

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
 Специальность 18.04.01 Химическая технология
 ООП Химическая технология топлива и газа
 Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА

Тема работы Разработка аппаратного оформления переработки углеводородного сырья на цеолитном катализаторе

УДК 665.637.7:665.642.4:519.876

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Багдасарян Нарек Сергеевич		

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
Доцент ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

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

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
 Специальность 18.04.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Выпускной квалификационной работы магистра (ВКР бакалавра/ ВКР специалиста/ ВКР магистра)
--

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ02	Багдасаряну Нареку Сергеевичу

Тема работы:

Разработка аппаратного оформления переработки углеводородного сырья на цеолитном катализаторе	
Утверждена приказом директора ИШПР (дата, номер)	от 07.04.2022 г. № 97-17/с

Срок сдачи студентом выполненной работы: 01.06.2022 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Образцы стабильных газовых конденсатов и прямогонных дизельных фракций, цеолитный катализатор.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Литературный обзор 1.1 Цеолитсодержащие катализаторы 1.2 Углеводородное сырье для переработки на цеолитных катализаторах 1.3 Реакторный блок цеоформинга 2 Объект и методы исследования 2.1 Характеристика объекта исследования 2.2 Лабораторная реализация процесса 2.3 Методика работы в UniSim Design 2.4 Методики исследования продуктов переработки на цеолите 3 Расчеты и аналитика 3.1 Состав и характеристики сырья и продуктов переработки стабильного газового конденсата на цеолите 3.2 Состав и характеристики сырья и продуктов

	<p>переработки прямогонной дизельной фракции на цеолите</p> <p>3.3 Разработка модели колонны стабилизации продуктов переработки стабильного газового конденсата на цеолите</p> <p>3.4 Разработка модели колонны фракционирования продуктов переработки прямогонной дизельной фракции на цеолите</p> <p>4 Результаты исследования</p> <p>4.1 Результаты разработки модели колонны стабилизации продуктов переработки СГК1 на цеолите</p> <p>4.2 Результаты разработки модели колонны фракционирования продуктов переработки ДФ1 на цеолите</p> <p>4.3 Подбор параметров в колонне стабилизации продуктов переработки СГК на цеолите</p> <p>4.4 Подбор параметров в колонне фракционирования продуктов переработки прямогонных дизельных фракции на цеолите</p> <p>5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> <p>6 Социальная ответственность</p>
--	--

Перечень графического материала	<p>1. Колонна ректификации Ø 2800. Общий вид</p> <p>2. Колонна ректификации Ø 2600. Общий вид</p> <p>3. Колонна ректификации Ø 2800. Спецификация</p> <p>4. Колонна ректификации Ø 2600. Спецификация</p>
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	к.э.н., доцент ОСГН ШБИП Рыжакина Т.Г.
«Социальная ответственность»	к.т.н., доцент ООД ШБИП Сечин А.А.

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

Development of equipment registration of processing of hydrocarbon raw materials on a zeolite catalyst

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.2022 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
2ДМ02	Багдасарян Нарек Сергеевич		

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
Профессор ОХИ ИШПР	Ивашкина Елена Николаевна	д.т.н.		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Багдасарян Нарек Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ02	Багдасарян Нарек Сергеевич

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

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

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Багдасарян Нарек Сергеевич		31.01.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
2ДМ02		Багдасарян Нарек Сергеевич	
Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология

Тема ВКР:

Разработка аппаратурного оформления переработки углеводородного сырья на цеолитном катализаторе	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</p>	<p>Объект исследования – процесс переработки на цеолитных катализаторах Область применения – нефтехимическая промышленность Работа выполнялась по адресу г. Томск, пр-кт. Ленина, д.43-А. Учебный корпус № 2. Этаж. 1, 133 аудитория</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. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) – ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<ul style="list-style-type: none"> – Отклонение показателей микроклимата; – Зрительное перенапряжение; – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Повышенный уровень шума; – Стрессовое состояние; – Статические физические перегрузки; – Пожарная безопасность;
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:</p>	<p>Воздействие на литосферу оказывают отходы, образующиеся при разработке проекта: бумага, пластик, отработанные люминесцентные лампы и т.д. Основной задачей предотвращения влияния является подбор способов их утилизации. Воздействие на гидросферу и атмосферу в процессе разработки проектного решения – минимально.</p>

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения:

Возможной и наиболее типичной ЧС является возникновение пожара на рабочем месте

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Багдасарян Нарек Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 135 страниц, 34 рисунков, 57 таблиц, 34 источника, 3 Приложения.

Ключевые слова: цеолитный катализатор, стабильный газовый конденсат, прямогонная дизельная фракция, колонна стабилизации, колонна фракционирования.

Работа представлена ведением, 6 разделами и выводами, приведен список использованных источников.

Объект исследования – процесс переработки углеводородного сырья на цеолитном катализаторе. Предмет исследования – аппаратурное оформление переработки углеводородного сырья на цеолитном катализаторе.

Цель работы – разработка аппаратурного оформления переработки на цеолитном катализаторе стабильных газовых конденсатов и прямогонных дизельных фракций для получения компонентов моторных топлив.

В ходе работы осуществлена реализация процесса переработки углеводородного сырья на цеолитном катализаторе; проанализирован состав и характеристики сырья и полученных продуктов; выявлены тенденции изменения состава и характеристик углеводородного сырья в результате переработки на цеолитном катализаторе; разработаны модели и определены конструкционные параметры колонн разделения полученных продуктов переработки различного углеводородного сырья на цеолитном катализаторе.

Экономическая эффективность/значимость работы: разработанные модели колонн разделения продуктов переработки углеводородного сырья на цеолитном катализаторе лягут в основу математического модели цеоформинга углеводородного сырья, что позволит прогнозировать состав, свойства и выход целевого продукта; выбрать оптимальные параметры реализации процесса.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	14
1 Литературный обзор.....	18
1.1 Цеолитсодержащие катализаторы.....	18
1.2 Углеводородное сырье для переработки на цеолитных катализаторах	22
1.2.1 Стабильный газовый конденсат.....	22
1.2.2 Прямогонная дизельная фракция	26
1.3 Реакторный блок цеоформинга	27
2 Объект и методы исследования	32
2.1 Характеристика объекта исследования	32
2.2 Лабораторная реализация процесса	32
2.3 Методика работы в UniSim Design	35
2.4 Методики исследования продуктов переработки на цеолите.....	40
2.4.1 Хроматографический метод анализа образцов	40
2.4.2 Метод определения вязкости и плотности исследуемых образцов	40
2.4.3 Метод определения фракционного состава исследуемых образцов	42
2.4.4 Метод определения содержания серы в исследуемых образцах	43
2.4.5 Метод определения низкотемпературных свойств исследуемых образцов	44
2.4.6 Метод расчета октанового числа исследуемых образцов	45
3 Расчеты и аналитика	46
3.1 Состав и характеристики сырья и продуктов переработки стабильных газовых конденсатов на цеолите	46
3.2 Состав и характеристики сырья и продуктов переработки прямогонных дизельных фракций на цеолите	48
3.3 Разработка модели колонны стабилизации продуктов переработки стабильного газового конденсата на цеолите	50
3.4 Разработка модели колонны фракционирования продуктов переработки прямогонной дизельной фракции на цеолите.....	54

4 Результаты исследования.....	59
4.1 Результаты разработки модели колонны стабилизации продуктов переработки СГК1 на цеолите	59
4.2 Результаты разработки модели колоны фракционирования продуктов переработки ДФ1 на цеолите.....	60
4.3 Подбор параметров в колонне стабилизации продуктов переработки СГК на цеолите.....	61
4.4 Подбор параметров в колонне фракционирования продуктов переработки прямогонных дизельных фракции на цеолите.....	64
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	68
5.1 Предпроектный анализ.....	69
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	69
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	69
5.1.3 SWOT-анализ.....	70
5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	73
5.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	75
5.2 Инициация проекта	75
5.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	77
5.3.1 Иерархическая структура работ проекта	78
5.3.2 План проекта.....	78
5.4 Бюджет научного исследования	81
5.4.1 Организационная структура проекта	87
5.4.2 План управления коммуникациями проекта.....	87
5.4.3 Реестр рисков проекта.....	88
5.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности.....	88
5.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования.....	88
5.5.1 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	93

6 Социальная ответственность	97
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	97
6.2 Производственная безопасность	100
6.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов	102
6.3.1 Отклонение показателей микроклимата	102
6.3.2 Зрительное перенапряжение	102
6.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны	103
6.3.4 Повышенный уровень шума	104
6.3.5 Стрессовое состояние	104
6.3.6 Статические физические перегрузки	105
6.3.7 Пожарная безопасность	106
6.4 Экологическая безопасность	107
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	107
6.6 Выводы по разделу	109
Выводы	110
Список публикаций студента	113
Список использованных источников	116
Приложение А	120

Введение

В последние годы наблюдается резкое возрастание числа внедряемых в промышленность процессов переработки углеводородного сырья на цеолитных катализаторах. Это объясняется высокой активностью и селективностью данного типа катализаторов, низкой стоимостью и высокой устойчивостью цеолитов к дезактивации и воздействию каталитических ядов.

В качестве сырьевой базы для переработки на цеолитном катализаторе в данной работе выступают стабильные газовые конденсаты (СГК) и прямогонные дизельные фракции различного состава. Превращение СГК в компоненты моторных топлив является актуальной на сегодняшний день задачей, в связи с истощением нефтяных ресурсов, ростом тенденций увеличения глубины переработки углеводородного сырья и ужесточением требований к моторным топливам. Получение низкозастывающих марок дизельного топлива является важным направлением нефтегазодобывающего развития России в освоении районов крайнего севера и Дальнего Востока.

Неотъемлемой частью разработки новой технологии является подбор и проектирование аппаратного оформления процесса, в частности оборудования для стабилизации и фракционирования получаемых продуктов.

Таким образом, **целью** данной работы является разработка аппаратного оформления переработки на цеолитном катализаторе стабильных газовых конденсатов и прямогонных дизельных фракций для получения компонентов моторных топлив.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Реализовать переработку образцов СГК и прямогонных дизельных фракции различного состава на цеолитном катализаторе.
2. Определить и проанализировать состав и характеристики продуктов переработки на цеолитном катализаторе различных образцов СГК и прямогонной дизельной фракции. Выявить тенденции изменения состава и

характеристик углеводородного сырья в результате переработки на цеолитном катализаторе.

3. Оценить необходимость стабилизации и фракционирования продуктов переработки на цеолитном катализаторе образцов СГК и прямогонной дизельной фракции.

4. Разработать модель и определить конструкционные параметры колонны стабилизации продуктов переработки СГК на цеолитном катализаторе, а также модель и конструкционные параметры колонны фракционирования продуктов переработки прямогонной дизельной фракции на цеолитном катализаторе.

5. Осуществить подбор параметров в колонне стабилизации и колонне фракционирования для различного состава разделяемых продуктов.

Объектом исследования в данной работе является процесс переработки углеводородного сырья на цеолитном катализаторе.

Предметом исследования является аппаратурное оформление переработки углеводородного сырья на цеолитном катализаторе.

Научная новизна работы:

1. Показано, что переработка СГК на цеолите приводит к повышению октанового числа, увеличению содержания ароматических углеводородов, изопарафинов и олефинов, а также снижению содержания н-парафинов и нафтенов.

2. Установлено, что переработка прямогонных дизельных фракций на цеолите приводит к снижению плотности, кинематической вязкости, содержанию серы, а также к значительному улучшению (снижению) всех низкотемпературных свойств (получение арктического топлива).

3. Установлено, что продукты переработки СГК на цеолитном катализаторе имеют начало кипения порядка 20-25 °С, требуется их стабилизация с получением стабильного продукта и пропан-бутановой фракции. Показано, что продукты переработки прямогонных дизельных фракций на цеолите характеризуются широким фракционным составом

(33-369 °C), что делает перспективным их разделение на различные топливные фракции – бензиновую (начало кипения – 140 °C), керосиновую (140 °C – 240 °C) и дизельную (240 °C – конец кипения).

4. Показано, что в случае увеличения содержания пропан-бутановой фракции в составе продуктов переработки СГК на цеолите необходимо увеличить расход дистиллятной фракции и уменьшить рефлюксное число в колонне стабилизации. Установлено, что в случае увеличения содержания керосиновой фракции в составе продуктов переработки прямогонной дизельной фракции на цеолите необходимо увеличить расход бокового продукта колонны фракционирования.

Практическая значимость работы:

1. Разработаны модели колонны стабилизации продуктов переработки СГК на цеолитном катализаторе, а также колонны фракционирования продуктов переработки прямогонной дизельной фракции на цеолитном катализаторе в ПО UniSim Design.

2. Для стабилизации продуктов переработки СГК на цеолитном катализаторе выбрана колонна диаметром 2600 м, общей высотой 44,3 м, тип тарелок – клапанные, число тарелок 60.

3. Для фракционирования продуктов переработки прямогонной дизельной фракции на цеолитном катализаторе выбрана колонна диаметром 2800 м, общей высотой 37,0 м, тип тарелок – клапанные, число тарелок 50.

В качестве материала для всех элементов аппаратов выбрана сталь 12X18Н10Т, в качестве материала для прокладок – паронит типа ПОН. Для колонн подобраны штуцеры, днища, цилиндрические опоры. Разработанные колонны обеспечивают оптимальное разделение продуктов переработки углеводородного сырья на цеолите.

Разработанные в ходе работы модели колонн разделения продуктов переработки углеводородного сырья на цеолитном катализаторе лягут в основу математической модели процесса цеоформинга углеводородного сырья.

Математическая модель позволит прогнозировать состав, свойства и выход целевого продукта; выбирать оптимальные параметры реализации процесса.

Апробация работы: основные положения и результаты работы докладывались на Международном симпозиуме имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр», 2021 г., а также Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера «Химия и химическая технология в XXI веке», 2021-2022 гг. По результатам работы опубликовано 9 работ.

1 Литературный обзор

1.1 Цеолитсодержащие катализаторы

До недавнего времени цеолитные катализаторы (цеолиты) имели широкое применение лишь в качестве адсорбентов или носителей с нанесенными активными веществами вследствие высокой механической прочности, избирательности (молекулярно-ситовый эффект), термической стабильности, относительной устойчивости к каталитическим ядам. Однако в последние годы все большее внимание им уделяется в качестве катализаторов переработки нефти и газа, а также для синтеза некоторых органических веществ.

Цеолиты заслужили внимание к себе как к эффективным катализаторам нефте- и газопереработки за счет высокой каталитической активности, способности к ионнообмену и уникальной кристаллической структуры.

Цеолиты – кристаллические водные алюмосиликаты с развитой пористостью, содержащие катионы I и II группы, их внутренняя поверхность определяется системой однородных пор, регулярно повторяющихся в трехмерном пространстве [1]. За данную особенность цеолитные катализаторы называют молекулярными ситами.

Химическая формула цеолитов представлена в виде:



Катион Структура Адсорбированная фаза

Основными структурными единицами цеолитных катализаторов являются правильные тетраэдры из анионов SiO_4^{4-} и AlO_4^{5-} , связанные между собой атомами кислорода [2]. Кремнекислородные тетраэдры являются электрически нейтральными, так как ион кремния с зарядом 4^+ компенсируется четырьмя ионами кислорода в вершинах тетраэдра. В тоже время при наличии в тетраэдре иона Al^{3+} возникает заряд 1^- . Поэтому для полной нейтральности самого алюмосиликата отрицательный заряд в алюмокислородном тетраэдре

Таким образом, в цеолитах типа пентасил образуется система каналов с круглыми ($0,54 \times 0,56$ нм) и зигзагообразными ($0,51 \times 0,55$ нм) сечениями (рисунок 1.3).

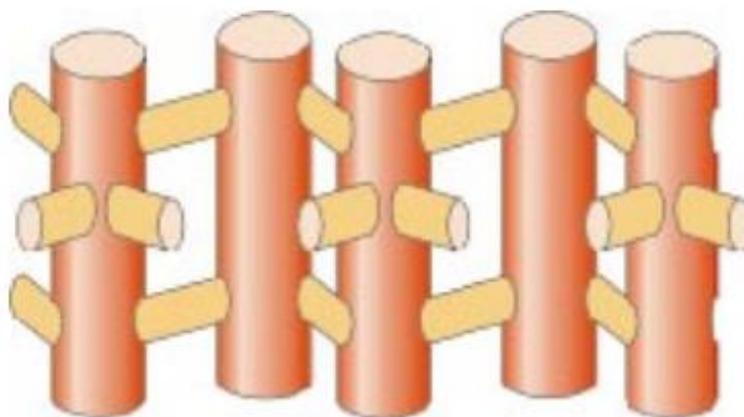


Рисунок 1.3 – Схематическое изображение каналов в цеолите типа пентасила

Данные кольца являются окнами, открывающими доступ к объему, в котором адсорбируются молекулы. Пентансилы характеризуются микропорами относительно средних размеров (0,55 нм).

Для адсорбции молекул в порах, размеры этих молекул не должны превышать размеры входного окна в пору. Данное окно за счет энергетических барьеров, обусловленных электростатическим взаимодействием с кислородным каркасом, создает стерические затруднения при движении молекул. Это и называется молекулярно-ситовым эффектом [5].

Такая кристаллическая структура цеолитов позволяет им обладать большими значениями удельной поверхности ($350-450$ м²/г), что дает возможность адсорбировать заметные количества вещества из жидкой или газовой фазы.

В зависимости от структурного типа цеолита размеры пор могут различаться, поскольку свойства цеолитных катализаторов зависят от соотношения Si/Al, типа внедренного в структуру катиона, содержания адсорбированной воды.

Каталитические свойства алюмосиликатов напрямую зависят от метода их синтеза и формования, которые, в свою очередь, приводят к изменению кристаллической структуры цеолита и размеров его пор [6].

Так, например, с ростом соотношения Si/Al в структуре цеолита увеличивается его термическая стабильность, это обосновывается увеличением количества более прочных Si-O связей и снижением количества менее прочных Al-O связей.

Одним из способов такой модификации цеолитов является dealюминирование, то есть обработка цеолитов различными комплексообразователями, которые позволяют извлекать часть атомов алюминия из кристаллической решетки катализатора, при этом повышая отношение Si/Al.

Термическая стабильность цеолита также зависит и от типа катиона, внедренного в структуру катализатора, так цеолитый катализатор, содержащий полизарядные катионы, выдерживает более жесткие температурные условия и чем выше заряд катиона, тем выше термическая стабильность цеолита.

Поэтому распространенным способом модификации катализатора является замена катионов натрия на ионы щелочноземельных и редкоземельных элементов, таких как кальций, магний, лантан [7].

Наличие воды на поверхности оксида предполагает возможность образования гидроксильных групп (ОН) в строении минерала. Свойства гидроксильных групп определяются природой атомов, с которыми они связаны.

Например, ОН-группы на силикагеле не обладают ни кислотными, ни основными свойствами, на поверхности оксида алюминия – ОН-группы являются центрами слабой кислоты, т.е. могут отдавать протон сильным основаниям. Эмпирически выяснено, что на поверхности алюмосиликатов ОН-группы способны давать протон молекуле углеводорода, то есть обладают свойствами кислоты Бренстеда. Кислотность цеолита характеризуется числом таких кислотных центров на поверхности катализатора.

Для увеличения кислотных свойств цеолитных катализаторов применяют различные способы, наиболее распространённым является формирование ОН-групп на поверхности цеолита путем нагревания образцов, в которых катионы замещены на ионы аммония. Это связано с тем, что при

выделении аммиака происходит присоединение протона водорода к атому кислорода.

Резюмируя все выше написанное, можно сделать вывод, что особенность кристаллической структуры, способность к ионному обмену и проявлению кислотных свойств, а также устойчивость к термическим и химическим воздействиям, объясняет повышенное внимание к цеолитам как к эффективным катализаторам в нефтепереработке.

1.2 Углеводородное сырье для переработки на цеолитных катализаторах

1.2.1 Стабильный газовый конденсат

В связи с истощением нефтяных ресурсов, ростом тенденций увеличения глубины переработки углеводородного сырья, ужесточением требований к моторным топливам, стабильный газовый конденсат (СГК) становится все более ценным видом сырья. СГК, представляющий собой смесь углеводородов с числом атомов углерода от 5 до 7, получают в качестве побочного продукта при промысловой подготовке природного газа. Превращение газовых конденсатов в продукты моторного топлива осуществляется более простыми механизмами, по сравнению с переработкой более традиционных видов нефтяного сырья, ввиду низкого содержания сернистых и азотистых соединений, которые являются каталитическими ядами для большинства промышленных катализаторов. Не менее важен факт отсутствия в составе конденсатов тяжелых компонентов нефти таких, как смолы и асфальтены.

При этом газовые конденсаты зачастую не используются в качестве сырья для переработки, зачастую подвергаясь смешиванию с товарной нефтью для увеличения выхода светлых нефтепродуктов, или возвращаются в пласт для поддержания пластового давления.

Рынок газоконденсатного сегмента среди нефтегазодобывающих компаний продолжает расти. В 2019 году добыча нестабильного газового конденсата в России вышла на отметку 35,7 миллионов тонн в год (рисунок 1.4).

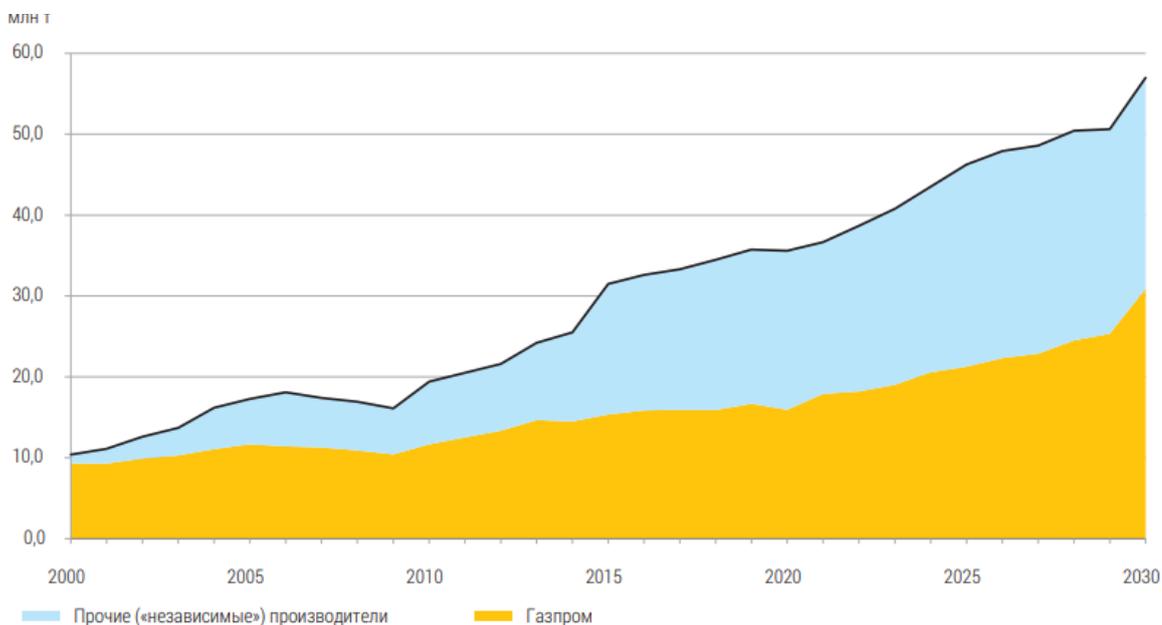


Рисунок 1.4 – Добыча нестабильного газового конденсата в России

С 2000 года темп увеличения добычи конденсата в стране составляет в среднем 6,7 %. Учитывая внушительный объем запасов газового конденсата в России, предполагается, что к 2030 году его добыча выйдет на отметку около 57 миллионов тонн в год, а среднегодовые темпы роста составят 4,3 % в период с 2020 по 2030 годы.

В работе [8] авторами проведены исследования по пиролизу СГК с высоким содержанием н-парафинов, о чем свидетельствует невысокая плотность 757 кг/м³ и молекулярная масса образца 121 г/моль. Такой состав является благоприятным для пиролизного сырья.

Исследователями осуществлен термический и каталитический пиролиз СГК, в качестве катализаторов использованы цеолитсодержащие катализаторы К-2 и К-3, содержащие металлы VIII группы. Исследования проводились в диапазоне температур 600-780 °С при времени контакта 0,10-0,15 секунд и соотношении сырье: пар 1,0: 0,7. Сравнительные результаты пиролиза газового конденсата представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты термического и каталитического пиролиза газового конденсата

Продукты пиролиза	Выход (% мас.) при пиролизе		
	Термический	Каталитический	
		К-2	К-3
H ₂	0,83	1,00	1,20
CO	0,09	0,08	0,40
CO ₂	0,00	0,03	0,60
CH ₄	13,02	17,80	19,20
C ₂ H ₆	1,45	2,70	2,30
C ₂ H ₄	24,46	34,20	35,70
C ₃ H ₈	0,32	0,35	0,20
C ₃ H ₆	11,23	15,60	10,60
∑C ₄ H ₁₀	1,15	0,10	0,10
∑C ₄ H ₈	1,45	1,40	2,70
Бутадиен	0,96	0,80	2,60
∑C ₅	2,00	3,00	0,20
∑C ₂ -C ₄ (ненасыщенные)	38,10	52,00	51,60
Все газообразные продукты	54,96	77,06	75,80
Смола + кокс + потери	45,04	22,94	24,20

Из таблицы 1.1 видно, что при каталитическом пиролизе, по сравнению с термическим разложением, состав продуктов процесса существенно изменяется. Выход этилена значительно увеличился для обоих катализаторов, но особенно заметно (почти в 1,5 раза) для катализатора К-3, а сумма ненасыщенных углеводородов C₂-C₄ увеличилась в 1,35 раза. Также увеличился выход газообразных продуктов. Авторами установлено, что за 5 часов непрерывной работы в термически жестких условиях, выход такого целевого продукта, как этилен, практически не изменился. Таким образом, было экспериментально доказана термическая стабильность и сильные кислотные свойства цеолитсодержащих катализаторов.

Авторами работы [9] проведены исследования превращения прямогонной бензиновой фракции с пределами выкипания 70-170 °С на цеолитсодержащих катализаторах на проточном каталитическом реакторе со стационарным слоем катализатора (объем реактора 10 см³). Технологические параметры, использованные для переработки прямогонной бензиновой

фракции: температура в диапазоне 325-375 °С, давление атмосферное. Объемная скорость подачи сырья составляла – 2 ч⁻¹. Продолжительность эксперимента составила 1 час для каждой температуры. Сырье по групповому углеводородному составу состояло из 33,2 % мас. изопарафинов, 22,7 % мас. парафинов, 39,9 % мас. нафтенов и 4,2 % мас. ароматических углеводородов. Октановое число по исследовательскому методу (ОЧИ) исходного прямогонного бензина составило 60 пунктов.

Данный эксперимент проводился на цеолитных катализаторах, модифицированных микроразмерными и наноразмерными порошками диоксида церия из расчета 1 и 3 % мас.

В таблице 1.2 представлены результаты исследования каталитической активности цеолитов при переработке низкооктановых бензиновых фракций в высокооктановые компоненты моторного топлива. Содержание ароматических углеводородов в продуктах служило мерой каталитической активности катализаторов.

Таблица 1.2 – Результаты конверсии бензиновых конденсатов на модифицированных цеолитсодержащих катализаторах

Катализатор	Температура, °С	Выход продуктов, % мас.						ОЧИ
		Газовая фаза	Ароматические	Изопарафины	Нафтены	Н-парафины	Олефины	
HSZ	325	34,8	21,8	40,0	19,5	17,1	1,6	88,1
	350	42,0	27,6	40,2	18,2	12,6	1,4	92,2
	375	49,0	33,6	36,8	17,2	10,8	1,6	92,1
1% нано-CeO ₂ /99% HSZ	325	33,2	26,0	37,0	21,6	13,9	1,5	91,2
	350	41,8	33,6	34,1	19,4	11,5	1,4	94,3
	375	46,8	40,5	30,4	18,7	9,1	1,3	94,0
3% нано-CeO ₂ /97% HSZ	325	34,0	24,4	36,1	24,5	13,5	1,5	89,1
	350	40,6	32,6	34,3	20,0	11,7	1,4	93,2
	375	48,1	39,0	31,1	18,6	9,9	1,4	93,6
1% микро-CeO ₂ /99% HSZ	325	34,2	24,8	36,9	22,0	14,8	1,5	89,8
	350	39,7	32,6	35,4	20,3	10,3	1,5	92,7
	375	46,7	40,5	31,7	17,5	9,1	1,1	93,3
3% микро-CeO ₂ /97% HSZ	325	35,8	24,0	36,9	22,6	15,1	1,4	89,8
	350	41,9	31,4	34,5	20,5	12,2	1,4	92,7
	375	47,2	38,3	31,8	18,6	9,9	1,5	93,3

Переработка низкооктановых бензиновых фракций на цеолитах позволяет увеличить выход изопарафинов и ароматических соединений,

которые являются высокооктановыми компонентами бензинового топлива. Это обуславливает повышение ОЧИ с 60 пунктов до 88 и выше. При повышении температуры ведения процесса увеличивается доля газовой фазы за счет увеличения степени превращения углеводородов сырья.

При добавлении модифицирующих нано- и микроразмерных добавок оксида цезия в цеолитный катализатор наблюдается сравнительно небольшое увеличение ОЧИ (на 2-3 пункта), что связано с увеличением суммарной концентрации кислотных центров на поверхности катализатора.

1.2.2 Прямогонная дизельная фракция

Основным направлением нефтегазодобывающего развития России является освоение районов крайнего севера и дальневосточных регионов. Реализация данных стратегических задач приведет к увеличению спроса рынка на низкозастывающие марки дизельного топлива. На рисунке 1.5 представлены данные по производству дизельного топлива с 2013 по 2021 год в России.

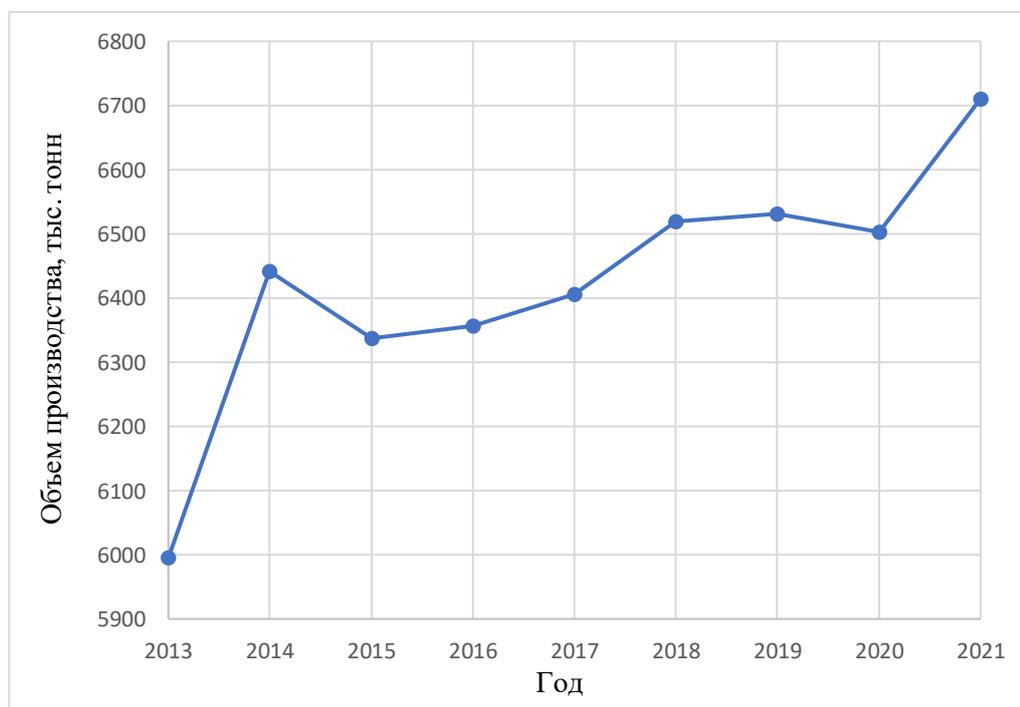


Рисунок 1.5 – Производство дизельного топлива в России

Из данных на рисунке 1.5 можно видеть, что в период с 2013 по 2021 годы произведено около 700 тысяч тонн дизельного топлива, темп роста производства с 2013 года составляет около 12 %.

Переработка дизельных фракций в настоящее время требует использования дорогостоящих катализаторов, содержащих благородные металлы и должна проводиться в среде водорода.

Авторами работы [10] были проведены исследования по гидрообессериванию дизельного сырья на биметаллическом Pd-Pt цеолитном катализаторе. Процесс гидрирования проводился в реакторе непрерывного действия с неподвижным слоем катализатора при давлении водорода 3,9 МПа, температуре реакции 533 К, объемной скорости подачи сырья – 4 ч⁻¹. Данные образцы катализатора показали высокую активность в гидродесульфировании и гидродеароматизации дизельного сырья. Содержание сернистых соединений снизилось с 263 до 5 ppm, содержание ароматических углеводородов упало с 26 до 2 ppm. Важно отметить значительное падение содержания полициклических ароматических соединений с 7,0 до 0,6 ppm. Эти результаты демонстрируют эффективность цеолитной каталитической системы в борьбе с серосодержащими соединениями и стабильность при жестких условиях работы.

Таким образом, цеолитные катализаторы могут быть эффективны в процессах переработки прямогонной дизельной фракции с целью улучшения различных характеристик данного топлива.

1.3 Реакторный блок цеоформинга

Цеоформинг – каталитический процесс переработки низкооктанового углеводородного сырья (СГК, легкая прямогонная бензиновая фракция) с целью получения высокооктановых автомобильных бензинов с применением цеолитсодержащих катализаторов. Цеоформинг позволяет получать автомобильные бензины с ОЧИ от 80 до 95 пунктов. При этом выход товарного бензина из низкооктанового сырья составляет около 70-80 %.

В отличие от традиционных методов повышения октанового числа бензинов – риформинга, цеоформинг имеет ряд преимуществ:

- применение цеолитных катализаторов позволяет отказаться от использования дорогостоящих благородных металлов;

- из-за отсутствия благородных металлов в составе катализатора цеолиты менее чувствительны к сернистым и азотосодержащим соединениям в сырье, следовательно, предварительная гидроочистка сырья не требуется;
- процесс цеоформинга не требует подачи водородсодержащего газа, что позволяет экономить на дорогостоящем компрессорном оборудовании;
- полученные автомобильные бензины имеют сравнительно низкое содержание бензола, что соответствует современным экологическим требованиям, согласно ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия» [11];
- получаемые бензины не требуют компаундирования;
- процесс проводится при сравнительно низких температурах (340-450 °С) и давлениях (0,5-1,5 МПа), что на 20-30 % снижает его энергоемкость.

Учитывая вышеуказанные преимущества, процесс цеоформинга позволяет снизить капитальные и эксплуатационные затраты относительно традиционных установок производства высокооктанового бензина.

Каталитические превращения сырья цеоформинга происходят в реакторах с неподвижным слоем катализатора. Реактор представляет собой цилиндрический вертикальный аппарат с эллиптическим днищем.

Для распределения сырьевого потока в верхней части реактора располагается верхнее распределительное устройство (диффузор).

В центральной зоне реактора располагается центральная перфорированная труба для сбора продуктов реакции. Продукты реактора собираются в центральной трубе и выходят из реактора.

По всей окружности реактора расположены длинные вертикальные каналы, оснащенные отверстиями по всей высоте (скаллопы). Через отверстия скаллопов сырье попадает в слой катализатора и далее к центральной трубе.

В зависимости от гидродинамического режима реакторы делятся на два типа: реакторы с аксиальным и радиальным вводом сырья.

Аксиальный ввод сырья, представленный на рисунке 1.6, является более распространенным типом движения потока в реакторе.

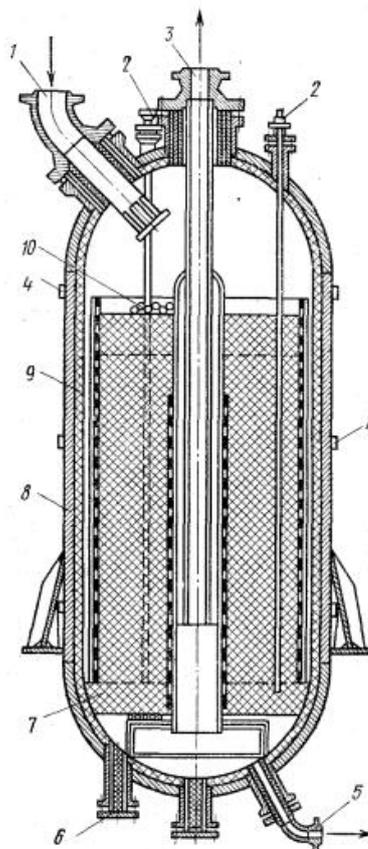


Рисунок 1.6 – Реактор с аксиальным движением сырьевой смеси

- 1 – штуцер для входа сырья; 2 – зональная термопара;
3 – штуцер для выхода продуктов; 4 – наружная термопара; 5 – штуцер для вывода продуктов при эжектировании системы во время регенерации катализатора;
6 – штуцер для выгрузки катализатора; 7 – легкий шамот; 8 – корпус реактора;
9 – футеровка; 10 – фарфоровые шары

Движение сырьевого потока в реакторах с аксиальным вводом сырья характеризуется нисходящим потоком, проходящим сверху вниз через слой катализатора. Продукты реакции отводятся через нижний штуцер реактора.

Реактор может иметь более одного вида катализатора в слоях и инертные керамические шарики, которые предназначены для поддержки катализатора и улучшения распределения сырьевого потока. При наличии нескольких

слоев катализатора реактор может иметь боковые люки для доступа в каждый слой [12].

В реакторах с радиальным вводом сырья (рисунок 1.7) для размещения катализатора предусмотрен внутренний перфорированный стакан.

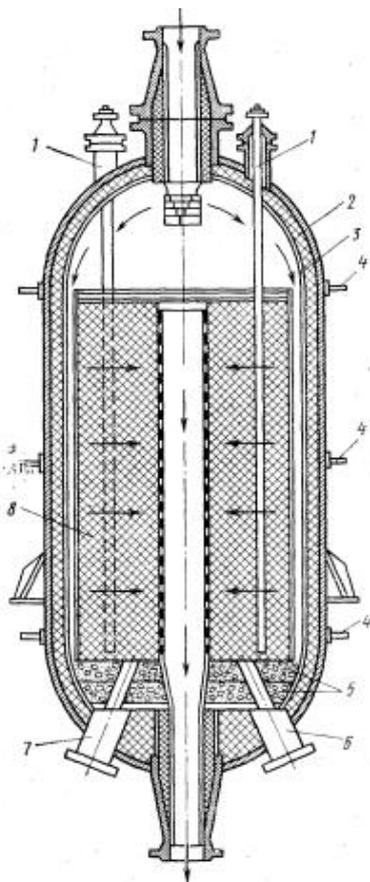


Рисунок 1.7 – Реактор с радиальным движением сырьевой смеси

1 – многозональная термопара; 2 – корпус реактора; 3 – футеровка;
4 – поверхностная термопара; 5 – фарфоровые шары; 6 – штуцер вывода продуктов при
эжектировании системы во время регенерации катализатора; 7 – штуцер для выгрузки
катализатора; 8 – катализатор

Между перфорированным стаканом и футеровкой существует кольцевой зазор. Основное отличие аксиальных реакторов от радиальных заключается в типе движения сырья: в радиальном реакторе движение сырья осуществляется радиально (вниз по спирали), в аксиальных – по вертикальной оси реактора (сверху вниз).

Газожидкостная смесь направляется из диффузора реактора в скаллопы. Скаллопы имеют отверстия или, чаще всего в наши дни, профильные проволочные экраны по всей длине. Газ проходит через скаллопы радиально в

кольцевой слой катализатора и затем внутрь к центральной трубе. Продукты процесса собираются в центральной трубе и отводятся из реактора [12].

При радиальном движении потока сырья повышается эффективность контакта между сырьем и слоем катализатора. Из-за этого размер аппарата может быть значительно уменьшен.

Важной частью блока установки цеоформинга является колонна фракционирования продуктов реактора, предназначенная для стабилизации жидкого продукта цеоформинга. Колонна фракционирования представляет собой ректификационную колонну. Ректификация – процесс разделения гомогенных смесей летучих жидкостей путём двустороннего массо- и теплообмена между неравновесными жидкой и паровой фазами, имеющими различную температуру и движущимися противоположно друг другу.

2 Объект и методы исследования

2.1 Характеристика объекта исследования

Объектом исследования в работе выступили образцы стабильного газового конденсата (СГК1, СГК2, СГК3) и прямогонной дизельной фракции (ДФ1, ДФ2, ДФ3), а также продукты их переработки на цеолитном катализаторе марки КН-30, производства ПАО «Новосибирский завод химконцентратов», г. Новосибирск. Характеристики катализатора КН-30 представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристики катализатора КН-30

Характеристика	Значение
Структурный тип	ZSM-5
Массовая доля цеолита не менее, %	80
Массовая доля в порошке цеолита, %:	
SiO ₂	90,0-97,6
Al ₂ O ₃	1,4-2,7
Na ₂ O	не более 0,1
Fe ₂ O ₃	0,35-1,25
Диаметр гранул, мм	3,0-4,3
Удельная поверхность, м ²	300
Срок пробега до регенерации, ч	150-300
Насыпная плотность, г/см ³	0,60-0,86

Перед проведением испытаний катализатор был измельчен механическим способом, после чего навеска катализатора объемом 10 см³ была загружена в реактор, где прокаливалась в течении 8 часов при температуре 500 °С в среде азота при давлении 1 МПа.

2.2 Лабораторная реализация процесса

Процесс переработки углеводородного сырья на цеолитном катализаторе проводился на лабораторной каталитической установке. Данная установка предназначена для проведения процессов, протекающих в условиях давления до 90 атм. и температуры до 700 °С.

Технологическая схема каталитической установки представлена на рисунке 2.1.

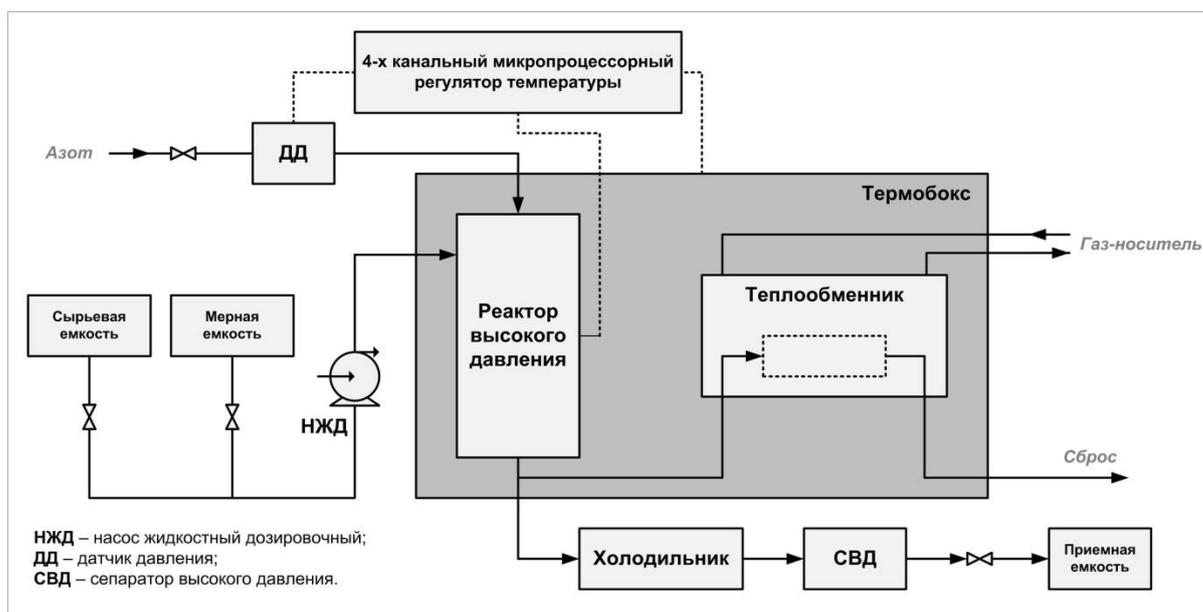


Рисунок 2.1 – Технологическая схема лабораторной каталитической установки

Для проведения теста на герметичность в системе установки, продувки системы, разбавления реакционной смеси в реакторной системе предусмотрено наличие инертных газов (азот или аргон). Подача этих газов происходит через вентиль из газовых баллонов. Требуемое давление подачи газов выставляется при помощи ручки регулятора. Давление контролируется манометрами, которые установлены в корпусе регулятора.

Реакторный блок состоит из реактора, электрической печи и системы обратных клапанов. Реактор представляет собой стальную трубу, диаметр которой равен 12 мм.

Электрическая печь реактора позволяет поддерживать температуру по высоте катализатора с погрешностью ± 5 °С. В слое катализатора и в печи реактора установлены термопары, предназначенные для регулирования и контроля температуры.

Блок разделения продуктов состоит из прямоточного холодильника и сепаратора высокого давления (СВД).

Холодильник представлен в виде трубчатого теплообменника. В качестве хладагента используется вода, тосол или этиленгликоль.

На выходе из холодильника продукты реактора поступают в двухкамерный СВД для разделения жидкой и газовой фазы. Конструктивно СВД состоит из двух камер: первая камера предназначена для двухфазного разделения жидкости и газа, вторая служит приемником конденсата.

Газообразная часть продукта выходит из СВД через боковой штуцер в вытяжную вентиляцию и в систему аналитического контроля для проведения хроматографических анализов.

Для хранения жидких продуктов реактора и различных сырьевых жидких материалов в системе установки предусмотрена сырьевая емкость.

Конструкция основного узла установки – проточного реактора представлена на рисунке 2.2.

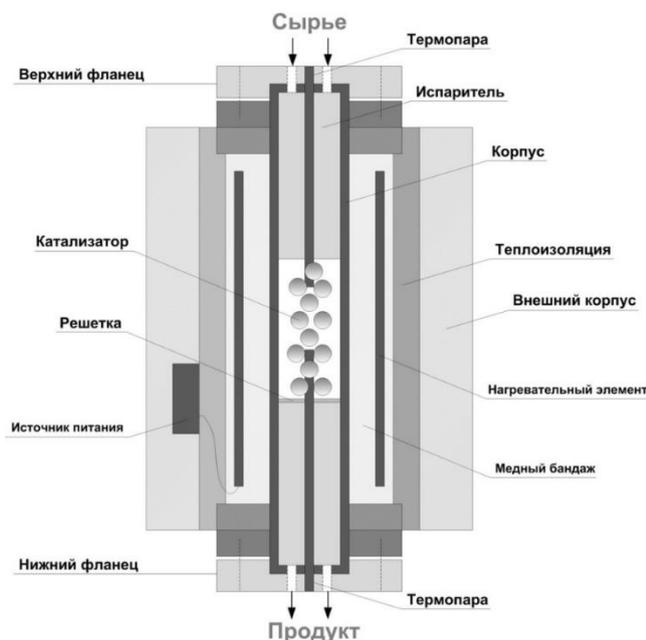


Рисунок 2.2 – Схема проточного реактора лабораторной каталитической установки

Корпус реактора, фланцы, штуцера изготовлены из коррозионностойкой стали 12x18Н9Т. Герметизация реактора осуществляется при помощи верхнего и нижнего фланцев, закрепляемых четырьмя болтами, места соединения уплотняются при помощи тефлоновых прокладок. Подвод исходных реагентов осуществляется через два штуцера, находящиеся в верхнем фланце реактора. Отвод продуктов реактора осуществляется через два штуцера в нижней части реактора.

В средней зоне реактора размещается катализатор. Загрузка катализатора осуществляется через верхний фланец реактора, выгрузка – через нижний фланец.

Основные технические характеристики реактора представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Основные технические характеристики реактора

Характеристика	Значение
Максимальная загрузка катализатора, см ³	10,0
Внутренний диаметр реактора, мм	12,0
Максимальная температура, °С	700
Максимальное давление в реакторе, атм.	100
Диаметр термопары, мм	1,6
Тип термопары	ТХА (тип К)
Тип резьбы входных и выходных штуцеров	М14*1,5

Процесс переработки СГК реализовывался при условиях: температура – 648 К (375 °С), давление – 2,5 атм. (0,25 МПа), объемный расход сырья – 0,33 мл/мин.

Условия технологического режима для переработки прямогонной дизельной фракции: температура – 648 К (375 °С), давление – 3,5 атм. (0,35 МПа), объемный расход сырья – 0,50 мл/мин.

2.3 Методика работы в UniSim Design

Программное обеспечение (ПО) UniSim Design, разработчиком которой является корпорация Honeywell, предназначено для моделирования технологических процессов различных промышленных отраслей. Данное ПО используют более 300 компаний в различных странах мира, представляющие нефтегазовую, химическую, нефтехимическую и энергетическую промышленность.

ПО UniSim Design помогает работникам промышленных компаний создавать модели для проектирования и оптимизации промышленных аппаратов и систем их управления.

После запуска программы открываем рабочее окно ПО, при открытии окна «Simulation Basis Manager» необходимо создать лист компонентов, добавив в него необходимые компоненты. Рабочее окно создания листа компонентов представлено на рисунке 2.3.

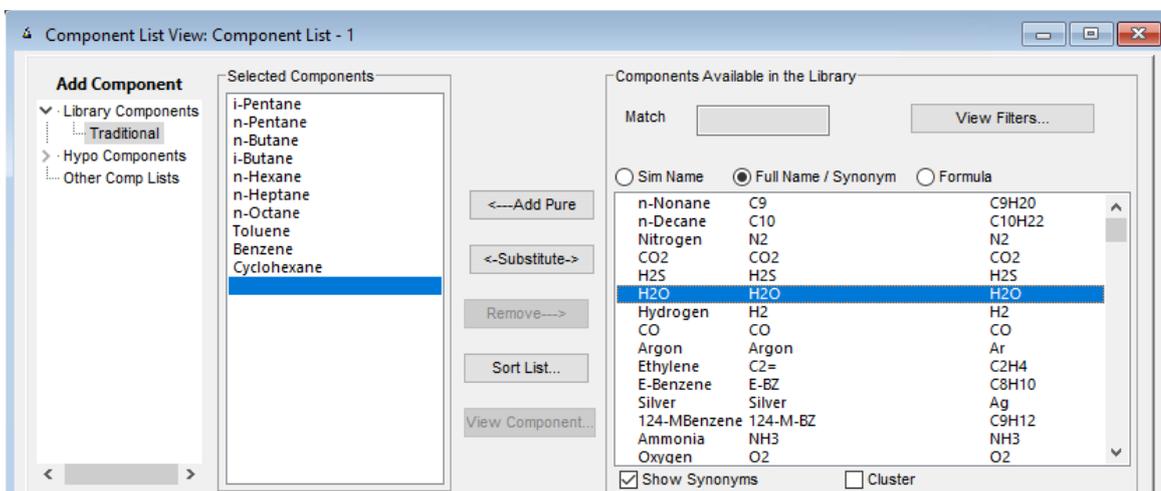


Рисунок 2.3 – Лист компонентов

После создания листа компонентов, переходим на вкладку «Fluid Packages» и выбираем термодинамический пакет «Peng-Robinson» (рисунок 2.4).

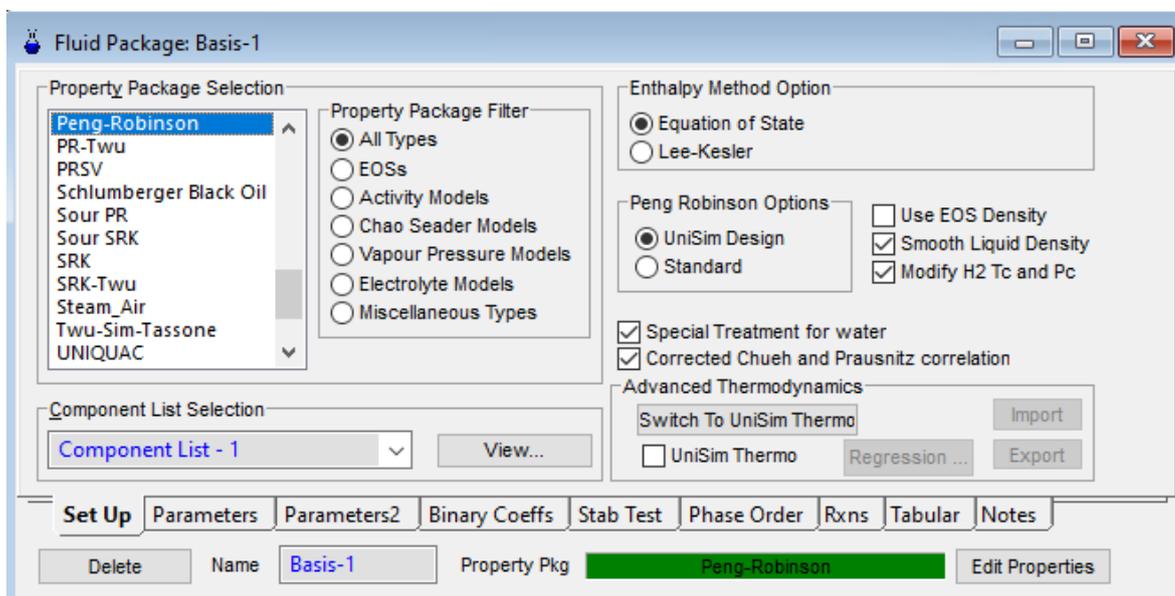


Рисунок 2.4 – Выбор термодинамического пакета

Следующим этапом создаем материальный поток и задаем его основные параметры (рисунок 2.5).

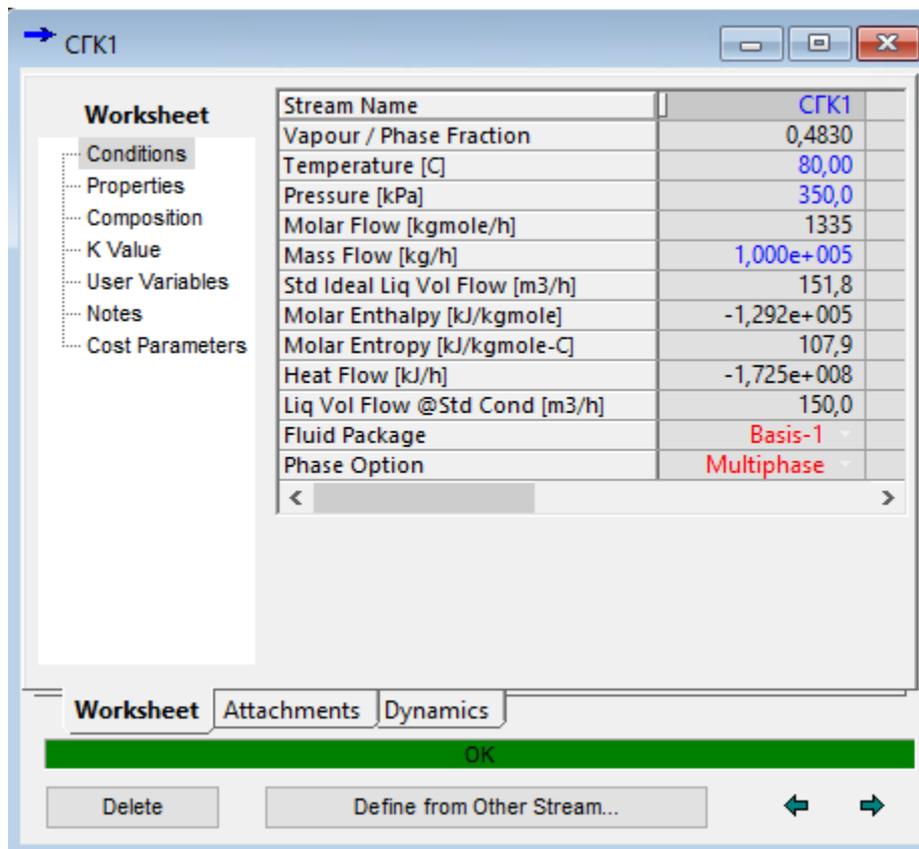


Рисунок 2.5 – Параметры сырьевого потока

Далее был произведен расчет колонны (Distillation Column): введены необходимые данные, такие как число тарелок, номер тарелки питания, давление в колонне и название материального и энергетического потоков (рисунок 2.6).

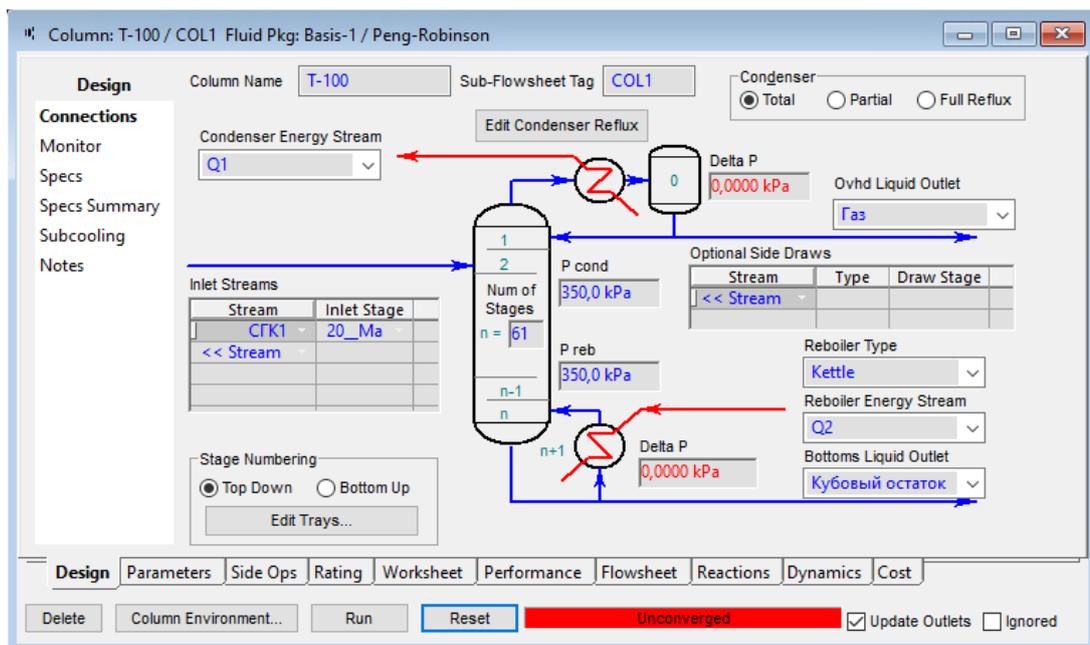


Рисунок 2.6 – Обязка Distillation Column

Для дальнейшего проведения расчета колонны во вкладке «Monitor» подобран определенный набор спецификаций, представленный на рисунке 2.7.

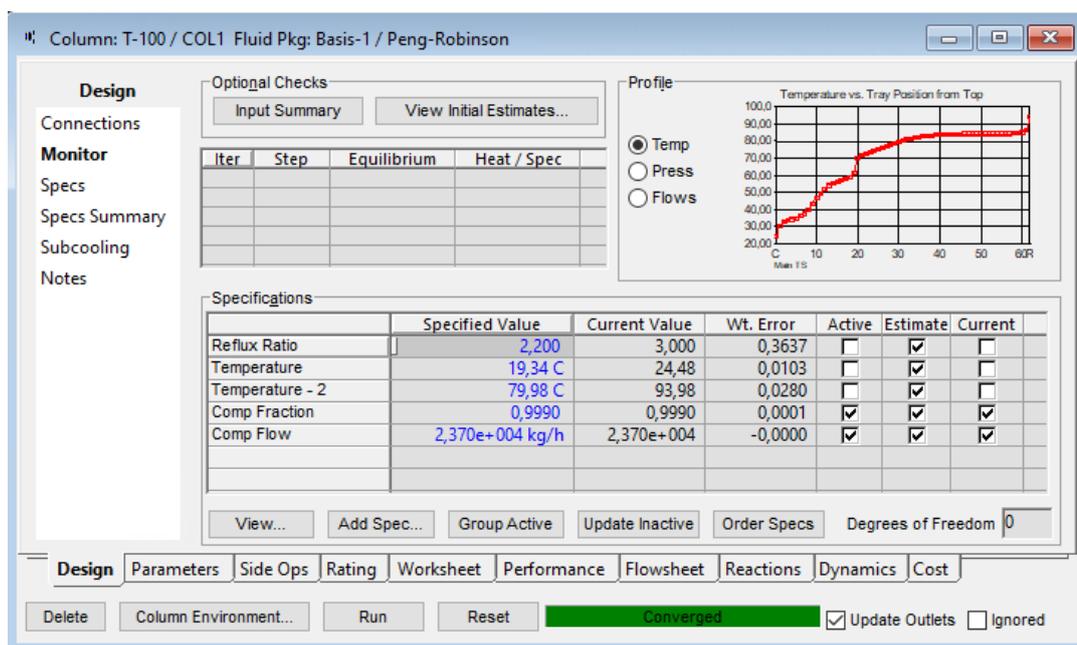


Рисунок 2.7 – Набор спецификаций Distillation Column

Полученный состав выходных потоков представлен во вкладке «Worksheet». Для добавления стриппинга переходим на вкладку «Side Ops» и вводим необходимые данные боковой колонны, как представлено на рисунке 2.8.

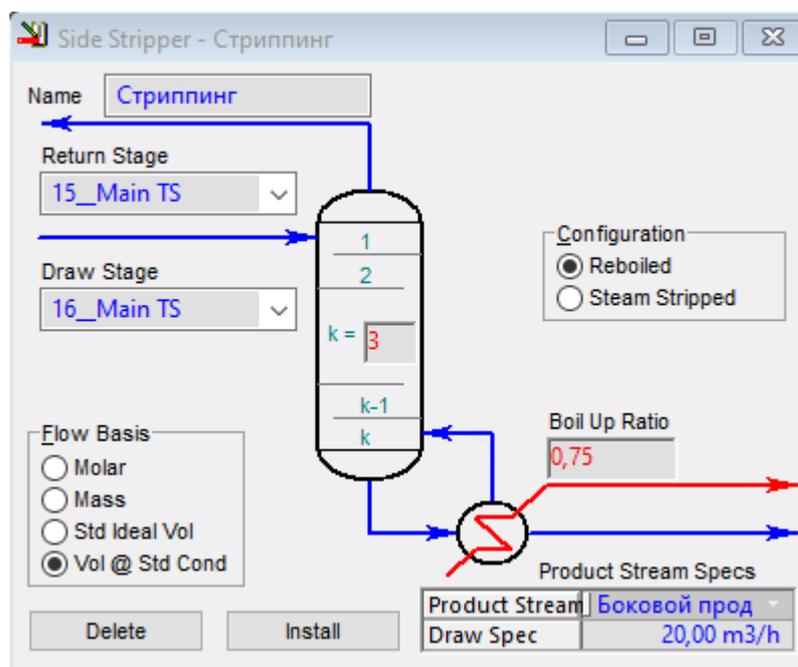


Рисунок 2.8 – Обязка стриппинга

При отсутствии данных компонентного состава сырья во вкладке «Oil Manager» вводим данные о разгонке сырья, как представлено на рисунке 2.9.

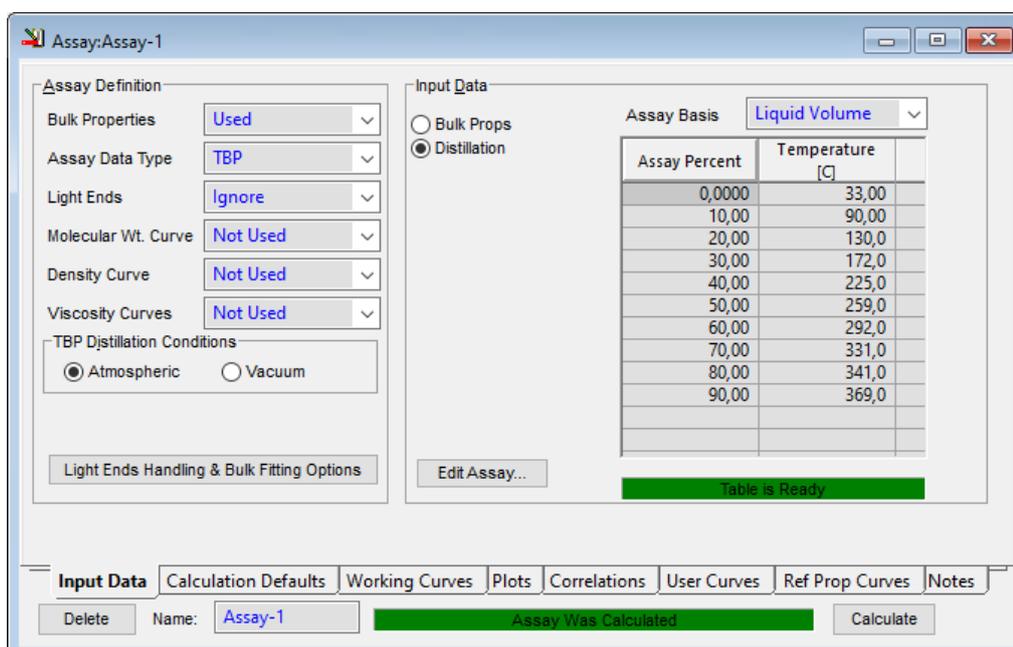


Рисунок 2.9 – Фракционный состав сырьевого потока

Во вкладке «Bulk Props» вводим данные о плотности и вязкости сырья, как представлено на рисунке 2.10.

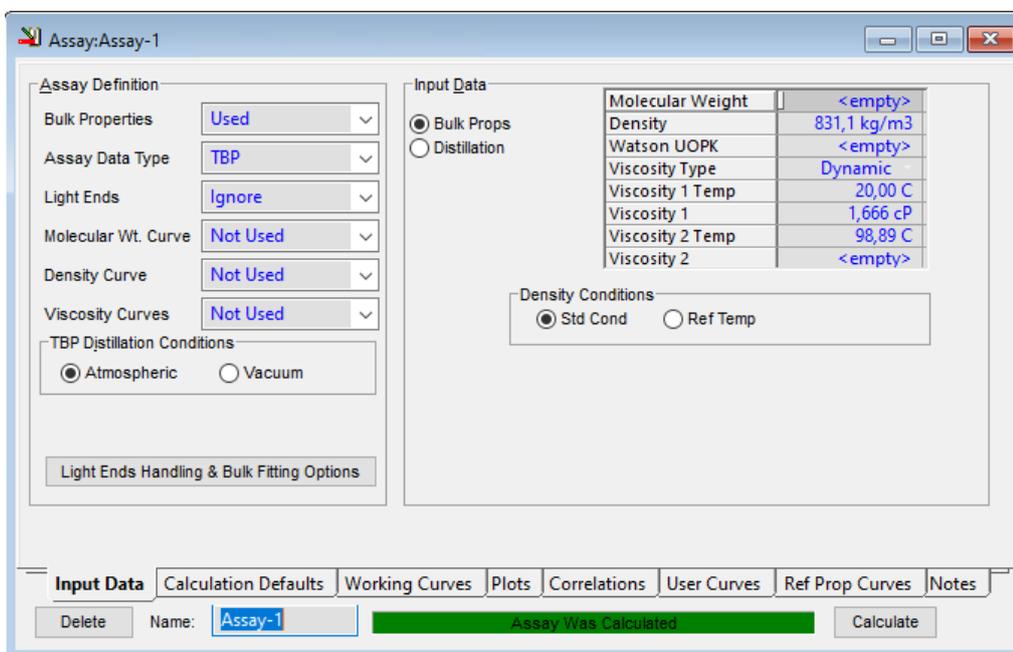


Рисунок 2.10 – Свойства сырьевого потока

2.4 Методики исследования продуктов переработки на цеолите

2.4.1 Хроматографический метод анализа образцов

Определение индивидуального и группового состава образцов СГК и продуктов их переработки на цеолитном катализаторе осуществлялось методом хроматографии на хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000» с кварцевой капиллярной колонкой 25 м × 0,22 мм, стационарная фаза – SE-54, газ-носитель – гелий, в соответствии с ГОСТ Р 52714-2018 «Бензины автомобильные. Определение индивидуального и группового углеводородного состава методом капиллярной газовой хроматографии» [13].

Газовая хроматография – метод разделения веществ, основанный на различном распределении компонентов исследуемого образца между двумя фазами (подвижной и неподвижной фазы). Подвижной фазой является газ-носитель, неподвижной – твердый адсорбент или жидкий, нанесенный на твердую поверхность (внутренние стенки колонки).

Сущность метода: исследуемый образец вводят в хроматограф с кварцевой капиллярной колонкой, на которую нанесена неподвижная фаза – SE-54 (фенил (5 %) – винил (1 %) – метилсиликоновый эластомер. Образец проходит через колонку под действием инертного газа-носителя – гелия и происходит его разделение, обусловленное различной сорбируемостью компонентов. При элюировании компонентов из колонки происходит их регистрация детектором, сигналы которого обрабатываются компьютерной системой. С помощью соответствующего компьютерного программного обеспечения проводится идентификация пиков компонентов.

2.4.2 Метод определения вязкости и плотности исследуемых образцов

Определение плотности и вязкости исследуемых образцов осуществлялось на аппарате вискозиметр Штабингера, в соответствии с

ASTM D7042-16 «Метод определения динамической вязкости и плотности жидкостей на вискозиметре Штабингера» [14]. Кинематическая вязкость определяется как отношение динамической вязкости к плотности, измеренных при той же температуре. Результаты по данному методу испытания применимы только для образцов, представляющих собой Ньютоновские жидкости.

Принцип действия вискозиметра Штабингера основан на измерении разницы скоростей вращения внешней трубки и ротора (рисунок 2.11).

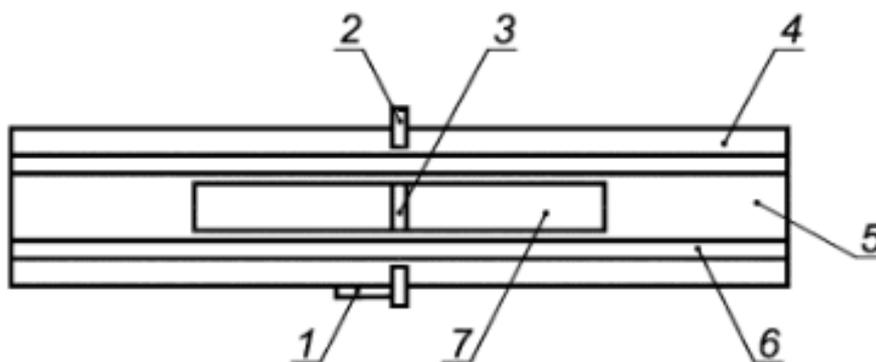


Рисунок 2.11 – Вискозиметрическая ячейка

1 – датчик на основе эффекта Холла; 2 – кольцо из мягкого железа; 3 – магнит;
4 – медный корпус; 5 – образец; 6 – трубка; 7 – ротор

Наружный цилиндр (6), заполненный исследуемым образцом (5), приводится электродвигателем во вращение с постоянной угловой скоростью. Внутренний цилиндр (ротор – поплавок) находится внутри жидкого образца, а внутри ротора – постоянный магнит (3). За счет постоянного магнита и кольца из мягкого железа (2) внутренний цилиндр удерживается в продольном положении. В случае отсутствия магнита, вращение внутреннего и внешнего цилиндра осуществлялось бы с одинаковой скоростью. Однако, в присутствии магнита, за счет разности скоростей вращения ротора и трубки, переменное магнитное поле приводит к появлению вихревых токов в медном корпусе (4). За счет этих токов происходит торможение цилиндрического ротора. Торможение ротора происходит с постоянной силой, и препятствует ему только вязкость исследуемого жидкого образца. Датчик Холла (1) путем определения частоты вращающегося магнитного поля определяет частоту вращения ротора.

Таким образом, динамическая вязкость образца определяется путем измерения разности скоростей вращения трубки и ротора. Важное преимущество данного метода определения вязкости заключается в отсутствии трущихся деталей.

Для измерения значения плотности образца осцилляционным методом в аппарате Штабингера предусмотрена отдельная ячейка.

2.4.3 Метод определения фракционного состава исследуемых образцов

Метод определения фракционного состава заключается в перегонке 100 см³ исследуемого образца с постоянным контролем показаний температуры и объема сконденсировавшейся жидкости, в соответствии с ГОСТ 2177-99 «Нефтепродукты. Метод определения фракционного состава» [15].

Основная аппаратура, материалы и реактивы (рисунок 2.12):

- колба для перегонки, изготовленная из термостойкого стекла;
- термометр;
- холодильник и охлаждающая баня;
- источник нагрева (электрическая плита);
- мерный цилиндр вместимостью 100 см³ и ценой деления 1 см³.

Перед проведением испытания охлаждающую баню заполняют водой, применяя циркуляцию, для сохранения необходимой температуры воды. Баню заполняют до такого уровня, чтобы трубка холодильника находилась в охлаждающей жидкости.

Переливать 100 см³ пробы в колбу необходимо таким образом, чтобы капли жидкости не попали в пароотводную трубку. Также в колбу добавляют небольшое количество мраморной крошки для равномерного нагрева продукта в колбе.

Ртутный шарик вставленного в колбу термометра должен находиться на уровне пароотводной трубки. После этого колбу с пробой закрепляют в вертикальном положении таким образом, чтобы пароотводная трубка плотно входила в трубку холодильника на достаточное расстояние.

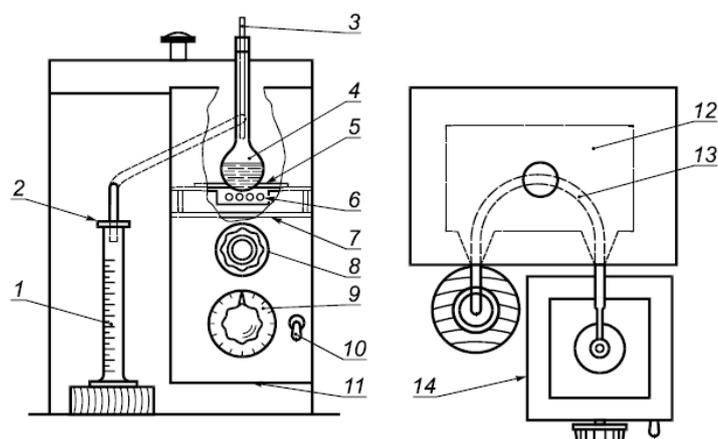


Рисунок 2.12 – Аппарат в сборе с электрическим нагревателем

- 1 – мерный цилиндр; 2 – фильтровальная бумага; 3 – термометр;
 4 – колба для перегонки; 5 – термостойкая прокладка для установки колбы;
 6 – электрический нагревательный элемент; 7 – подставка для установки колбы;
 8 – круглая ручка для установки колбы; 9 – шкала регулирования нагрева;
 10 – выключатель; 11 – открытый нижний кожух; 12 – охлаждающая баня;
 13 – трубка холодильника; 14 – кожух

Нагревание колбы осуществляется электронагревателем, нагрев регулируется таким образом, чтобы время от начала нагревания до выпадения первой капли конденсата соответствовало 5-15 минутам. Мерный цилиндр для отбора конденсата должен стоять таким образом, чтобы кончик трубки холодильника касался его внутренней стенки, т.е. так, чтобы конденсат стекал по стенке цилиндра.

От начала кипения до окончания эксперимента фиксируются следующие данные: показания термометра при указанном проценте отгона.

Если при перегонке температура поднимается выше 370 °С, то нагревание прекращают, отмечают температуру конца перегонки. Если в колбе осталось некоторое количество жидкости, то этот объем образца засчитывают как остаток.

2.4.4 Метод определения содержания серы в исследуемых образцах

Определение содержания серы производилось с использованием анализатора рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного

«Спектроскан S». Данный прибор предназначен для определения массовой доли серы в нефтепродуктах в соответствии с ГОСТ Р 51947-2002 «Нефть и нефтепродукты. Определение серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектрометрии» [16].

2.4.5 Метод определения низкотемпературных свойств исследуемых образцов

Определение температуры помутнения и застывания осуществлялось с использованием жидкостного низкотемпературного термостата КРИО-Т-05-01 (рисунок 2.13) в соответствии с ГОСТ 5066-2018 «Топлива моторные. Методы определения температур помутнения, начала кристаллизации и замерзания» [17].



Рисунок 2.13 – Криостат жидкостный температурный КРИО-Т-05-01

Определение предельной температуры фильтруемости осуществлялось в термостате жидкостном низкотемпературном КРИО-Т-05-01 с помощью установки определения ПТФ на холодном фильтре (рисунок 2.14) в соответствии с ГОСТ 22254-92 «Топливо дизельное. Метод определения предельной температуры фильтруемости на холодном фильтре» [18].



Рисунок 2.14 – Установка для определения ПТФ

2.4.6 Метод расчета октанового числа исследуемых образцов

Расчет октанового числа исследуемых образцов осуществлялся с использованием программы «Compounding», рабочее окно которой представлено на рисунке 2.15.



Рисунок 2.15 – Рабочее окно программы «Compounding»

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Перспективность научного исследования определяется коммерческой ценностью разработки, что является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

В настоящее время в связи с ростом спроса на нефтепродукты высокого качества и ужесточением экологических требований к высокооктановым бензинам, особое внимание уделяется совершенствованию технологий по переработки легкого углеводородного сырья и разработке более эффективных многокомпонентных систем, обеспечивающих получение моторных топлив оптимального состава. К таким процессам можно отнести цеоформинг – процесс переработки легкого углеводородного сырья на цеолитсодержащих катализаторах.

Цель исследования состоит в разработке аппаратурном оформлении процесса цеоформинга. Исследование имеет достаточно высокий коммерческий потенциал и является ресурсосберегающей технологией.

Поэтому целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является обоснование целесообразности разработки модели процесса, которая будет отвечать требованиям ресурсоэффективности.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- организовать работы по научному исследованию;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;

– произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

5.1 Предпроектный анализ

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Основными сегментами рынка являются нефтеперерабатывающие предприятия, находящиеся в районах крайнего севера.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б _{ф1}	Б _{к1}	Б _{к2}	К _{ф1}	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда пользователя	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
Удобство в эксплуатации	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
Помехоустойчивость	0,03	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Энергоэкономичность	0,07	5	3	3	0,25	0,15	0,15
Надежность	0,07	4	5	5	0,2	0,25	0,25
Уровень шума	0,03	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Безопасность	0,07	4	4	3	0,2	0,2	0,15
Потребность в ресурсах печати	0,03	3	3	3	0,15	0,15	0,15
Функциональная мощность	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
Простота эксплуатация	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,2
Качество интеллектуального интерфейса	0,04	3	3	3	0,15	0,15	0,15
Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,05	3	3	3	0,15	0,15	0,15

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,06	4	3	4	0,2	0,15	0,2
Уровень проникновения на рынок	0,04	3	4	5	0,15	0,2	0,25
Цена	0,06	5	3	4	0,25	0,15	0,2
Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	4	4	3	0,2	0,2	0,15
Послепродажное обслуживание	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Финансирование научной разработки	0,06	3	4	3	0,15	0,2	0,15
Срок выхода на рынок	0,03	3	4	4	0,15	0,2	0,2
Наличие сертификации разработки	0,05	3	3	3	0,15	0,15	0,15
Итого:	1,00	76	71	73	3,80	3,55	3,65

Согласно оценочной карте для сравнения конкурентных технических решений, продукт является достаточно конкурентоспособным. К конкурентным преимуществам можно отнести цену, энергоэкономичность и простоту в эксплуатации. К основным недостаткам можно отнести уровень проникновения на рынок и срок выхода продукта на рынок.

5.1.3 SWOT-анализ

SWOT – 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.

Таблица 5.2 – Матрица SWOT

	Сильные стороны исследовательского проекта: С1. Простота применения. С2. Актуальность исследования для нефтеперерабатывающей промышленности. С3. Более низкие эксплуатационные расходы и капитальные вложения по сравнению с другими технологиями.	Слабые стороны исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки. Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца. Сл3. Отсутствие бюджетного финансирования.
Возможности: В1. Использование модели инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Появление потенциального спроса на новые разработки. В3. Уменьшение значимости или достоинства конкурентных разработок.	Простота применения и адекватность модели может вызвать спрос на нее. Кроме того, унифицированность и адекватность разработки может увеличить конкурентоспособность разработки. Низкие затраты проекта могут привлечь больше сотрудников и исполнителей.	При снижении конкурентоспособности подобных разработок и при появлении спроса на новые может появиться возможность использования данной НИР в компаниях уже использующих подобные методы переработки, для совершенствования технологий.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии. У2. Значительная конкуренция. У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.	1. Продвижение программы с целью создания спроса. 2. Создание конкурентных преимуществ готового продукта. 3. Сертификация стандартизация продукта.	с1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. 2. Развитая конкуренция технологий производства. и 3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения эксперимента.

Реализация второго этапа состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствия или несоответствия должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Результаты второго этапа представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Интерактивная матрица проекта

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

В рамках второго этапа построили интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT.

В случае, когда две возможности сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об их единой природе. В этом случае, возможности описываются следующим образом: B2B3C1C2.

В рамках третьего этапа была составлена итоговая матрица SWOT – анализа, которая приведена в таблице. Результаты третьего этапа представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – SWOT – анализ

	Сильные стороны исследовательского проекта: С1. Простота применения. С2. Актуальность исследования для нефтеперерабатывающей промышленности. С3. Более низкие эксплуатационные расходы и капитальные вложения по сравнению с другими технологиями.	Слабые стороны исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки. Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца. Сл3. Отсутствие бюджетного финансирования.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Появление потенциального спроса на новые разработки. В3. Уменьшение значимости или достоинства конкурентных разработок.	Простота применения, адекватность модели, актуальность исследования для предприятий увеличит спрос и конкурентоспособность НИР (В2В3С1). При подключении в работу новых разработок уменьшаются расходы и капитальные вложения.	Помощь в финансировании проекта и его сертификации могут оказать инновационные инфраструктуры (В1Сл3). Необходимо снизить конкурентоспособность подобных разработок и расширить использование данной НИР во многих компаниях (В2В3Сл1Сл2).
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии. У2. Значительная конкуренция. У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.	Актуальность исследования, простота и адекватность математической модели позволяют повысить спрос и конкуренцию разработки, что уменьшает влияние финансирования (С1С2У1У2У3).	Отсутствие прототипа, сертификации научной разработки, невозможность использования в компаниях с традиционными методами обработки нефти приведет к отсутствию спроса и отсутствию конкуренции проекта (У1У2Сл1Сл2).

Результаты SWOT – анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках исследовательского проекта.

5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

В данном разделе была оценена степень готовности научной разработки к коммерциализации и определен уровень собственных знаний для ее проведения. Для этого была составлена таблица, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	2
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	3
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	2
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	3
15	Проработан механизм реализации научного проекта	3	3
	Итого баллов	54	47

Поскольку значение получилось от 47 до 54, то перспективность проекта можно считать выше средней. Для увеличения уровня перспективности необходимо, в первую очередь, проработать вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок, а также вопросы

использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот, для этого возможно необходимо привлечь сторонних специалистов.

5.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Задачей данного раздела магистерской диссертации является выбор метода коммерциализации научной разработки.

Для разработанной модели превращений углеводов на цеолитных катализаторах методом коммерциализации был выбран инжиниринг.

Инжиниринг – это оказание широкого спектра инженерно-консультационных услуг, предоставляемого инжиниринговой компанией на основании заключенного контракта.

Инжиниринг выделяют как самостоятельный вид коммерческих операций, который предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной (консультант), другой стороне (заказчику), комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.

Поскольку темпы развития мирового рынка инжиниринговых услуг впечатляют, а спектр инжиниринговых услуг постоянно расширяется, представляется целесообразным выбрать данный метод коммерциализации.

5.2 Инициация проекта

Целью данного проекта является аппаратное оформление установки каталитического цеоформинга.

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание

и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта (таблица 5.6), которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

Таблица 5.6 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Научное объединение направления (студенты, магистранты, аспиранты, преподаватели)	Освоение принципиально новой (для научной группы) области исследования; Коммерческое продвижение проекта; Развитие и укрепление связей с отраслью промышленности (производственные компании, заводы) в области совместных научных разработок.
Представители нефтеперерабатывающие отрасли (компании, заводы)	Применение научного проекта с целью оптимизации, энерго- и ресурсосбережения действующего производства.
Университет, к которому относится научное объединение	Продвижение статуса учебного заведения, повышение научного престижа.
Научные объединения сторонние (конкурирующие)	Опасения в связи с появлением конкурентоспособного проекта.

В таблице 5.7 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 5.7 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Разработка аппаратного оформления процесса цеоформинг для переработки углеводородного сырья на цеолитных катализаторах.
Ожидаемые результаты проекта:	Получение результатов по работе с аппаратным оформлением.
Критерии приемки результата проекта:	Адекватность полученных результатов. Универсальность.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Максимальное соответствие критериям приемки результата проекта.

Организационная структура проекта отражает состав рабочей группы, роль каждого участника, функции и трудозатраты в проекте (таблица 5.8).

Таблица 5.8 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, час
1	Киргина М.В. Доцент ОХИ ИШПР	Руководитель проекта	Разработка линейного графика выполнения работ. Консультирование, контроль выполнения индивидуального плана магистерской диссертации.	600
2	Багдасарян Н.С. магистрант ОХИ ИШПР	Исполнитель по проекту	Сбор и анализ литературных данных, составление и организация этапов текущей работы, выполнение научной работы.	1600
ИТОГО:				2200

Ограничения и допущения проекта представлены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	705582 рублей
Источник финансирования	НИ ТПУ
Сроки проекта	01.09.2021-31.05.2022
Дата утверждения плана управления проектом	01.09.2021
Дата завершения проекта	31.05.2022

5.3 Планирование управления научно-техническим проектом

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

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

5.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта (рисунок 5.1).

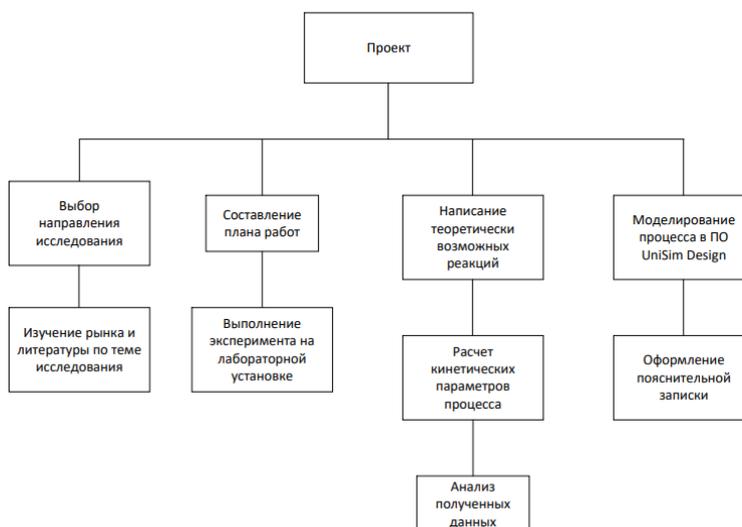


Рисунок 5.1 – Иерархическая структура проекта

5.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта построены календарный график проекта (таблицы 5.10 и 5.11).

Таблица 5.10 – Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Участники
1	2	3	4	5
Утверждение темы магистерской диссертации	15	01.09.21	15.09.21	Руководитель
Согласование плана работ	15	15.09.21	30.09.21	Руководитель
Изучение литературы	31	01.10.21	31.10.21	Магистрант
Проведение эксперимента на лабораторной установке	60	01.11.21	31.12.21	Руководитель
				Магистрант
Аппаратурное оформление процесса	58	01.01.22	28.02.22	Магистрант
Обсуждение результатов и выводов по проделанной работе	31	01.03.22	31.03.22	Магистрант

Продолжение таблицы 5.10

1	2	3	4	5
Оценка эффективности производства и применения проектируемого процесса	15	01.04.22	30.04.22	Магистрант
				Консультант ЭЧ
Разработка раздела по социально ответственности	15	01.04.22	30.04.22	Магистрант
				Консультант СО
Оформление ВКР	30	01.05.22	30.05.22	Магистрант
Итого	270			

Таблица 5.11 – Календарный план график проведения магистерской диссертации

Вид работ	Т.к., кал. дней	Продолжительность выполнения работ								
		сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май
Утверждение темы магистерской диссертации	15	■								
Согласование плана работ	15	■								
Изучение литературы	31		■							
Проведение эксперимента на лабораторной установке	60			■	■					
Аппаратурно оформление процесса	58					■	■			
Обсуждение результатов и выводов по проделанной работе	31							■		
Оценка эффективности производства и применения проектируемого процесса	15								■	
Разработка раздела по социально ответственности	15								■	
Оформление ВКР	30									■

Руководитель	Магистрант	Консультант ЭЧ	Консультант СО
■	■	■	■

5.4 Бюджет научного исследования

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

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

В статью затрат на сырье и материалы включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме (таблица 5.12).

Таблица 5.12 – Расчет затрат по статье «Сырье и материалы»

Наименование	Количество, шт.	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Баллон СО	1	22000	22000
Баллон N ₂	1	2900	2900
Баллон Не	1	4000	4000
Бутылка стекло, 1л СГК	3	400	1200
Бутылка стекло, 1л Дизель	3	600	1800
Тетрадь, 96 листов	2	80	160
Бумага, формат А4	1	200	200
Ручка шариковая	10	25	250
Всего за материалы		32510	
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			1626
Итого по статье			34136

В статью затрат на специальное оборудование для научных работ включаются затраты на приобретение специального оборудования, необходимого для проведения работ по научно-исследовательской теме (таблица 5.13).

Таблица 5.13 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

Наименование	Кол-во, шт.	Цена за ед., руб.	Срок эксплуатации оборудования, год	Срок использования, день	Амортизация оборудования, руб.	Сумма
Каталитическая установка «САТАСОН»	1	2880000	6	12	2880000	15781
Хроматограф «ХроматэкКристалл-5000»	1	1107500	6	12	1107500	6068
Компьютер	1	26500	3	365	26500	8833
Программное обеспечение Microsoft Office	1	5990,0	–	–	–	5990,0
Итого по статье						36672

Расчет амортизации оборудования производился по формуле:

$$\text{Амортизация} = \frac{\text{Цена ед. оборудования} \cdot \text{Срок использования}}{\text{Срок эксплуатации} \cdot 365} \quad (5.1)$$

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (5.2)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (5.3)$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

В таблице 5.14 приведен баланс рабочего времени каждого работника научно-технического исследования.

Таблица 5.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	118	118
Потери рабочего времени		
– отпуск	24	24
– невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	223

Месячный должностной оклад работника определяем по формуле:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (5.4)$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент (определяется Положением об оплате труда);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок;

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

Согласно информации сайта Томского политехнического университета, должностной оклад (ППС) доцента кандидата наук с 2020 года без учета РК составляет 33664 руб., а руководитель работает на 0,5 ставки, то оклад равен 16832.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 5.15.

Таблица 5.15 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	T _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	16832	1	0,02	1,3	22319	1121	223	249983
Магистрант	1923	–	–	1,3	2500	126	223	28098

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

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

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (5.5)$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 5.16 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 5.16 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	249983	28098
Дополнительная зарплата	24998	2810
Итого по статье С _{зп}	274981	30908

В статью *отчислений на социальные нужды* включает в себя отчисления во внебюджетные фонды и рассчитывает по формуле:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot C_{\text{зп}}, \quad (5.6)$$

$k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчисления 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%. На основании пункта 1 ст. 58 закона № 212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году, водится пониженная ставка – 27,1%. Стипендиальные выплаты студентам, магистрам и аспирантам не облагаются налогом.

Отчисления на социальные нужды составляют:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 274981 = 82494 \text{ рублей.}$$

В статью *оплаты работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями*, относится также использование Internet. Величина этих расходов определялась по договорным условиям и составляет 1560 руб.

Накладные расходы составляют 80 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении исследования.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (5.7)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов, равный 0,8.

Накладные расходы составляют:

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot (278081 + 27808) = 244711 \text{ рублей.}$$

Таким образом, затраты проекта составляет 705582, которые приведены в таблице 5.17.

Таблица 5.17 – Затраты научно-исследовательской работы

Вид исследования								
	Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных работ	Основная заработная плата	Доп. заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
Данное исследование	34136	36672	278081	27808	82494	1620	244771	705582
Аналог	34136	10036672	278081	27808	82494	1620	244771	10705582

5.4.1 Организационная структура проекта

Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 5.2.

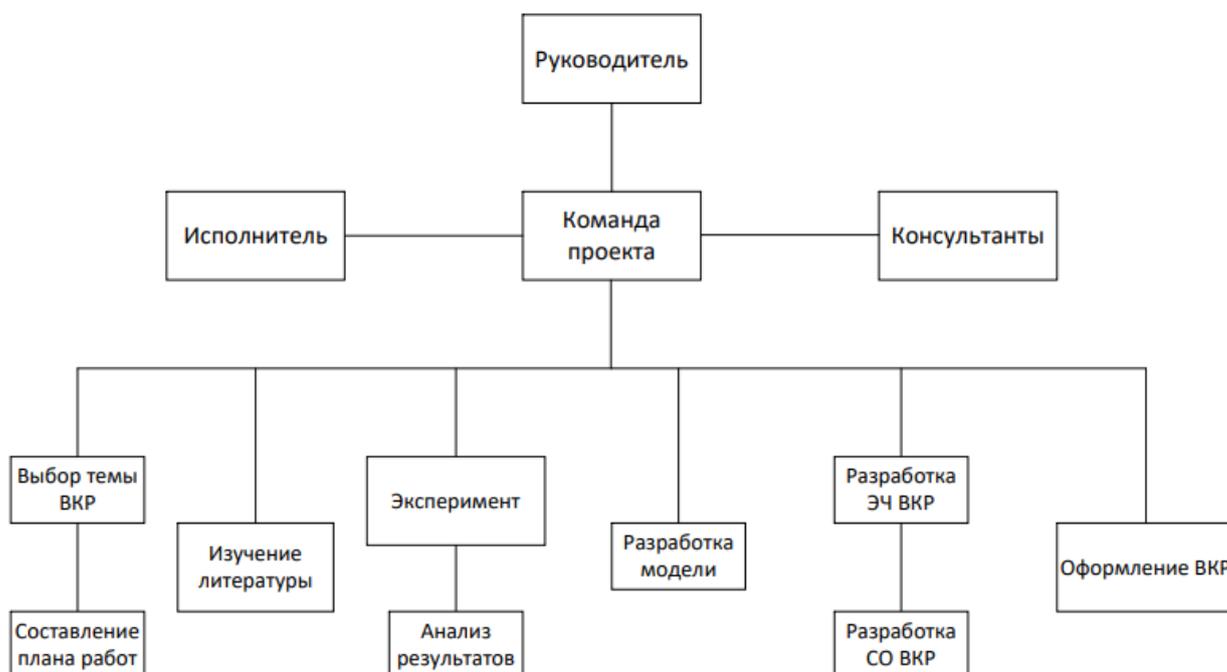


Рисунок 5.2 – Проектная структура проекта

5.4.2 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 5.18).

Таблица 5.18 – План управления коммуникациями

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

5.4.3 Реестр рисков проекта

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 5.19.

Таблица 5.19 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Неточность метода анализа	2	3	Ниже среднего	Проведение повторных анализов	Низкая точность метода анализа
2	Погрешность расчетов	2	2	Ниже среднего	Проведение повторных расчетов	Невнимательность
3	Отсутствие интереса к результатам исследования	1	3	Низкий	Финансовая мотивация со стороны организации	Отсутствие результатов исследования
4	Некачественное сырье и материалы	1	3	Низкий	Покупка сырья и материалов у проверенных поставщиков	Экономия финансов на сырье и материалы
5	Разрыв интернет-соединения	1	2	Низкий	Наличие резервного источника интернета	Выбор неквалифицированного интернет-провайдера

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

5.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска.

Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

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

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

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{оп_t}}{(1+i)^t} - I_0, \quad (5.8)$$

где ЧДП_{оп_t} – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t= 0, 1, 2 \dots n$);

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

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

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 5.20.

При расчете рентабельность проекта составляла 20 %, амортизационные отчисления 10 %.

Таблица 5.20 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6	7
1	Выручка от реализации, руб.	0	1058373	1058373	1058373	1058373
2	Итого приток, руб.	0	1058373	1058373	1058373	1058373
3	Инвестиционные издержки, руб.	-705582	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб.	0	246954	246954	246954	246954
5	Налогооблагаемая прибыль, руб.	0	811419	811419	811419	811419
6	Налоги 20 %, руб.	0	162284	162284	162284	162284
7	Чистая прибыль, руб.	0	649135	649135	649135	649135

Продолжение таблицы 5.20

1	2	3	4	5	6	7
8	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.	-705582	719694	719694	719694	719694
9	Коэффициент дисконтирования при $i=20\%$ (КД)	1,000	0,833	0,694	0,579	0,482
10	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.	-705582	599745	499787	416489	347074
11	\sum ЧДД	1863096				
12	Итого NPV, руб.	1157514				

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}, \quad (5.9)$$

где: i – ставка дисконтирования, 20 %;

t – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 1157514 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1 + i)^t} / I_0 > 1, \quad (5.10)$$

где: ЧДД – чистый денежный поток, руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{1863096}{705582} = 2,64$$

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

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или =0. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 5.21 и на рисунке 5.3.

Таблица 5.21 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV
1	Чистые денежные потоки, руб.	-705582	719694	719694	719694	719694	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,35	
	0,4	1	0,714	0,51	0,364	0,26	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,39	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,5	0,25	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	0,1	-705582	654202	594467	540490	491551	1575127
	0,2	-705582	599505	499467	415983	346892	1156265
	0,3	-705582	553444	426059	327461	251893	853274
	0,4	-705582	513861	367044	261968	187120	624412
	0,5	-705582	480036	319544	212310	142499	448807
	0,6	-705582	449809	280681	175605	110113	310625
	0,7	-705582	423180	241097	146098	80606	185399
	0,8	-705582	400150	222385	123068	68371	108392
	0,9	-705582	378559	199355	105075	55416	32824
	1	-705582	359847	179923	89962	44621	-31229

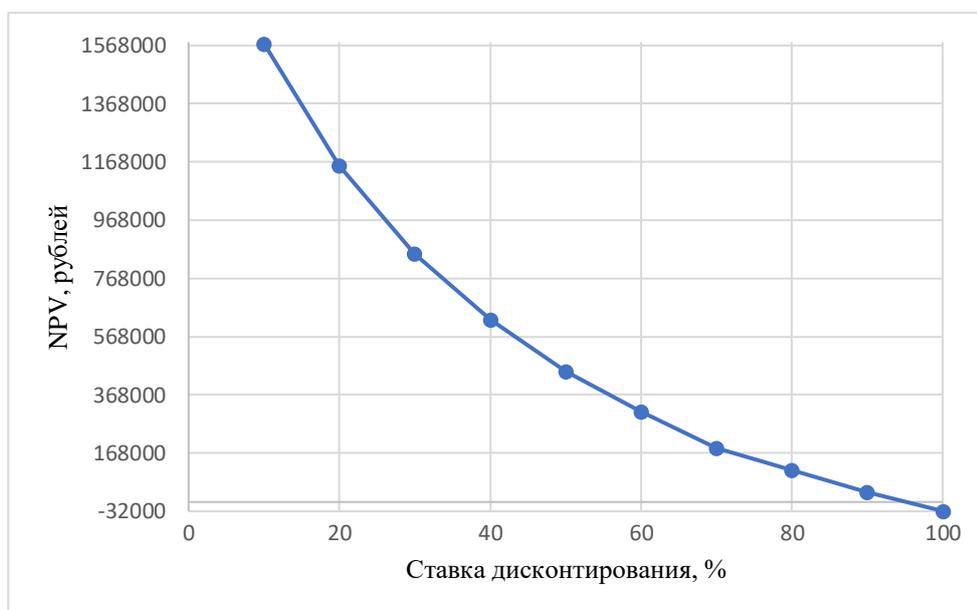


Рисунок 5.3 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,95.

$IRR > i$, проект эффективен.

Запас экономической прочности проекта: $95\% - 20\% = 75\%$.

Дисконтированный срок окупаемости. Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 5.22).

Таблица 5.22 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$), руб.	-705582	599505	499467	415983	346892
2	То же нарастающим итогом, руб.	-705582	-106077	393390	809373	1156265
3	Дисконтированный срок окупаемости	$DRR_{дск} = 1 + (106077/499467) = 1,21$ года				

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты (таблица 5.23).

Таблица 5.23 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Выброс парниковых газов, в результате сжигания СГК на факелах	Рациональное использование природных ресурсов, производство моторных топлив в Северных районах страны
Зависимость компаний и частных лиц от монополии нефтегазовых компаний.	Как и другие альтернативные источники энергии, цеоформинг снижает зависимость компаний и частных лиц от монополии нефтегазовых компаний, т.е. создает конкуренцию

5.5.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу

расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (5.11)$$

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

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

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

При расчетах получаем:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}p} = \frac{705582}{10705582} = 0,07$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}A1} = \frac{10705582}{10705582} = 1,00$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (5.12)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (таблица 5.24).

Таблица 5.24 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1
Удобство в эксплуатации	0,15	5	3
Надежность	0,25	4	5
Безопасность	0,2	4	5
Простота эксплуатации	0,25	5	4
Возможность автоматизации данных	0,15	4	4
Итого	1,00	4,40	4,30

$$I_m^p = 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 4,40$$

$$I_1^A = 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 4,30$$

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

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p}; I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a} \quad 5.13)$$

Таким образом, проведем расчет:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} = \frac{4,40}{0,07} = 62,86$$

$$I_{финр}^{a.1} = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a} = \frac{4,30}{1,00} = 4,30$$

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

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} \quad 5.14)$$

где: $\mathcal{E}_{ср}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{финр}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{финр}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 5.25.

Таблица 5.25 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,07	1,00
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,40	4,30
3	Интегральный показатель эффективности	62,86	4,30
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	14,61	1,00

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 1157514 руб.; индекс доходности $PI = 2,64$, внутренняя ставка доходности $IRR = 95 \%$, срок окупаемости $PP_{дск} = 1,21$ года.

Таким образом мы имеем ресурсоэффективный проект с высоким запасом финансовой прочности и коротким сроком окупаемости.

6 Социальная ответственность

Объектом исследования данной работы является установка цеоформинга углеводородного сырья.

Цеоформинг обеспечивает повышение детонационной стойкости бензина, при этом, в отличие от каталитического риформинга, становится возможным отказаться от дорогостоящего платинового катализатора и циркуляции водородсодержащего газа.

Цель работы: разработка аппаратного оформления переработки на цеолитном катализаторе стабильных газовых конденсатов и прямогонных дизельных фракций с целью получения компонентов моторных топлив.

Область применения – нефтеперерабатывающая промышленность.

Данная дипломная работа выполнялась в аудитории 133, расположенной на первом этаже учебного корпуса номер 2 Томского политехнического университета. Аудитория 133 оборудована 12 ЭВМ. Экспериментальная часть бакалаврской работы осуществлялась на персональном компьютере. Рабочая зона представляет собой аудиторию, оборудованную системами отопления и кондиционирования воздуха. Освещение рабочего места комбинированное – сочетание естественного света из окон и искусственного.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Высшей силой и основой правового законодательства по охране труда является Конституция РФ. Трудовой Кодекс РФ содержит основные требования, направленные на урегулирование и создание безопасных условий труда. В трудовом кодексе РФ содержатся основные положения отношений между организацией и сотрудниками, включая оплату и нормирование труда, выходных, отпуска и так далее.

Согласно данному Кодексу, каждый работник имеет право на [26]:

– обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счёт работодателя [Статья 221];

– повышенную оплату труда работников, занятых на работах с вредными условиями труда в соответствии с Федеральным законом (4 % тарифной ставки) [Статья 147];

– сокращение продолжительности рабочего времени для работников, условия труда на рабочих местах, которых по результатам специальной оценки условий труда отнесены к вредным условиям труда 3 или 4 степени, или опасным условиям труда – не более 36 часов в неделю [Статья 92];

– предварительные и периодические медицинские осмотры [Статья 213];

– установления работникам гарантий и компенсаций [Статья 57];

– ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск [Статья 117];

– защиту персональных данных [Статья 86].

Данная дипломная работа выполнялась изначально в химической лаборатории инженерной школы природных ресурсов отделения химической инженерии.

Основы безопасной работы в химической лаборатории регламентированы ПНД Ф 12.13.1-03 «Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения)» и включает в себя как общие положения, так и список требований и рекомендаций по следующим аспектам: правила пожарной и электробезопасности, правила хранения и безопасного обращения с химическими реактивами, а также способы оказания первой помощи при несчастных случаях.

Лаборатория обеспечена вентиляцией, водоснабжением и канализацией, вытяжными шкафами. Проведение всевозможных испытаний с использованием химических реактивов нуждается в регулярном контроле над безопасностью

персонала. Одним из его составляющих является вытяжной шкаф, способствующий удалению ядовитых продуктов, образовавшихся в результате химических реакций. Полы выполнены из негорючей и не впитывающей жидкости плитки. Столы имеют гладкие поверхности из материалов, мало сорбирующих вредные вещества, и легко поддаются очистке. Работа с вредными и легколетучими веществами производится в вытяжных шкафах, обеспечивающих изоляцию работающих от опасной среды. Помещение хорошо освещено в светлое время суток, а при недостатке освещения используется искусственное освещение.

Персонал допускается к работе только в спецодежде и средствах индивидуальной защиты. На рабочем месте должны быть запасы сырья и материалов, не превышающие сменную потребность. Необходимо знать специфические свойства применяемых веществ и соблюдать установленные правила работы с ними. Производственный процесс должен быть организован так, чтобы не допускать выделения в воздух производственного помещения пыли и вредных веществ.

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.

Затем анализ полученных данных осуществлялся на персональном компьютере в аудитории 133, расположенной на первом этаже учебного корпуса номер два Томского политехнического университета. Аудитория 133 оборудована 12 ЭВМ. Рабочая зона представляет собой аудиторию, оборудованную системами отопления и кондиционирования воздуха. Освещение рабочего места комбинированное – сочетание естественного света из окон и искусственного.

Правильная организация рабочего места за компьютером прямо сказывается на производительности труда [27]. Помещение должно быть просторным, хорошо проветриваемым и в меру светлым. Яркий солнечный свет порождает блики на мониторе, поэтому нужно предусмотреть жалюзи. Помещение в целом и рабочее место должны быть освещены достаточно и равномерно.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Уровень глаз при вертикально расположенном экране должен приходиться на центр или $2/3$ высоты экрана. Линия взора должна быть перпендикулярна центру экрана и оптимальное её отклонение от перпендикуляра, проходящего через центр экрана в вертикальной плоскости, не должно превышать 5 градусов, допустимое 10 градусов. Рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20 градусов.

6.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих вероятность воздействия на работающих опасных травмирующих производственных факторов, возникающих в рабочей зоне в процессе трудовой деятельности.

Необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при разработке и эксплуатации разработки аппаратного оформления процесса цеоформинга.

Для идентификации потенциальных факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы.

Классификация» [28]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлены в Таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте

Факторы	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [29].
Зрительное перенапряжение	+	+	+	ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 2. Дисплеи. [30].
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. [31].
Повышенный уровень шума	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [32].
Стрессовое состояние	+	+	+	МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [33].
Статические физические перегрузки	+	+	+	ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования [34].
Пожарная безопасность	+	+	+	Федеральный закон от 22.07.2013г. №123-ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [35].

6.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов

6.3.1 Отклонение показателей микроклимата

Требования к микроклимату производственных помещений предназначены для предотвращения неблагоприятного воздействия микроклимата рабочих мест, производственных помещений на самочувствие, функциональное состояние, работоспособность и здоровье человека.

Показателями, характеризующими микроклимат, являются:

- температура воздуха
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения, согласно [29].

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочем месте для помещений данных категорий приведены в Таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Оптимальная температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Оптимальная скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	40-60	0,1
	Iб (140-174)	21-23	40-60	0,1
Теплый	Ia (до 139)	23-25	40-60	0,1
	Iб (140-174)	22-24	40-60	0,2

Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно – эмоциональным напряжением (за персональным компьютером, на посту управления технологическим процессом и др.).

6.3.2 Зрительное перенапряжение

Настоящий стандарт [30] устанавливает руководящие принципы выбора конструкции и мест расположения дисплеев, отображающих информацию.

Применение настоящего стандарта способствует снижению эргономических опасностей, связанных с использованием дисплея. Настоящий стандарт устанавливает эргономические требования к видеодисплеям, а также к акустическим и тактильным устройствам отображения информации и воспроизведения сигналов (дисплеям).

Для предупреждения перенапряжения зрительных анализаторов, преждевременной утомляемости, пользователям ПЭВМ рекомендуется организовывать перерывы, во время которых следует выполнять специальную гимнастику для глаз.

На рабочих местах с пассивными (несветоизлучающими) дисплеями освещенность должна быть не менее 200 лк. Там, где такую освещенность обеспечить невозможно, должны быть приняты компенсирующие меры, например, укрупнение символов выводимой информации, обеспечение локального освещения или автоподсветки (светоизлучающие дисплеи). Темные участки с высокой контрастностью или отражением нарушают восприятие и должны быть исключены. Комнатное освещение, которое может вызвать отражения в дисплее, должно быть установлено под другим углом с учетом типичных направлений просмотра. К компенсирующим мерам относится также изменение наклона дисплея или применение светонепрозрачных поверхностей. Должны быть выбраны источники освещения, которые обеспечивают выделение цветных элементов отображения на окружающем фоне.

6.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещенность – важнейший параметр на рабочем месте студента, обеспечивающий комфортные условия, повышенную эффективность и безопасность труда, снижает утомление, сохраняет высокую работоспособность.

В соответствии с СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [31] освещение должно обеспечить: санитарные нормы

освещенности на рабочих местах, равномерную яркость в поле зрения, отсутствие резких теней и блескости, постоянство освещённости по времени и правильность направления светового потока. Освещенность на рабочих местах и в производственных помещениях должна контролироваться не реже одного раза в год.

6.3.4 Повышенный уровень шума

Повышенный шум на рабочем месте оказывает вредное влияние на организм работника в целом, вызывая неблагоприятные изменения в его органах и системах. Длительное воздействие такого шума способно привести к развитию у работника потери слуха, увеличению риска артериальной гипертензии, болезней сердечно-сосудистой, нервной системы и др. При этом специфическим клиническим проявлением вредного действия шума является стойкое нарушение слуха (тугоухость), рассматриваемое как профессиональное заболевание.

Внезапные шумы высокой интенсивности, даже кратковременные (взрывы, удары и т.п.), могут вызвать как острые нейросенсорные эффекты (головокружение, звон в ушах, снижение слуха), так и физические повреждения (разрыв барабанной перепонки с кровотечением, поражения среднего уха и улитки) [32].

Шум на рабочем месте пользователя ПК создаётся вентиляционной системой ПЭВМ, печатающим устройством, неотрегулированными источниками люминесцентного освещения, вентиляторами местного охлаждения, различными электромеханическими устройствами и т.п. Уровень шума исправного современного компьютера должен находиться в пределах от 35 до 50 дБА.

6.3.5 Стрессовое состояние

Основными обуславливающими развитие стрессового состояния трудовыми нагрузками являются:

– при умственной нагрузке – длительный и ненормированный рабочий день, работа в состоянии дефицита времени, длительность сосредоточенного внимания, плотность сигналов и сообщений в единицу времени, высокая степень сложности задания, выраженная ответственность,

– при зрительной нагрузке – высокая точность выполняемой работы, необходимость высокой координации сенсорных и моторных элементов зрительной системы, т.е. координации зрения с системой органов движения, время работы с оптическими приборами и время работы непосредственно с экраном видеодисплейных терминалов и персональных компьютеров [33].

Характерными особенностями трудовой деятельности за персональным компьютером являются недостаточный уровень общей двигательной активности (гипокинезия) и пребывание в физиологически нерациональных рабочих позах (неудобная, фиксированная, вынужденная).

Рекомендуется в утреннее рабочее время предусматривать включение в режим рабочего дня 2-х перерывов и микропауз для активного отдыха. В первый перерыв (5-7 минут) целесообразно повышение двигательной активности за счет выполнения физических упражнений, направленных на нормализацию функций высшей нервной деятельности. Вторым перерывом рекомендуется использовать для психологической разгрузки и аутотренинга. Для обеспечения оптимальной работоспособности при работе в вечернее время должны более широко использоваться комплексы физических упражнений. При работе в ночное время продолжительность перерыва в глубокие часы ночи рекомендуется увеличить до 45 мин. Работающим во время перерыва показано выполнение комплекса физических упражнений для релаксации, а также короткий отдых или сон в специально оборудованном помещении.

6.3.6 Статические физические перегрузки

Конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля. Зоны

досягаемости моторного поля в вертикальной и горизонтальной плоскостях для средних размеров тела человека приведены на рисунке 1.

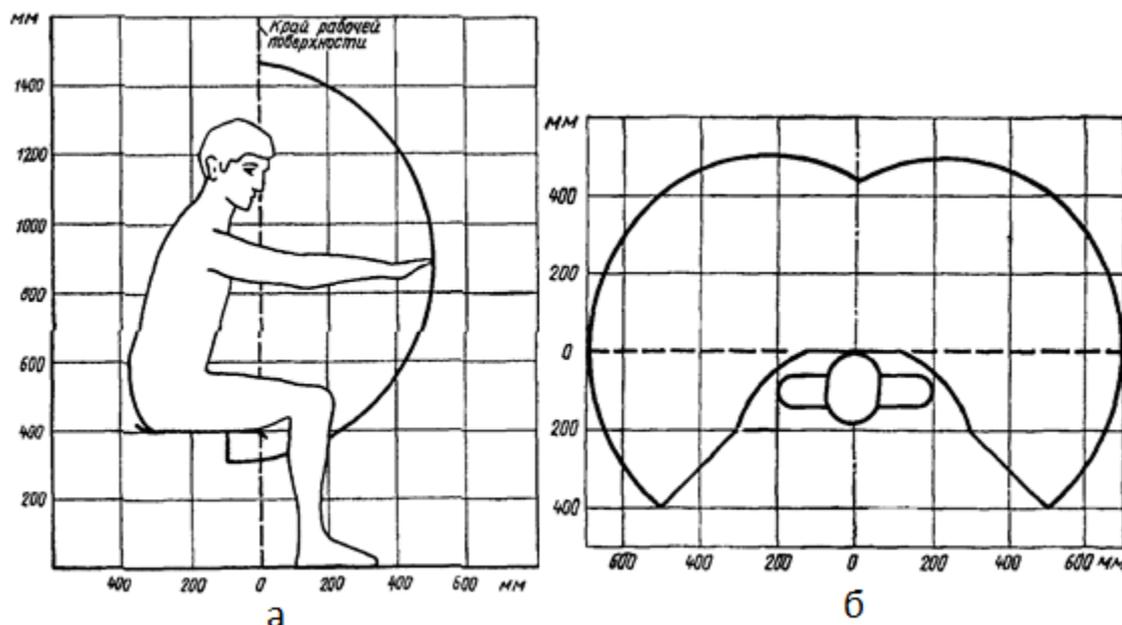


Рисунок 6.1 – Зона досягаемости моторного поля в вертикальной (а) и горизонтальной (б) плоскости [34]

Выполнение трудовых операций «часто» и «очень часто» должно быть обеспечено в пределах зоны легкой досягаемости и оптимальной зоны моторного поля.

Конструкцией рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием: высоты рабочей поверхности, сиденья и пространства для ног.

6.3.7 Пожарная безопасность

Работа с персональными компьютерами связана с рисками возгорания электрического оборудования, в связи с чем в зданиях должны быть предусмотрены конструктивные, объемно-планировочные и инженерно-технические решения, обеспечивающие в случае пожара [35]:

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

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

6.4 Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду.

В ходе исследовательской работы использовались персональный компьютер, принтер, бумага, канцелярские товары и т.д.

Бумажный мусор составляет большую часть отходов, образующихся в результате работы студента. Бумага загрязняет окружающую среду, ведь в процессе ее разложения выделяется метан. Решение вопроса утилизации бумаги является сбор макулатуры с целью вторичной переработки.

То же самое относится и к предметам из пластика, которые наносят огромный вред окружающей среде. Необходима правильная сортировка пластиковых отходов.

Аудитория, в которой осуществлялась разработка проекта, оснащена люминесцентными лампами, которые необходимо утилизировать как ртутьсодержащие лампы [36].

6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятная чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть при работе с персональным компьютером – пожар.

Помещение должно соответствовать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 [37] и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83 [38].

Противопожарные мероприятия подразумевают: разработку инструкций по пожарной безопасности и проведение инструктажа; обязательное наличие в компьютерном классе средств первичного пожаротушения: (огнетушителей, пожарных кранов). Огнетушители размещаются на видных, легкодоступных местах на высоте не более 1,5 м. Первичные средства пожаротушения, используемые на объекте, должны быть исправны и проходить ежегодную поверку.

Оптимальные условия эвакуации заключаются в правильном расположении и обслуживании эвакуационных выходов. Эвакуационные выходы запрещается загромождать. Двери на путях эвакуации должны открываться по ходу движения потока людей к выходу из здания. Запоры на дверях эвакуационных выходов должны обеспечивать возможность их свободного открывания изнутри без ключа. Эвакуационное освещение должно включаться автоматически при прекращении электропитания рабочего освещения.

В случае возникновения пожара эвакуация людей проводится согласно плану эвакуации.

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.

При работе с персональным компьютером возникновение других видов ЧС – маловероятно.

6.6 Выводы по разделу

Таким образом, можно заключить, что аудитория отделения химической инженерии в полном объеме соответствует требованиям, предъявляемым в области пожарной и производственной безопасности.

Рабочее место, где проводились работы при написании магистерской диссертации, отвечает всем требованиям, предъявляемым к нормам освещения, шума и микроклимата.

Так же важно отметить, что при надлежащем обращении с отходами и правильной их утилизации объект исследования и деятельность на рабочем месте не представляют опасности для экологии.

Работа выполнена в соответствии с нормативными документами и требованиями.

Список публикаций студента

№	Наименование работы, ее вид	Характер работы	Выходные данные	Объем, стр.	Соавторы
Доклады и тезисы докладов, опубликованные в материалах российской Международной (Всероссийской) конференции: 9					
1	Исследование влияния фракционного состава дизельного топлива на эффективность действия низкотемпературных присадок	Печатная	Материалы XX Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2019, с. 382-383.	2	Морозова Я.П. Богданов И.А.
2	Investigation the effect of diesel fuel fractional composition on the effectiveness of low-temperature additives	Печатная	Материалы XX Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2019, с. 513-514.	2	Morozova Y.P. Bogdanov I.A.
3	Оценка возможности использования прямогонных дизельных топлив в качестве товарных продуктов	Печатная	Труды XXIII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр», посвященного 120-летию со дня рождения академика К.И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К.В. Радугина, Томск, 2019, Т. 2, с. 346-347.	2	Морозова Я.П. Богданов И.А.
4	Исследование возможности использования прямогонных дизельных топлив в качестве товарных продуктов	Печатная	Тезисы докладов XXII Всероссийской конференции молодых учёных-химиков (с международным участием), Нижний Новгород, 2019, с. 503.	1	Морозова Я.П. Богданов И.А.

5	Разработка формализованной схемы превращения веществ в процессе цеоформинга н-пентана	Печатная	Материалы XXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2020, с. 345-346.	2	Алтынов А.А. Киргина М.В
6	Расчет термодинамических характеристик реакций перераспределения водорода в олефинах в процессе цеоформинга н-пентана	Печатная	Труды XXIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр», посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, Томск, 2020, Т. 2, с. 266-267.	2	Богданов И.А.
7	Оценка термодинамической вероятности протекания реакций образования нафтенов перераспределением водорода в циклоолефинах при переработке на цеолите	Печатная	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 «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2021, Т. 2, с. 29-30.	2	Алтынов А.А.
8	Assessment of the thermodynamic probability of naphthenes formation by hydrogen transfer reactions from cycloolefins, during their processing on zeolite	Печатная	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 «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2021, Т. 2, с. 29-30.	2	Altynov A.A.

9	Оценка термодинамической вероятности протекания реакций перераспределения водорода в олефинах с образованием тетраметилбензола	Печатная	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 «Проблемы геологии и освоения недр», Томск, 2021, Т. 2, с. 250-251.	2	Алтынов А.А.
---	--	----------	---	---	--------------

Список использованных источников

1. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. / Д. Брек. – М.: Мир, 1976. – 768 с.
2. Рабо Дж. Химия цеолитов и катализ на цеолитах. Том 2. / Дж. Рабо. – М.: Мир, 1990. – 706 с.
3. Кубасов А.А. Цеолиты – кипящие камни / А.А. Кубасов // Соровский образовательный журнал, № 7. – 1996. – С. 70-76.
4. Коробицына Л.Л. Синтез и свойства сверх-высококремнеземных цеолитов типа ZSM-5 / Л.Л. Коробицына, Л.М. Величкина, А.В. Восмерилов, В.И. Радомская, Е.С. Астапова, Н.В. Рябова, О.А. Агапьятова // Журнал неорганической химии. – 2008. – Т. 53. – № 2. – С. 209-214.
5. Россоловская Е.Н. Каталитическая активность цеолитов типа пентасил с различной структурой каналов в превращении н-гексана / Е.Н. Россоловская, О.В. Барсуков, Н.Ф. Мегедь // Кинетика и катализ. – 1985. – Т. 26. – № 2. – С. 422-428.
6. Ботавина М.А. Кинетика и механизм превращений углеводородов C₅-C₇ на модифицированном медью и платиной цеолите ZSM-5: Автореф. дис. канд. хим. наук: 02.00.15 / Ботавина Мария Александровна. – М., 2002. – 16 с.
7. Ионе К.Г. Полифункциональный катализ на цеолитах / К.Г. Ионе. – Новосибирск: Наука, 1982. – 272 с.
8. Lapidus A.L. Chemical processing of natural gas and gas condensate / A.L. Lapidus, F.G. Zhagfarov, N.A. Grigor'eva, D.S. Khudyakov, A.M. Kozlov // Chemistry and Technology of Fuels and Oils – 2010. – Vol. 46. – P. 141-147.
9. Khomyakov I.S. Process of Producing High-Octane Motor Fuel Components from Straight-Run Gasolines on Modified Zeolite Catalysts / I.S. Khomyakov, A.M. Gorshkov, T.A. Gerasina // Chemistry and Technology of Fuels and Oils – 2017. – Vol. 53. – P. 464-469.
10. Yoshimura Y. Sulfur-tolerant Pd-Pt/Yb-USY zeolite catalysts used to reformulate diesel oils / Y. Yoshimura, H. Yasuda, T. Sato, N. Kijima, T. Kameoka //

Applied Catalysis A: General – 2001. – Vol. 207. – Issue 1-2. – P. 303-307.

11. ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия».

12. Суханов В.П. Переработка нефти: Учебник для средних проф.-техн. учебн. заведений. – 2-ое изд. / В.П. Суханов. – М.: Высш.школа, 1979. – 335 с.

13. ГОСТ Р 52714-2018 «Бензины автомобильные. Определение индивидуального и группового углеводородного состава методом капиллярной газовой хроматографии».

14. ASTM D7042-16 «Метод определения динамической вязкости и плотности жидкостей на вискозиметре Штабингера».

15. ГОСТ 2177-99 «Нефтепродукты. Метод определения фракционного состава».

16. ГОСТ Р 51947-2002 «Нефть и нефтепродукты. Определение серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектрометрии».

17. ГОСТ 5066-2018 «Топлива моторные. Методы определения температур помутнения, начала кристаллизации и замерзания».

18. ГОСТ 22254-92 «Топливо дизельное. Метод определения предельной температуры фильтруемости на холодном фильтре».

19. АТК 26-02-1-89. Тарелки клапанные прямоточные для аппаратов колонного типа. Параметры. Конструкция и основные размеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gostrf.com/normadata/1/4293829.pdf/>.

20. АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200067272/>.

21. Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – М.: МАШИНОСТРОЕНИЕ, 2008. – 752 с.

22. Беляев В.М. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Ч. 1: Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств / В.М. Беляев, В.М. Миронов. – Томск: Изд-во Томского Политехнического университета,

2016. – 313 с.

23. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры (с Изменениями N 1, 2). – Изд. офиц. Москва: Издательство стандартов, 1985. – 53 с.

24. АТК 24.200.04-90. Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов. Типы и основные размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 15 с.

25. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университет, 2014. – 73 с.

26. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018).

27. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

28. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

29. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

30. ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 2. Дисплеи.

31. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.

32. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

33. МР 2.2.9.2311-07 Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности.

34. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

35. Федеральный закон от 22.07.2013 г. № 123-ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.

36. ГОСТ Р 52105-2003. Ресурсосбережение. Обращение с отходами.

Классификация и методы переработки ртутьсодержащих отходов.

37. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).

Пожарная безопасность. Общие требования.

38. ГОСТ 12.4.009-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).

Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание (с Изменением N 1).

Приложение А

(справочное)

Part 1

Development of equipment registration of processing of hydrocarbon raw materials on a zeolite catalyst

(Literary review)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Багдасарян Нарек Сергеевич		

Руководитель ВКР

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

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

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

Томск – 2022 г.

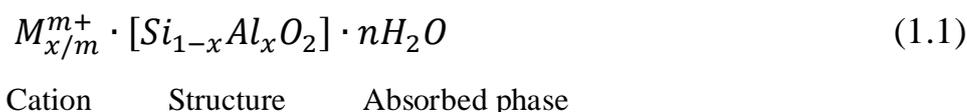
1.1 Zeolite catalysts

Until recently, zeolite catalysts (zeolites) were widely used only as absorbents or carriers with deposited active substances due to high mechanical strength, selectivity (molecular sieve effect), thermal stability, relative resistance to catalytic poisons. However, in recent years, more and more attention has been paid to them as catalysts for the processing of oil and gas, as well as for the synthesis of certain organic substances.

Zeolites have been used as effective catalysts for oil and gas processing due to their high catalytic activity, ability to ion exchange and unique crystal structure.

Zeolites are crystalline aqueous aluminosilicates with developed porosity containing cations of groups I and II. Their inner surface is determined by a system of homogeneous pores that regularly repeat in three-dimensional space [1]. For this feature, zeolite catalysts are called molecular sieves.

The chemical formula of zeolites is presented in the form of:



The basic structural units of zeolite catalysts are regular tetrahedra from the anions SiO^4 and AlO^5 , interconnected by oxygen atoms [2]. Silicon–oxygen tetrahedra are electrically neutral, since the silicon ion with a charge of 4^+ is compensated by four oxygen ions in the vertices of the tetrahedron. At the same time, the presence of the Al^{3+} ion in the tetrahedron generates a charge of 1^- . Therefore, for the complete neutrality of the aluminosilicate itself, the negative charge in the alumina-oxygen tetrahedra must be compensated by the presence of a proton or metal cation. Thus, the acid center of the zeolite is formed, the structure of which is shown in figure 1.1.

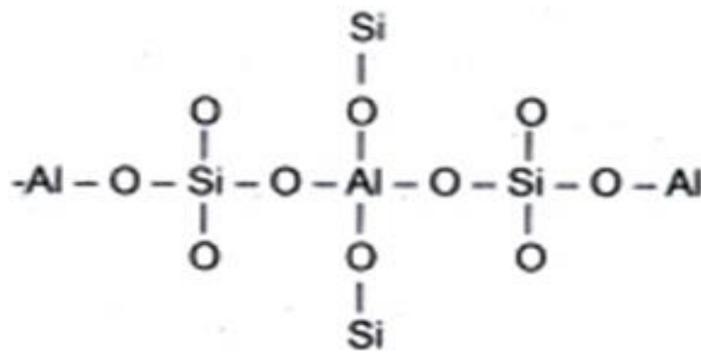


Figure 1.1 – The basic structure of zeolite

The unification of such structural units through oxygen atoms forms secondary structural elements: various rings (of 4, 5, 6, 8, 10, 12 T-atoms, where T – are aluminum or silicon atoms), prisms and more complex polyhedra [3].

The combination of such structural fragments of five- and six-unit rings in the structure of Zeolite Socony Mobil-5 (ZSM-5) forms chains (figure 1.2, a) that form layers (figure 1.2, b).

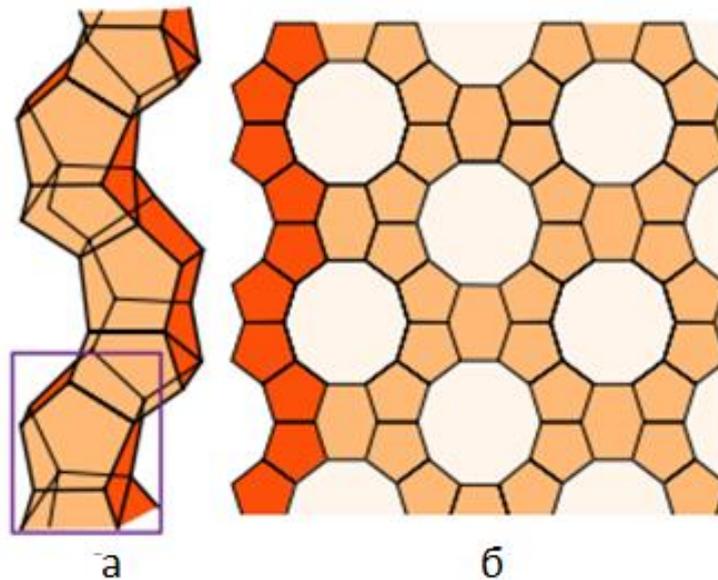


Figure 1.2 – Schematic representation of the ZSM-5 type zeolite structure

Thus, in zeolites of the pentasil type, a system of channels with round ($0.54 \times 0.56 \text{ nm}$) and zigzag ($0.51 \times 0.55 \text{ nm}$) sections is formed (figure 1.3).

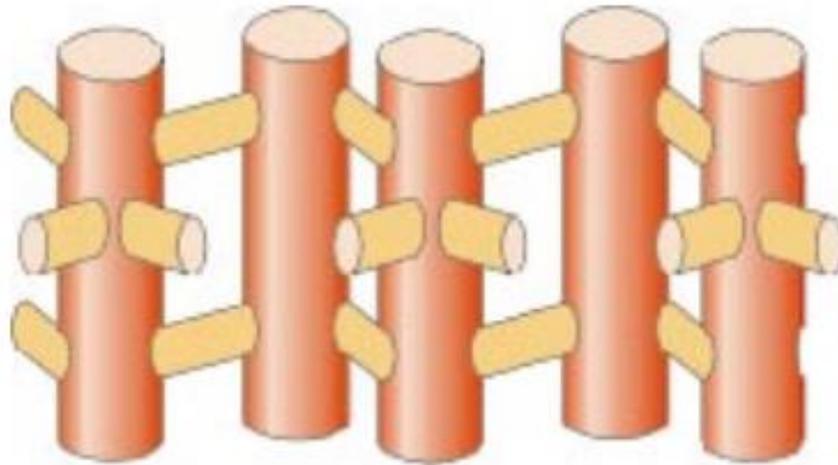


Figure 1.3 – Schematic representation of canals in a zeolite of the pentasil type

These rings are the windows that provide access to the volume in which molecules are absorbed. ZSM-5 is characterized by micropores relative to average sizes (0.55 nm).

For the absorption of molecules in the pores, the size of these molecules should not exceed the size of the entrance window at the pore. This window, due to energy barriers caused by electrostatic interaction with the oxygen framework, creates steric difficulties in the movement of molecules. This is called the molecular-sieve effect [5].

The crystalline structure of zeolites allows them to have large values of the specific surface (350-450 m²/g), which makes it possible to absorb noticeable amounts of matter from the liquid or gas phase.

Depending on the structural type of zeolite, the size of the pores may vary, since the properties of zeolite catalysts depend on the Ratio of Si/Al, the type of cation embedded in the structure, the content of absorbed water.

The catalytic properties of aluminosilicates directly depend on the method of their synthesis and formation, which, in turn, lead to a change in the crystal structure of zeolite and the size of its pores [6].

For example, with an increase in the ratio of Si/Al in the structure of zeolite, its thermal stability increases, this is justified by an increase in the number of stronger Si-O bonds and a decrease in the number of less durable Al-O bonds.

One of the methods of such modification of zeolites is dealumination, that is, the treatment of zeolites with various complexing agents that allow the extraction of part of the aluminum atoms from the crystal lattice of the catalyst, while increasing the Si/Al ratio.

The thermal stability of the zeolite also depends on the type of cation embedded in the catalyst structure, so the zeolite catalyst containing polycharged cations withstands more stringent temperature conditions and the higher the charge of the cation, the higher the thermal stability of the zeolite.

Therefore, a common way to modify the catalyst is to replace sodium cations with ions of the alkaline earth metals and rare earth elements, such as calcium, magnesium, lanthanum [7].

The presence of water on the surface of the oxide suggests the possibility of the formation of hydroxyl groups (OH) in the structure of the mineral. The properties of hydroxyl groups are determined by the nature of the atoms to which they are bound.

For example, OH groups on silica gel have neither acidic nor basic properties, on the surface of aluminum oxide - OH groups are centers of weak acid, i.e. can give a proton to strong bases. It has been empirically shown that on the surface of aluminosilicates OH groups are able to give a proton to a hydrocarbon molecule, that is, they have the properties of Brønsted acid. The acidity of zeolite is characterized by the number of such acid centers on the surface of the catalyst.

Various methods are used to increase the acidic properties of zeolite catalysts, the most common is the formation of OH groups on the surface of the zeolite by heating samples in which the cations are replaced with ammonium ions. This is due to the fact that when ammonia is released, the hydrogen proton is attached to the oxygen atom.

More than 130 zeolites with different structures are currently known. Figure 1.4 shows the scaffolds and pore sizes of the most common industrial zeolite systems. The crystalline nature of the framework ensures the regularity of the porous structure, which makes it possible to achieve high selectivity in catalysis. The ability to act as

molecular sieves allows the selection of molecules that can access the active sodalite cell of the zeolite (shape selectivity).

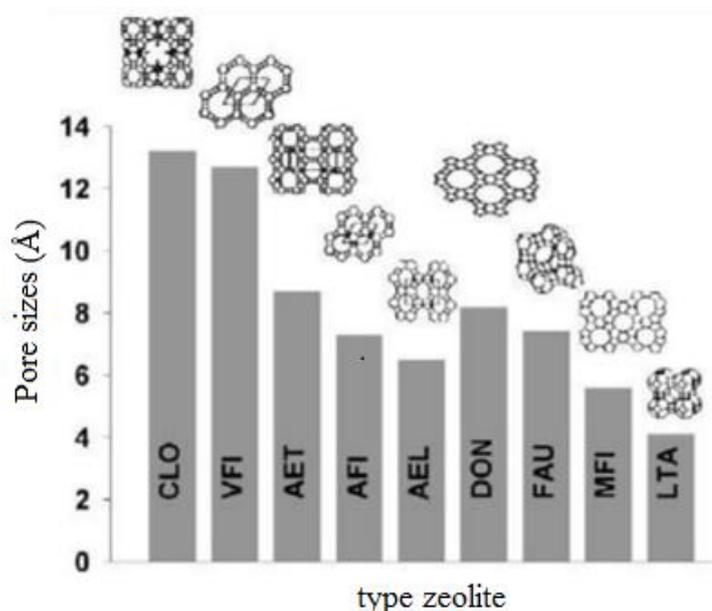


Figure 1.4 – Pore sizes of different zeolites

Unlike other catalytic systems, in which activity is limited to the outer surface, in zeolites all atoms participate in the processes. The typical surface area of zeolites varies from 300 to 700 m²/g. The size of the holes that regulate access to the inner pores depends on the number of T and O atoms in the rings and varies from 2Å to 15Å.

Summarizing all the information written, we can conclude that the peculiarity of the crystal structure, the ability to ionic exchange and the manifestation of acidic properties, as well as resistance to thermal and chemical influences, explains the increased attention to zeolites as effective catalysts in oil refining.

1.2 Hydrocarbon raw materials for processing on zeolite catalysts

1.2.1 Stable gas condensate

Due to the depletion of oil resources, the growing trends of increasing the depth of processing of hydrocarbon raw materials, the tightening of requirements for

motor fuels, stable gas condensate (SGC) is becoming an increasingly valuable type of raw material. The main source of this type of raw materials are gas condensate fields. Smaller volumes of hydrocarbon raw materials are obtained from associated petroleum gas in the process of oil preparation. Gas condensates are liquid hydrocarbons, mainly containing components of light gasoline. The conversion of gas condensates into motor fuel products is carried out by simpler mechanisms than the processing of more traditional types of petroleum raw materials, due to the low content of sulfur and nitrogenous compounds, which are catalytic poisons for most industrial catalysts. No less important is the fact that the condensates do not contain heavy components of oil, such as resins and asphaltenes.

At the same time, gas condensates are often not used as raw materials for processing, often being mixed with commercial oil to increase the yield of light petroleum products, or returned to the reservoir to maintain reservoir pressure.

The market for the gas condensate segment among oil and gas companies continues to grow. In 2019, the production of unstable gas condensate in Russia reached 35.7 million tons per year (figure 1.5).

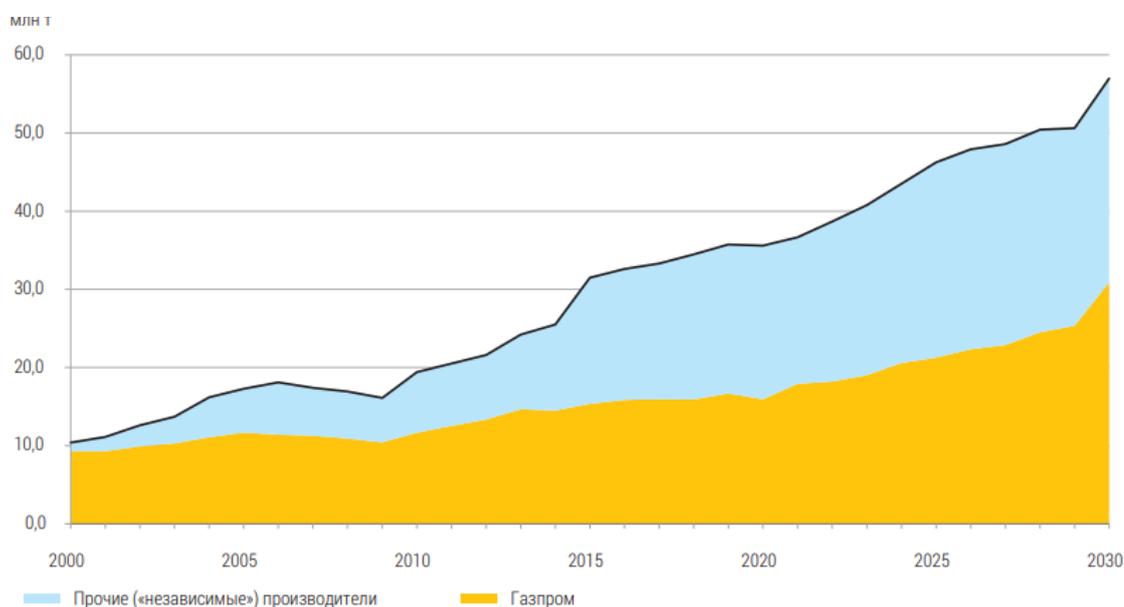


Figure 1.5 – Production of unstable gas condensate in Russia

Since 2000, the rate of increase in condensate production in the country has averaged 6.7%. Given the impressive volume of gas condensate reserves in Russia, it

is assumed that by 2030 its production will reach about 57 million tons per year, and the average annual growth rate will be 4.3% in the period from 2020 to 2030.

In the work [8], the authors conducted studies on the pyrolysis of SGC with a high content of n-paraffins, as evidenced by the low density of 757 kg/m³ and the molecular weight of the sample of 121 g/mol. This composition is favorable for pyrolysis raw materials.

The researchers carried out thermal and catalytic pyrolysis of SGC, zeolite-containing catalysts K-2 and K-3 containing group VIII metals were used as catalysts.

The studies were conducted in the 600 °C – 780 °C temperature range for a 0,1-0,15 sec contact time and feedstock: steam ratio of 1,0: 0.7. Comparative results of pyrolysis of gas condensate are presented in table 1.1.

Table 1.1 – Results of thermal and catalytic pyrolysis of gas condensate

Products of pyrolysis	Yield (wt. %) in pyrolysis*		
	thermal	on catalyst	
		K-2	K-3
H ₂	0,83	1,00	1,20
CO	0,09	0,08	0,40
CO ₂	0,00	0,03	0,60
CH ₄	13,02	17,80	19,20
C ₂ H ₆	1,45	2,70	2,30
C ₂ H ₄	24,46	34,20	35,70
C ₃ H ₈	0,32	0,35	0,20
C ₃ H ₆	11,23	15,60	10,60
∑C ₄ H ₁₀	1,15	0,10	0,10
∑C ₄ H ₈	1,45	1,40	2,70
Butadiene	0,96	0,80	2,60
∑C ₅	2,00	3,00	0,20
∑C ₂ -C ₄ (unsaturated)	38,10	52,00	51,60
All gaseous products	54,96	77,06	75,80
Resin + coke + losses	45,04	22,94	24,20

From table 1.1 it can be seen that the composition of the products of the process changes significantly in the rate of catalytic pyrolysis, compared with thermal decomposition. The yield of ethylene has increased significantly for both catalysts, but is especially noticeable (almost 1.5 times) for the K-3 catalyst, and the sum of unsaturated hydrocarbons C₂-C₄ increased by 1.35 times. The yield of gaseous

products has also increased. The authors found that for 5 hours of continuous operation under thermally harsh conditions, the yield of such a target product as ethylene practically did not change. Thus, the thermal stability and strong acidic properties of zeolite-containing catalysts were experimentally proven.

The authors of the work [9] conducted studies of the transformation of the straight-run gasoline fraction with boiling limits of 70-170 ° C on zeolite-containing catalysts on a flow-through catalytic reactor with a stationary catalyst bed (reactor volume 10 cm³). Technological parameters used for the processing of the straight-run gasoline fraction are the following: temperature in the range of 325-375 °C at atmospheric pressure. The volumetric feed rate of raw materials was 2 h⁻¹. The duration of the experiment was 1 hour for each temperature. Raw materials for the group hydrocarbon composition consisted of 22,7 wt. % of paraffins, 33,2 wt. % of iso-paraffins, 39,9 wt. % of naphthenes, and 4,2 wt. % of arenes. The octane number (RON) of the original straight-run gasoline was 60 points by the research method.

This experiment was conducted on zeolite catalysts modified with microsized and nanosized cerium dioxide powders at the rate of 1 and 3 % by weight.

Table 1.2 presents the results of a study of the catalytic activity of zeolites during the processing of low-octane gasoline fractions into high-octane components of motor fuel. The content of aromatic hydrocarbons in products served as a measure of the catalytic activity of catalysts.

Table 1.2 – Results of conversion of gasoline condensates on modified zeolite-containing catalysts

Catalyst	Temperature, °C	Yield of products, wt. %						RON
		gas phase	arenes	isoparaffins	naphthenes	paraffins	olefins	
HSZ	325	34,8	21,8	40,0	19,5	17,1	1,6	88,1
	350	42,0	27,6	40,2	18,2	12,6	1,4	92,2
	375	49,0	33,6	36,8	17,2	10,8	1,6	92,1
1% nano-CeO ₂ / 99% HSZ	325	33,2	26,0	37,0	21,6	13,9	1,5	91,2
	350	41,8	33,6	34,1	19,4	11,5	1,4	94,3
	375	46,8	40,5	30,4	18,7	9,1	1,3	94,0
3% nano-CeO ₂ / 97% HSZ	325	34,0	24,4	36,1	24,5	13,5	1,5	89,1
	350	40,6	32,6	34,3	20,0	11,7	1,4	93,2
	375	48,1	39,0	31,1	18,6	9,9	1,4	93,6
1% micro-CeO ₂ / 99% HSZ	325	34,2	24,8	36,9	22,0	14,8	1,5	89,8
	350	39,7	32,6	35,4	20,3	10,3	1,5	92,7
	375	46,7	40,5	31,7	17,5	9,1	1,1	93,3
3% micro-CeO ₂ / 99% HSZ	325	35,8	24,0	36,9	22,6	15,1	1,4	89,8

97% HSZ	350	41,9	31,4	34,5	20,5	12,2	1,4	92,7
	375	47,2	38,3	31,8	18,6	9,9	1,5	93,3

Processing of low-octane gasoline fractions on zeolites allows to increase the yield of isoparaffins and aromatic compounds, which are high-octane components of gasoline fuel. This causes an increase in the RON from 60 points to 88 and above. With an increase in the temperature of the process, the proportion of the gas phase increases due to an increase in the degree of transformation of hydrocarbons of raw materials.

When modifying nano- and microsized additives of cesium oxide are added to the zeolite catalyst, a relatively small increase in the RON (by 2-3 points) is observed, which is associated with an increase in the total concentration of acid centers on the surface of the catalyst.

1.2.2 Straight-run diesel fraction

The main direction of the oil and gas production development of Russia is the development of the regions of the Far North and the Far Eastern regions. The implementation of these strategic objectives will lead to an increase in market demand for low-solidifying brands of diesel fuel. Figure 1.6 presents data on the production of diesel fuel from 2013 to 2021 in Russia.

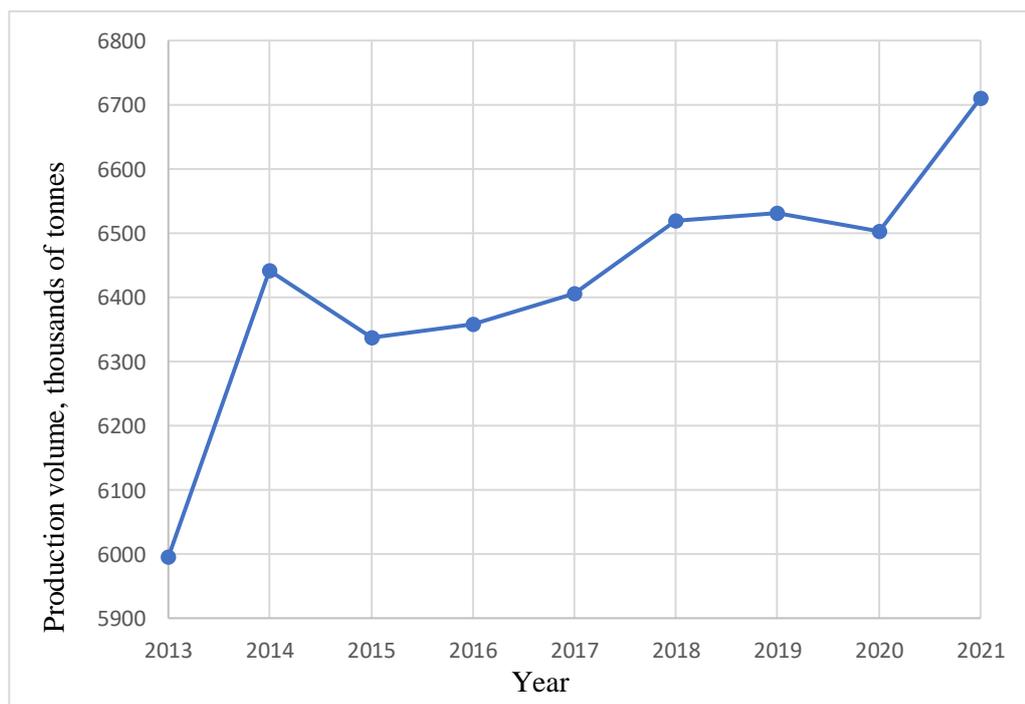


Figure 1.6 – Production of diesel fuel in Russia

From the data in figure 1.5, it can be seen that in the period from 2013 to 2021, about 700 thousand tons of diesel fuel were produced, the growth rate of production since 2013 is about 12%.

The processing of diesel fractions currently requires the use of expensive catalysts containing noble metals and must be carried out in a hydrogen environment.

The authors of the work [10] conducted studies on the hydrodesulfurization of diesel raw materials on a bimetallic Pd-Pt zeolite catalyst. The hydrogenation process was carried out in a continuous reactor with a fixed layer of catalyst at a hydrogen pressure of 3,9 MPa, a reaction temperature of 533 K, a volumetric feed rate of 4 h⁻¹. These samples of the catalyst showed high activity in the hydrodesulfurization and hydrodearomatization of diesel raw materials. The content of sulfur compounds decreased from 263 to 5 ppm, the content of aromatic hydrocarbons fell from 26 to 2 ppm. It is important to note a significant drop in the content of polycyclic aromatic compounds from 7,0 to 0,6 ppm. These results demonstrate the effectiveness of the zeolite catalytic system in the fight against sulfur-containing compounds and stability under harsh operating conditions.

Thus, zeolite catalysts can be effective in processing the straight-run diesel fraction in order to improve the various characteristics of this fuel.

1.3 Reactor zeoforming unit

Zeoforming is a catalytic process of processing low-octane hydrocarbon raw materials (SGC, light straight-run gasoline fraction) in order to obtain high-octane motor gasoline using zeolite-containing catalysts.

Zeoforming allows you to obtain motor gasoline with RON from 80 to 95 points. At the same time, the yield of commercial gasoline from low-octane raw materials is about 70-80%.

Unlike traditional methods of increasing the octane number of gasolines - reforming, zeoforming has a number of advantages:

- the use of zeolite catalysts makes it possible to abandon the use of expensive precious metals;
- due to the absence of noble metals in the catalyst, zeolites are less sensitive to sulfurous and nitrogen-containing compounds in the raw material, therefore, preliminary hydrotreatment of raw materials is not required;
- the process of zeoforming does not require the supply of hydrogen-containing gas, which saves on expensive compressor equipment;
- the resulting motor gasolines have a relatively low benzene content, which meets modern environmental requirements, according to the requirements [11];
- the resulting gasolines do not require compounding;
- the process is carried out at relatively low temperatures (340-450 °C) and pressures (0,5-1,5 MPa), which reduces its energy intensity by 20-30 %.

Given the above advantages, the process of zeoforming allows to reduce capital and operating costs relative to traditional high-octane gasoline production plants.

Catalytic transformations of zeoforming feedstock take place in fixed-bed reactors. The reactor is a cylindrical vertical apparatus with an elliptical bottom.

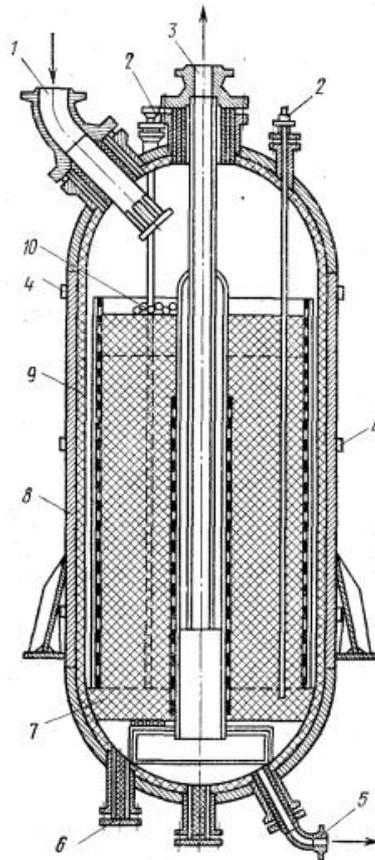
To distribute the feedstock flow, the upper switchgear (diffuser) is located at the top of the reactor.

In the central zone of the reactor there is a central perforated pipe for collecting reaction products. The reactor products are collected in a central tube and exit the reactor.

Along the entire circumference of the reactor there are long vertical channels equipped with holes along the entire height (scallops). Through the holes of the scallops, the raw material enters the catalyst layer and further to the central pipe.

Depending on the hydrodynamic regime, reactors are divided into two types: reactors with axial and radial input of raw materials.

The axial input of the feedstock, shown in figure 1.7, is a more common type of flow motion in a reactor.



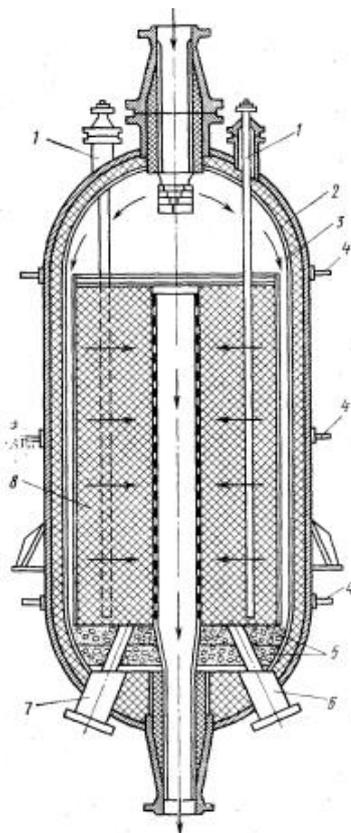
- 1 – fitting for raw material input; 2 – zonal thermocouple;
3 – product outlet fitting; 4 – external thermocouple; 5 – product output connection during ejection
of the system during catalyst regeneration;
6 – fitting for unloading the catalyst; 7 – light fireclay; 8 – reactor vessel;
9 – lining; 10 – porcelain balls

Figure 1.7 – Reactor with axial motion of the raw material mixture

The movement of the raw material flow in reactors with axial input of raw materials is characterized by a downward flow passing from top to bottom through the catalyst layer. The reaction products are discharged through the lower connection of the reactor.

The reactor may have more than one type of catalyst in the layers and inert ceramic balls that are designed to support the catalyst and improve the distribution of the feedstock flow. In the presence of several layers of catalyst, the reactor may have side hatches for access to each layer [12].

In reactors with radial input of raw materials (figure 1.8), an internal perforated beaker is provided to accommodate the catalyst.



1 – multizonal thermocouple; 2 – reactor vessel; 3 – lining;
4 – surface thermocouple; 5 – porcelain balls; 6 – product output fitting during ejection of the system during catalyst regeneration; 7 – fitting for unloading the catalyst; 8 – catalyst

Figure 1.8 – Reactor with radial motion of the raw material mixture

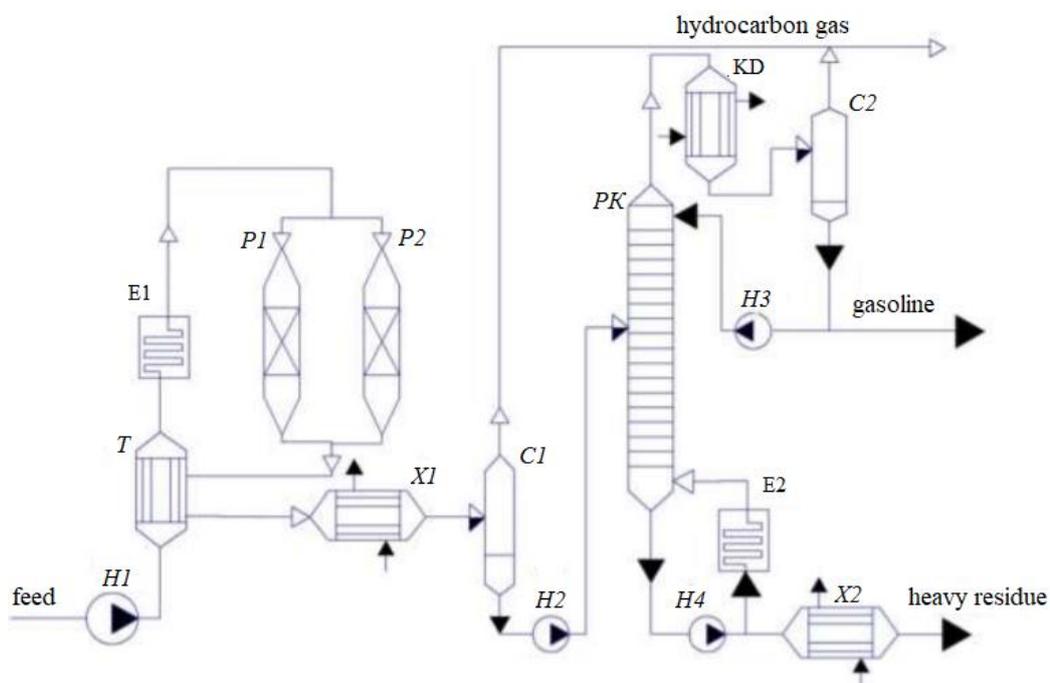
There is a ring gap between the perforated glass and the lining. The main difference between axial reactors and radial reactors is the type of movement of raw materials: in a radial reactor, the movement of raw materials is carried out radially (down the spiral), in axial reactors - along the vertical axis of the reactor (from top to bottom).

The gas-liquid mixture is directed from the reactor diffuser to the scallops. Scallops have holes or, most often these days, profile wire screens along the entire length. The gas passes through the scallops radially into the annular layer of the catalyst and then inside to the central pipe. The products of the process are collected in the central pipe and discharged from the reactor [12].

With the radial movement of the feedstock flow, the efficiency of the contact between the raw material and the catalyst bed increases. Because of this, the size of the device can be significantly reduced.

An important part of the unit of the zeoforming unit is the reactor product fractionation column, designed to stabilize the liquid zeoforming product. A fractionation column is a rectification column. Rectification is the process of separating homogeneous mixtures of volatile liquids by bilateral mass and heat exchange between the non-equilibrium liquid and vapor phases, which have different temperatures and move opposite to each other.

The schematic diagram of the zeoforming process is presented in figure 1.9. The initial low-octane raw material with the help of the pump H1 at a pressure of 1.0-1.2 MPa is pumped through the regenerative heat exchanger T, where it is heated by the heat of the reaction products, then in the E1 furnace to a temperature of 350 °C and in the steam, state enters the pipe space of the reactor P1 or P2, operating alternately - in operating mode and in regeneration mode.



H1-H4 – pumps; *P1, P2* – reactors; *X1, X2* – refrigerators; *C1, C2* – separators;
E1, E2 – furnace; *PK* – rectification column; *KD* – condenser-refrigerator

Figure 1.9 – Schematic diagram of the process of zeoforming

In the reactor on the zeolite-containing catalyst of the KN-30 brand, catalytic conversion of low-octane components of raw materials into high-octane and gaseous hydrocarbons takes place. After the reactor, the catalysate passes through the regenerative heat exchanger T, the refrigerator X1 and in the separator C1 is separated into gas and condensate, which is pumped into the rectification column of the PK using the H2 pump. In a column unit equipped with a condenser-refrigerator KD, a separator C2, pumps H3 and H4, as well as a furnace E2 and a refrigerator X2, the catalysate is separated into commercial high-octane gasoline, heavy residue (fuel oil) and separation gases.

During the process, there is a gradual decontamination of the catalyst by coke deposits, which leads to a decrease in the selectivity of the process and to a decrease in the octane number of gasolines produced. To maintain a constant level of catalyst activity, as it falls, the reaction temperature is increased by 5-15 °C to the final 450 °C, maintaining the composition (quality) of gasoline at the same level [22].

After 200-300 hours of operation, the reactor is put into regeneration mode. During the regeneration period, the duration of which is 70-90 hours, a parallel reactor is turned on to establish a continuous production mode. Regeneration is carried out by reverse current with a mixture of inert gas and air. The total service life of the catalyst is 4500 hours.