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам.

Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения.

Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения снижает производительность и качество труда работника, негативно влияет на органы зрения человека. Недостаточное освещение рабочего места затрудняет длительную работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости. Излишне яркий свет снижает зрительные функции, приводит к перевозбуждению нервной системы, снижает работоспособность.

В компьютерной аудитории имеется естественное (боковое одностороннее) и общее равномерное искусственное освещение. Компьютеры расположены вдоль стен аудитории. Восемь компьютеров расположены так, что естественный свет падает сбоку по отношению к мониторам, а три компьютера расположены вдоль окон. В качестве источников искусственного освещения используются газоразрядные лампы.

В лаборатории второго корпуса имеется естественное (боковое одностороннее) и система комбинированного освещения (к общему равномерному освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, расположенные в вытяжных шкафах). В качестве источников общего освещения используются газоразрядные лампы, источником света в светильниках местного освещения являются светодиоды.

Оптимальная освещенность на поверхности стола при работе за компьютером должна составлять 300-500 лк, а в аналитической лаборатории 400-600 лк [32]. Коэффициент пульсации светового потока при работе за компьютером должен быть не более 5 %, а в аналитической лаборатории не более 15 %.

Освещенность в лаборатории второго корпуса ТПУ (129 ауд.) соответствует допустимым нормам. Для компьютерной аудитории рекомендуется замена газоразрядных рампы на светодиодные в системе общего освещения с целью снижения коэффициента пульсации светового потока.

Повышенный уровень шума.

Повышенный уровень шума приводит к появлению профессиональных заболеваний и может явиться причиной несчастного случая.

При работе в лаборатории и компьютерной аудитории второго корпуса ТПУ характер шума широкополосный с непрерывным спектром более 1 октавы.

Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для работы в лаборатории и компьютерной аудитории представлены в Таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для работы в лаборатории и компьютерной аудитории [39]

Назначение помещений или территорий	Уровни звукового давления (эквивалентные уровни звукового давления), дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука (эквивалентный уровень звука), дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ, кабины наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75 (80 по специальной оценке условий труда)
Классное помещения, учебные кабинеты, аудитории образовательных организаций, конференц-залы, читальные залы библиотек, зрительные залы клубов, залы судебных заседаний, культовые здания, зрительные залы клубов с обычны оборудованием	79	63	52	45	39	35	32	30	28	55 (80 по специальной оценке условий труда)

Согласно [39] уровень шума в лаборатории второго корпуса ТПУ (ауд. 129) и компьютерной аудитории (ауд. 133) не превышает 80 дБА, что соответствует нормам.

Производственные факторы, связанные с наличием электростатического поля и электромагнитных полей радиочастотного диапазона.

Одним из вредных факторов, влияющих на здоровье человека, является ЭМП. Превышении допустимых уровней ЭМП приводит к вредному воздействию на иммунную, эндокринную, нервную системы человека. Влиянию ЭМП подвержены кровеносная система, иммунная и половая системы, головной мозг, глаза.

Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ЭВМ на рабочем месте представлены в Таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ЭВМ [34]

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 В/м

Уровни ЭМП на рабочем месте в 129 и 133 аудиториях ТПУ соответствуют допустимым уровням.

Умственное перенапряжение и перенапряжения зрительного анализатора.

Основной мерой предупреждения умственного перенапряжения и перенапряжения зрительного анализатора является организация временных перерыв в работе. Во время перерыва рекомендуется выполнять гимнастику для глаз.

Предложим следующий распорядок рабочего времени (без учета обеденного перерыва): 40 мин работа за компьютером (1) → 5 мин перерыв (2) → 40 мин работа за компьютером (3) → 15 мин перерыв (4) → (1) → ...

Пожарная опасность.

Лаборатория отделения химической инженерии по степени пожароопасности относится к пониженной пожароопасности (категория «Д»),

производства, связанные с обращением с легковоспламеняющимися жидкостями, а также обработкой негорючего материала согласно Федеральному закону от 22.07.2013г. №123-ФЗ.

При возникновении пожара необходимо принять меры по его локализации и тушению. Для тушения возможного загорания и пожаров лаборатория оснащена специально оборудованным щитом, на котором установлены:

1. Огнетушитель углекислотный газовый ОУ-5 (1 шт.) для тушения всех видов горючих веществ и электроустановок;
2. Порошковый огнетушитель ОП-5 (1 шт.), предназначенный для тушения небольших очагов возгорания щелочных металлов;
3. Асбестовое одеяло, которое используется при тушении обесточенных электропроводов, горячей одежды;
4. Ящик с песком для тушения обесточенных горящих на горизонтальной поверхности проводов.

Риск пожара в компьютерной аудитории связан в первую очередь с потенциальными перегрузками в электрической сети, которые способны вызвать возгорание компьютерной техники, а также с дефектами самой компьютерной техники. Пожарная безопасность для людей и имущества в случае возгорания в компьютерной аудитории обеспечивается за счет:

1. возможности эвакуации людей независимо от их возраста и физического состояния на прилегающую к зданию территорию;
2. доступа личного состава пожарных подразделений и подачи средств пожаротушения к очагу пожара;
3. нераспространения пожара на рядом расположенные здания;
4. доступности огнетушителя углекислотного типа ОУ-5 для тушения всех видов горючих веществ, в том числе электрооборудования ≤ 10 кВ.

Поражение электрическим током.

Поражение электрическим током может быть вызвано дефектами оборудования, подключенного к электрической сети, пренебрежением лаборантов техникой безопасности. Источниками электрической опасности являются оголенные части проводов или отсутствие изоляции.

В компьютерной аудитории эксплуатируется 11 компьютеров, подключенных к электрической сети 220 В и серверное оборудование, подключенное к сети 380 В. В лаборатории эксплуатируется оборудование для выполнения химических анализов, оборудование также подключается к сети 220 В во время работы.

Компьютерная аудитория и лаборатория второго корпуса ТПУ по опасности поражения электрическим током относятся к первому классу – помещение без повышенной опасности, т.к. температура в помещении не превышает 30 °С, относительная влажность воздуха не превышает 70 %, токопроводящие полы отсутствуют (полы выполнены из керамической плитки).

Для защиты от поражения электрическим током в нормальном режиме эксплуатации электроустановок в компьютерной аудитории и лаборатории применены следующие меры защиты:

1. защитное заземление и зануление;
2. изолирующие электрозащитные средства;
3. устройства автоматического отключения питания.

Необходимо также проводить мероприятия по закреплению работниками правил безопасной работы с электрическим оборудованием.

6.3 Экологическая безопасность при разработке проектного решения

Источниками воздействия на окружающую среду при работе в химической лаборатории и компьютерной аудитории являются:

1. Бумажные, пластиковые, стеклянные отходы;
2. Сливы химических реагентов;

3. Ртутьсодержащие люминесцентные лампы.

Бумажный и стеклянный мусор не является серьезный источником загрязнения окружающей среды. Более опасными для экологии являются пластиковые отходы. С экологической точки зрения, а также в целях повышения эффективности использования природных ресурсов целесообразным является организация сортировки мусора в помещениях и дальнейшая вторичная переработка бумаги, пластика и стекла.

Сливы химических реагентов собираются в специальных емкостях и периодически направляются в специализированную организацию для утилизации.

Аудитория, в которой осуществлялась разработка проекта, оснащена люминесцентными лампами, которые необходимо утилизировать как ртутьсодержащие лампы.

6.3.1 Воздействие на литосферу

Помимо макулатуры, пластика, стекла, люминесцентных ламп воздействие на литосферу может оказывать отработанный цеолитный катализатор. Данный вид отходов допустимо вывозить на площадки хранения промотходов, так как после регенерации согласно отчету «Санитарно-токсикологическая оценка цеолитного катализатора марки КН-30» Новосибирского областного центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора от 15.09.964 отработанный катализатор относится к IV классу опасности, т.е. является малоопасным веществом.

Люминесцентные лампы в целях избежания негативного воздействия ртути, содержащихся в них, подвергаются вывозу в герметичных контейнерах и дальнейшей утилизации на специализированных предприятиях, имеющих лицензию на данный вид деятельности.

6.3.2 Воздействие на гидросферу

Потенциально негативное воздействие на гидросферу при проведении работ в лаборатории второго корпуса ТПУ может быть вызвано жидкими

химическими реагентами, которые попадают в канализацию при мытье лабораторной посуды, а также в случае пренебрежения использованием специально отведенных емкостей для слива жидких химических реагентов.

Основная часть жидких сливов представляет собой органические вещества – углеводороды различных классов.

Устранение данного негативного влияния обеспечивается централизованной очисткой органических и неорганических сливов аттестованной организацией.

6.3.3 Воздействие на атмосферу

При переработке образцов СГК на лабораторной каталитической установке происходит частичное испарение легких углеводородов (C_1-C_4) из образцов исходного сырья и продуктов и попадание их в воздух рабочей зоны. Помимо углеводородных паров на установке используется азот для продувки объема реактора перед проведением эксперимента.

Азот не оказывает негативного воздействия на атмосферу.

С целью снижения негативного воздействия углеводородных паров вентиляция лаборатории второго корпуса ТПУ снабжена адсорбентом, который уложен поверх перегородок на выходе вентиляционных труб. В качестве адсорбента используется активированный уголь, который является высокоэффективным и недорогим адсорбентом органических веществ.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При работе с использованием ЭВМ потенциально опасной ЧС является пожар, который может возникнуть при перегрузках в электросети, износе электрических компонентов компьютеров, что может привести к изменению сопротивления компонентов и их перегреву. Работа с легковоспламеняющимися органическими веществами также влечет повышенный риск возгорания, так как работа с органическими веществами ведется в близости от оборудования, подключенного к электрической сети.

Согласно НПБ 105-03 помещение лаборатории и компьютерной аудитории относится к категории П-2а. Характеристика веществ и материалов, находящихся в аудиториях 129 и 133 второго корпуса ТПУ представлена в Таблице 6.5

Таблица 6.5 – Категория помещений по пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
П-2а	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 МДж на 1 м ² .

Классификация возможных пожаров в соответствии с [35] представлена в Таблице 6.6

Таблица 6.6 – Возможные классы пожаров

Класс пожара	Характеристика
А	пожары твердых горючих веществ и материалов
Е	пожары горючих веществ и материалов электроустановок, находящихся под напряжением

В помещениях с компьютерной техникой, недопустимо применение воды и пены ввиду опасности повреждения или полного выхода из строя дорогостоящего электронного оборудования.

Для тушения пожаров необходимо применять углекислотные и порошковые огнетушители, которые обладают высокой скоростью тушения, большим временем действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнем. Воду разрешено применять только во вспомогательных помещениях [40].

Предупреждение пожара обеспечивается следующими мероприятиями [35]:

1. закреплением знаний работников в сфере пожаробезопасности, обучением сотрудников правилам безопасной работы в лаборатории;

2. периодическим надзором, осуществляемым должностными лицами органов управления и подразделений Государственной противопожарной безопасности;
3. обеспечением помещений оборудованием для пожаротушения (углекислотный огнетушитель ОУ-5 1 шт., порошковый огнетушитель ОП-5 1 шт., асбестовое одеяло, песок);
4. наличием систем оповещения о возникновении пожара, которые согласно ФЗ-123. НПБ 104-03 должны быть установлены в каждом помещении. Данные системы должны обеспечивать подачу звуковых оповещающих сигналов в случае обнаружения признаков пожара (задымление, повышенная температура). Необходимо выполнять периодическую проверку работоспособности системы оповещения о пожаре.

При возникновении пожара необходимо отключить систему вентиляции и питание электрооборудования, принять меры, направленные на тушение пожара и обеспечить эвакуацию студентов и сотрудников согласно плану эвакуации.

Вывод:

Лаборатория и компьютерная аудитория второго корпуса ТПУ обеспечены первичными средствами пожаротушения, имеются средства оповещения о пожаре. Показатели микроклимата, освещенности, уровня шума и напряженности электромагнитных полей соответствуют требованиям, предъявляемым в области охраны труда и производственной безопасности.

При соблюдении мероприятий, описанных в Разделе 6.3, объект исследования и работа в лаборатории и компьютерной аудитории не представляют опасности для экологии.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

№	Наименование работы, ее вид	Характер работы	Выходные данные	Объем, стр.	Соавторы
Публикации в ведущих рецензируемых научных Российских и зарубежных журналах и изданиях, входящих в перечень ВАК: 1					
1	Разработка формализованной схемы химических превращений углеводородов C ₅ -C ₇ на цеолитном катализаторе типа ZSM-5	Печатная	Вестник технологического университета, 2021, Т. 24, № 8, с. 18-24.	7	Алтынов А.А. Богданов И.А. Киргина М.В.
Доклады и тезисы докладов, опубликованные в материалах российской, международной (всероссийской) конференции: 10					
1	Анализ состава продуктов цеоформинга n-гексана и циклогексана	Печатная	Международная научно-практическая конференция им. Д. И. Менделеева, посвященная 90-летию профессора Р. З. Магарилы: материалы, Тюмень, 25-27 Ноября 2021. – Тюмень: ТИУ, 2021 – Т. 1. Химия и химические технологии. Биотехнология и продовольственная безопасность. Энергетика, электротехника и приборостроение – с. 155-158.	4	Алтынов А.А.
2	Сравнение состава продуктов переработки на цеолитном катализаторе нормальных и циклопарафинов	Печатная	Актуальные проблемы науки и техники: материалы I Международной научно-технической конференции, Сарапул, 20-22 Мая 2021. – Ижевск: ИжГТУ, 2021 – с. 258-261.	4	Алтынов А.А.
3	Формализация углеводородного состава продуктов процесса цеоформинга	Печатная	Проблемы геологии и освоения недр: труды XXV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию горно-геологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания ТПУ, Томск, 5-9 Апреля 2021. – Томск: ТПУ, 2021 – Т. 2 – с. 267-269.	3	Киргина М.В.
4	Программа для автоматизированной обработки данных хроматографического анализа сырья и продуктов процесса цеоформинга	Печатная	Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 22-26 Марта 2021. – Томск: ТПУ, 2021 – с. 146-147.	2	Богданов И.А. Киргина М.В.
5	Analysis of the formalized hydrocarbon composition for the products of C ₅ -C ₇ hydrocarbons processing on zeolite	Печатная	Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера, посвященной 125-летию со дня основания Томского политехнического университета. В 2 томах, Томск, 17-20 Мая 2021. – Томск: ТПУ, 2021 – Т. 2 – с. 203-204.	2	Bogdanov I.A.
6	Анализ формализованного	Печатная	Химия и химическая технология в XXI веке: материалы	2	Богданов И.А.

	углеводородного состава продуктов переработки углеводородов C ₅ -C ₇ на цеолите		XXII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера, посвященной 125-летию со дня основания Томского политехнического университета. В 2 томах, Томск, 17-20 Мая 2021. – Томск: ТПУ, 2021 – Т. 2 – с. 62-63.		
7	Исследование характеристик и состава прямогонного дизельного топлива	Печатная	Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 21-24 Сентября 2020. – Томск: ТПУ, 2020 – с. 413-414.	2	Титаев К.М.
8	Исследование влияния температуры на направления превращений стабильного газового конденсата в процессе цеоформинга	Печатная	Современные технологии, экономика и образование: сборник материалов II Всероссийской научно-методической конференции, Томск, 2-4 Сентября 2020. – Томск: ТПУ, 2020 – с. 96-97.	2	Богданов И.А.
9	Кинетическая математическая модель цеоформинга стабильного газового конденсата	Печатная	XXV Всероссийская конференция молодых учёных-химиков (с международным участием): тезисы докладов, Нижний Новгород, 19-21 Апреля 2022. – Нижний Новгород: ННГУ, 2022 – С. 323.	1	Алтынов А.А.
10	Анализ состава продуктов цеоформинга n-пентана и n-гексана	Печатная	XXIV Всероссийская конференция молодых учёных-химиков (с международным участием): тезисы докладов, Нижний Новгород, 20-22 Апреля 2021. – Нижний Новгород: ННГУ, 2021 – С. 257.	1	Киргина М.В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Соломонов А.П. Развитие мировой нефтепереработки под влиянием структурных изменений в топливно-энергетическом балансе // «Вестник Евразийской науки» – 2019. – №6. – С. 53.
- 2 Официальный сайт Министерства энергетики РФ [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <https://minenergo.gov.ru>, свободный. – Дата обращения 09.12.21.
- 3 Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <https://rosstat.gov.ru>, свободный. – Дата обращения 09.12.21.
- 4 Гриневич Ю.А., Виноградова А.В., Иваньковский С.Л. Развитие нефтепереработки и нефтехимии в России: особенности, SWOT-анализ и перспективы // «Экономика и предпринимательство». – 2019. – №1 (102). – С. 1116-1122.
- 5 Андреев В.Е., Дубинский Г.С. Современное состояние структуры запасов нефти и динамики КИН, направления инновационных работ по обеспечению эффективного извлечения нефти // статья в сборнике трудов конференции «Акселерация инноваций – институты и технологии». – 2020. – С. 86-91.
- 6 Интерфакс. Добыча газа в РФ за 9 месяцев выросла на 11,9 % [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <https://www.interfax.ru/business/794883>, свободный. – Дата обращения 13.12.2021.
- 7 ЦДУ ТЭК. Прогноз по газу на 20 лет вперед [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: https://www.cdu.ru/tek_russia/articles/3/923/?PAGEN_1=2 Дата обращения 13.12.2021.
- 8 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 50 – 2017 «Переработка природного и попутного газа».
- 9 Абдуллаева Ш.Ш. Характеристика дистиллятных фракций на установке цеоформинг // «Вопросы науки и образования». – 2017. – №2. – С. 50-52.

- 10 Кубасов А.А. Цеолиты – кипящие камни // «Соросовский образовательный журнал». – 1998. – №7. – С. 70-76.
- 11 Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита : пер. с англ. / Д. Брек ; Под общ. рук. А.Л. Клячко, др. – М.: Мир, 1976 . – 781 с.
- 12 Рябов В.Д. Химия нефти и газа : учебное пособие / В.Д. Рябов ; Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И.М. Губкина. – М.: ИД «Фортум», 2009. – 336 с.
- 13 Зонхоева Э.Л. Природные цеолиты Забайкалья: свойства и применение / отв. ред. А.М. Плюсин. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2018. – 192 с.
- 14 Потехин В.М. Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки: учебник / В.М. Потехин, В.В. Потехин. – 3-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 896 с.
- 15 Степанов В.Г., Ионе К.Г. Производство моторных топлив из прямогонных фракций нефтей и газовых конденсатов с применением процесса «Цеоформинг» // «Химия в интересах устойчивого развития». – 2005. – Т. 13, №6. – С. 809-822.
- 16 ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия».
- 17 Шарипов К.К., Шарифова Н.А. Производство бензина из газового конденсата на основе цеоформинга // «Научный аспект». – 2018. – Т. 7, №4. – С. 879-883.
- 18 Каримова А.Р., Давлетшин А.Р., Хамзин Ю.А., Имашева М.У. Исследование влияния цеолитных катализаторов структуры ZSM-5 и FAU на качественный выход целевых продуктов при переработке прямогонных бензинов // «Башкирский химических журнал». – 2018. – Т. 25, №4. – С. 110-115.
- 19 Мамедов С.Э., Ахмедова Х.В., Мирзалиева С.Э. и др. Превращение н-гексана и прямогонной бензиновой фракции на модифицированных пентасилах // «Нефтегазохимия». – 2018. – №1. – С. 33-36.

- 20 Nabgan, W., Rashidzadeh, M. & Nabgan, B. The catalytic naphtha reforming process: hydrodesulfurization, catalysts and zeoforming. *Environ Chem Lett* 16, 507–522 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0707-x>.
- 21 Токарев Ю.И., Андреев Р.В. Малотоннажное производство нефтепродуктов для отдаленных нефтегазовых регионов РФ // «Экспозиция нефть и газ». – 2014. – №7(39). – С. 46-47.
- 22 Velichkina, L.M. Hydrogen-free domestic technologies for conversion of low-octane gasoline distillates on zeolite catalysts. *Theor Found Chem Eng* 43, 486–493 (2009). <https://doi.org/10.1134/S004057950904023X>.
- 23 Ровенская С.А., Островский Н.М. Кинетическая модель процесса превращения сырья различного состава на цеолитах в условиях «Цеоформинга» // «Омский научный вестник» – 2003. – №1. – С. 31-33.
- 24 Новичкова А.В. Численный анализ реакционной способности олефинов и алюминийорганических соединений на основе кинетических моделей частных и общих реакций: дис. канд. физ.-мат. наук. Уфа, 2015. 110 с.
- 25 ГОСТ Р 52714-2018 «Бензины автомобильные. Определение индивидуального и группового углеводородного состава методом капиллярной газовой хроматографии».
- 26 Алтынов А.А., Лукьянов Д.М., Богданов И.А., Киргина М.В. Разработка формализованной схемы химических превращений углеводородов C₅-C₇ на цеолитном катализаторе типа ZSM-5 // «Вестник технологического университета» – 2021. – №8. – С. 18-24.
- 27 Дж. Рабо. Химия цеолитов и катализ на цеолитах: в 2-х т. / ред. Дж. Рабо; пер. с англ. Г.В. Антошина и др.; под ред. Х.М. Миначева. – М.: Мир, 1980. 506 с.
- 28 Алов А. «Цеоформинг» – обыкновенное чудо / А. Алов // Портал рекламистов Новосибирска. – 2016. – № 10. – Режим доступа: URL: <http://www.gorn.pro/archive/2016/10/1977613/> (Дата обращения: 28.04.2022).

- 29 Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А., Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Креницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
- 30 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022).
- 31 СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
- 32 СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
- 33 ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
- 34 ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.
- 35 Федеральный закон от 22 июля 2013 г. № 123-ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644>, свободный. – Дата обращения: 27.04.2021 г.
- 36 ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- 37 ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 2. Дисплеи.
- 38 СП 2.2.3670-20. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда.
- 39 СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с изменением № 1);
- 40 ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.