

Инженерная школа природных ресурсов
 Отделение химической инженерии
 Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»
 Профиль «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций

УДК 665.633.095.21

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д63	Ромазанова Ксения Викторовна		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Кузьменко Елена Анатольевна	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ООП 18.03.01)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-1, 2, 3, 19, 20), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), СДИО (пп. 1.1, 4.1, 4.3, 4.8)
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач.	Требования ФГОС (ПК-7, 11, 17, 18, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), СДИО (пп. 1.1, 3.2, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии.	Требования ФГОС (ПК-1, 5, 8, 9, ОК-2,3), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), СДИО (пп. 1.2, 2.1, 4.5)
P4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-11, 26, 27, 28), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), СДИО (пп. 1.3, 4.4, 4.7)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий.	Требования ФГОС (ПК-4, 21, 22, 23, 24, 25, ОК-4,6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), СДИО (п. 2.2)
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6, 10, 12, 13, 14, 15, ОК-6, 13, 15), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), СДИО (пп. 4.1, 4.7, 4.8, 3.1, 4.6)
Общекультурные компетенции		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5, 9, 10, 11), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), СДИО (п. 2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 7, 8, 12), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), СДИО (п. 2.4)
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-14), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), СДИО (пп. 3.2, 3.3)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве, ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3, 4), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), СДИО (пп. 4.7, 4.8, 3.1)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерная школа природных ресурсов
Отделение химической инженерии
Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»
Профиль «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

Кузьменко Е.А.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д63	Ромазановой Ксении Викторовне

Тема работы:

Исследование процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций

Утверждена приказом директора (дата, номер)

112-27/с от 22.04.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:

04.06.2021

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объектом исследования в данной работе является процесс изомеризации прямогонной бензиновой фракции НК-62°C. Рассмотрено несколько вариантов реализации данного процесса: с рециклом по непревращенным гексанам (катализатор – Pt на Al₂O₃); с рециклом по пентану и гексанам (катализатор – Pt на ZrO₂ / SO₄).

**Перечень подлежащих
исследованию, проектированию и
разработке вопросов**

(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).

- 1 Литературный обзор
 - 1.1 Теоретические сведения
 - 1.2 Химизм процесса
 - 1.3 Относительные скорости реакций изомеризации прямогонных бензиновых фракций и их роль в процессе
 - 1.4 Катализаторы процесса
 - 1.4.1 Биметаллические катализаторы
 - 1.4.2 Активность и селективность катализатора
 - 1.5 Влияние основных параметров на процесс изомеризации
 - 1.6 Подходы к моделированию процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций
 - 1.6.1 Кинетические модели
 - 1.7 Классификация технологий изомеризации прямогонных бензиновых фракций
- 2 Объект и методы исследования
 - 2.1 Характеристика объекта исследования
 - 2.2 Методы исследования
- 3 Исследование технологических закономерностей процесса изомеризации
 - 3.1 Влияние состава сырья на показатели качества изомеризата
 - 3.2 Исследование влияния температуры
 - 3.3 Влияние объемной скорости подачи сырья
- 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение
 - 4.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
 - 4.2 SWOT-анализ
 - 4.2.1 Планирование научно – исследовательских работ
 - 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования
 - 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ
 - 4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования
 - 4.3 Расчет материальных затрат НИИ
 - 4.3.1 Бюджет научно-технического исследования (НИИ)
 - 4.3.2 Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ
 - 4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы
 - 4.3.4 Отчисления на социальные нужды
 - 4.3.5 Накладные расходы
 - 4.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта
 - 4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной,

	<p>социальной и экономической эффективности исследования</p> <ul style="list-style-type: none">4.5.1 Ресурсоэффективность5 Социальная ответственность5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности5.2 Производственная безопасность5.3 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования<ul style="list-style-type: none">5.3.1 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, то есть с аномальным физическим состоянием воздуха (в том числе пониженной или повышенной ионизацией) и (или) аэрозольным составом воздуха5.3.2 Превышение уровня шума и вибрации5.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны5.3.4 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека5.5 Экологическая безопасность5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях
--	---

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОГСН ШБИП, Киселева Елена Станиславовна
Социальная ответственность	Ассистент, Черемискина Мария Сергеевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12.04.2021
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чузлов Вячеслав Алексеевич	к.т.н.		12.04.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д63	Ромазанова Ксения Викторовна		12.04.2021

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д63	Ромазановой Ксении Викторовне

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	ОХИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ и оценка конкурентоспособности НИ; SWOT-анализ.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - амортизационные отчисления; - заработная плата; - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение эффективности проекта (оценка результатов)</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- 1** Оценка конкурентоспособности НИ
- 2** Матрица SWOT
- 3** Диаграмма Ганта;
- 4** Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д63	Ромазанова Ксения Викторовна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д63	Ромазанова Ксения Викторовна

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	ОХИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

Тема ВКР:

Исследование процессов изомеризации прямогонных бензиновых фракций	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является – Нефтеперерабатывающий завод; Рабочая зона – Блок-схема технологии изомеризации; Область применения – Нефтегазовая отрасль.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <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. 	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 16.12.2019) ГОСТ Р ИСО 11064-4-2015 НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ; Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 02.12.2020 N40 “Об утверждении санитарных правил СП 2.2.3670-20 “Санитарно – эпидемиологические требования к условиям труда”;
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Опасные факторы в рабочей зоне при проведении научного исследования: 1. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, то есть с аномальным физическим состоянием воздуха (в том числе пониженной или повышенной ионизацией) и (или) аэрозольным составом воздуха. 2. Превышение уровня шума и вибрации 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны

	4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
3. Экологическая безопасность:	Вредное воздействие распространяется преимущественно на атмосферу и гидросферу через сжигание углеводородов, а также сбросов сточных вод
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>ЧС <i>техногенного характера</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенная пожаро-взрывоопасность (химический или физический взрыв, пожар, разрушения сооружений, технических устройств или их элементов, разгерметизация аппаратов и трубопроводов и т.д.). <p>ЧС <i>природного характера</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> - землетрясения, вулканы, цунами, бури и т.д. <p>ЧС <i>биолого-социального характера</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> - эпидемии, эпизоотии и т.д.; - терроризм, насилие, алкоголизм, войны и т.д.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д63	Ромазанова Ксения Викторовна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 95 стр., 28 рисунков, 34 таблицы, 29 источников.

Ключевые слова: процесс изомеризации, изомеризат, высокооктановые компоненты бензина, эксплуатационные характеристики.

Объектом исследования в данной работе является процесс изомеризации прямогонной бензиновой фракции НК-62°C. Рассмотрено несколько вариантов реализации данного процесса: с рециклом по непревращенным гексанам (катализатор – Pt на Al₂O₃); с рециклом по пентану и гексанам (катализатор – Pt на ZrO₂ / SO₄).

Целью работы является исследование влияния основных оперативных параметров процесса изомеризации на эксплуатационные характеристики получаемого продукта, выполненного с использованием математической модели процесса.

В результате выполненных исследований при применении метода математического моделирования с целью повышения эффективности работы промышленно установки каталитической изомеризации легких бензиновых фракций позволяет решить несколько сложных научно-технологических задач.

Область применения: на нефтеперерабатывающих заводах, где реализован процесс изомеризации.

Экономическая значимость работы заключается в определении оптимальных технологических параметров при переработке сырья различной природы, позволяет достичь необходимой степени превращения исходного сырья при минимальном вкладе побочных реакций.

Оглавление

Введение.....	14
1 Литературный обзор	15
1.1 Теоретические сведения.....	15
1.2 Химизм процесса	17
1.3 Относительные скорости реакций изомеризации прямогонных бензиновых фракций и их роль в процессе	19
1.4 Катализаторы процесса	21
1.4.1 Биметаллические катализаторы.....	26
1.4.2 Активность и селективность катализатора	27
1.5 Влияние основных параметров на процесс изомеризации	28
1.6 Подходы к моделированию процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций.....	31
1.6.1 Кинетические модели	32
1.7 Классификация технологий изомеризации прямогонных бензиновых фракций	35
2 Объект и методы исследования	45
2.1 Характеристика объекта исследования.....	45
2.2 Методы исследования.....	47
3 Исследование технологических закономерностей процесса изомеризации....	49
3.1 Влияние состава сырья на показатели качества изомеризата	49
3.2 Исследование влияния температуры	51
3.3 Влияние объемной скорости подачи сырья.....	52
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	59
4.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	59

4.2	SWOT-анализ	60
4.2	Планирование научно – исследовательских работ	62
4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования	62
4.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ	63
4.2.3	Разработка графика проведения научного исследования	65
4.3	Расчет материальных затрат НТИ.....	67
4.3.1	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	67
4.3.2	Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ	67
4.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы	68
4.3.4	Отчисления на социальные нужды	70
4.3.5	Накладные расходы	70
4.4	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта....	71
4.5	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	71
4.5.1	Ресурсоэффективность	71
5	Социальная ответственность	74
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	75
5.2	Производственная безопасность.....	79
5.3	Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	80
5.3.1	Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, то есть с аномальным физическим состоянием воздуха (в том числе пониженной или повышенной ионизацией) и (или) аэрозольным составом воздуха.....	80
5.3.2	Превышение уровня шума и вибрации.....	81

5.3.3	Недостаточная освещенность рабочей зоны	82
5.3.4	Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.....	83
5.5	Экологическая безопасность	85
5.5	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	87
Заключение		91
Список использованных источников		92

Введение

Процесс изомеризации является одним из самых выгодных способов получения высокооктановых компонентов бензина, а также экологически чистым. Актуальность модернизации существующих установок изомеризации для улучшения их технико-технологических показателей возрастает с каждым годом. Процесс каталитической изомеризации представляет собой превращение низкооктановых малоразветвленных и нормальных алканов в их более разветвленные изомеры, имеющие более высокое октановое число. Изомеризат – это продукт процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций с концом кипения от 62°C до 85°C, представленных, главным образом, пентанами, гексанами и гептанами нормального строения.

Объектом исследования в данной работе является процесс изомеризации прямогонной бензиновой фракции НК-62°C. Рассмотрено несколько вариантов реализации данного процесса: с рециклом по непревращенным гексанам (катализатор – Pt на Al₂O₃); с рециклом по пентану и гексанам (катализатор – Pt на ZrO₂ / SO₄).

Целью работы является исследование влияния основных оперативных параметров процесса изомеризации на эксплуатационные характеристики получаемого продукта, выполненного с использованием математической модели процесса. Адекватность модели проверена сравнением расчетного и экспериментального состава изомеризата. По результатам, математическая модель может быть использована для исследования процессов изомеризации бензиновых фракций, так как отклонения расчетного состава от экспериментального состава изомеризата не превышают погрешности хроматографического метода анализа.

Применение метода математического моделирования позволяет решать сложные научно-технологические задачи.

1 Литературный обзор

1.1 Теоретические сведения

Изомеризация представляет собой химический процесс, посредством которого соединение преобразуется в любую из своих изомерных форм, Изомерные формы имеют такой же химический состав, однако обладают отличными структурами или конфигурациями. Вследствие этого изомеры обладают различными физическими и химическими свойствами.

В современной нефтепереработке основным назначением процесса изомеризации является получение высокооктановых изоалканов. Целью процесса является получение топлива, отвечающего высоким стандартам ЕВРО-5 [1].

В качестве сырья для процессов изомеризации используются низкооктановые низкокипящие фракции нефти (от 62°C до 85°C). Изомеризация позволяет обеспечить сразу несколько требований, предъявляемых к качеству современных бензинов [2]:

1. Сокращение доли ароматических углеводородов (до 25%).
2. Увеличение доли легких углеводородов с температурой кипения менее 100°C (до 40-50%).
3. Сокращение содержания серы.
4. Сокращение содержания бензола (до 1%).
5. Сокращение содержания олефинов (до 4-18%).

Легкие прямогонные фракции очень ценны в производстве качественного топлива. Их ценность основана на высоком значении октановых чисел (таблица 1.1). Также большое значение имеет давление насыщенных паров продуктов изомеризации [2].

Таблица 1.1 – Октановые числа углеводородов

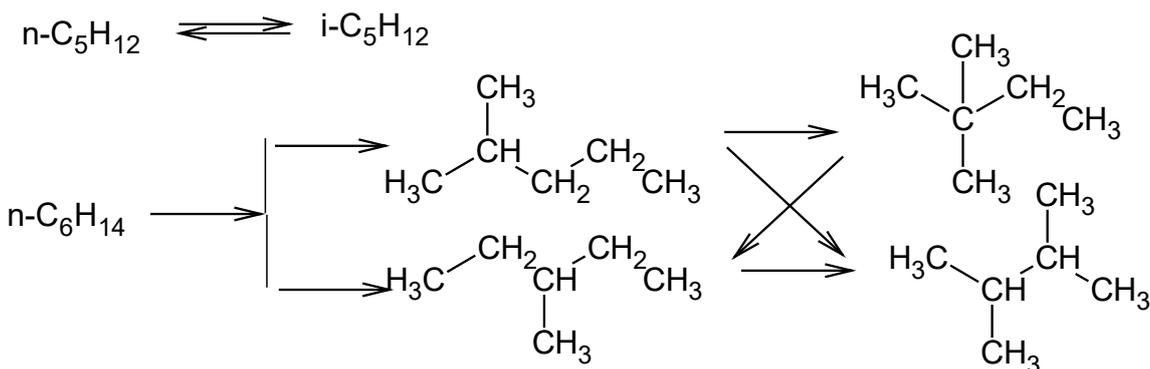
Углеводород	Октановые числа	
	моторный метод	исследовательский метод
<i>n</i> C ₄	92	93,6
<i>n</i> C ₅	61	61,7
<i>i</i> C ₅	90,3	92,3
<i>n</i> C ₆	24,8	25
2MC ₅	73	73,4
3MC ₅	74,3	74,5
23MC ₄	95	101,7
<i>n</i> C ₇	0	0
2MC ₆	42,4	45
3MC ₆	52	55
23MCC ₅	88,5	91,1
24MCC ₅	82	83,1
<i>n</i> C ₈	10	22
2MC ₇	21,7	24
4MC ₇	26,7	39
24MC ₆	65,2	69,9
224MC ₅	100	100
MCC ₅	81	91,3
CC ₆	77,2	83
ECC ₅	62	67,2
MCC ₆	71,1	74,8
ECC ₆	41	46,5
12MCC ₆	78,6	80,9
Toluene	102,5	115,7
<i>i</i> Propyl-benzene	99	108
<i>p</i> -Xylene	100,6	116,4

1.2 Химизм процесса

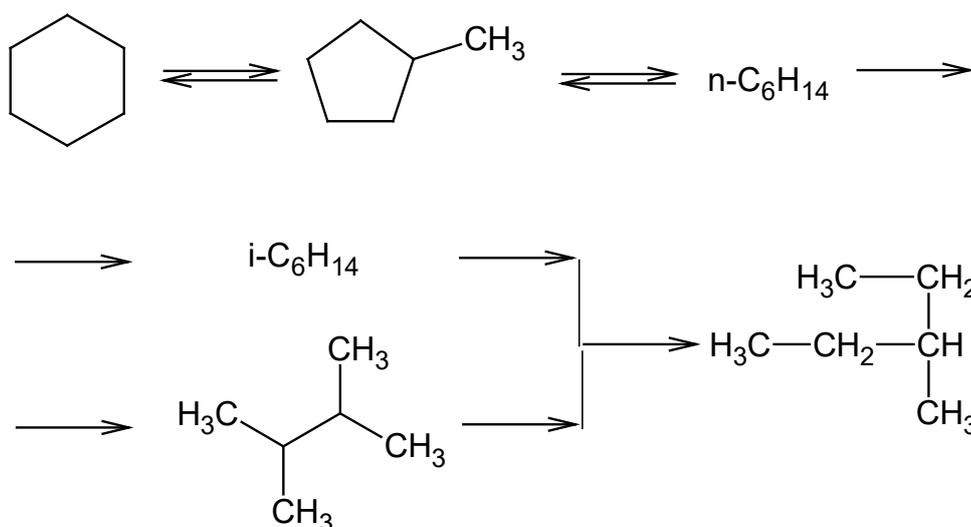
Как было сказано выше, основным сырьем для изомеризации выступают низкооктановые компоненты фракций нефти, имеющих низкую температуру выкипания. Кроме того, изомеризации подвергаются *n*-пентаны и *n*-гексаны. Также в качестве сырья для изомеризации могут выступать и многие другие углеводороды.

Все реакции изомеризации являются обратимыми. Процесс протекает при циркуляции водорода. При изомеризации наблюдается небольшой экзотермический эффект. Обычно он составляет от 2 до 20 кДж/моль. При реакциях изомеризации объем реакционной смеси остается постоянным [3, стр. 11].

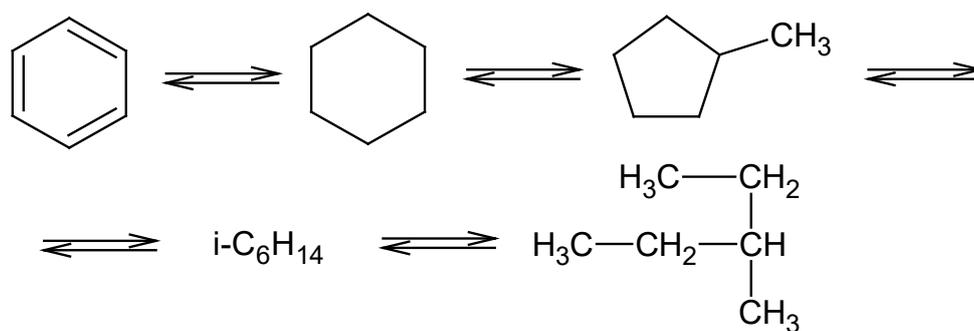
Изомеризация парафинов протекает по реакции [1]:



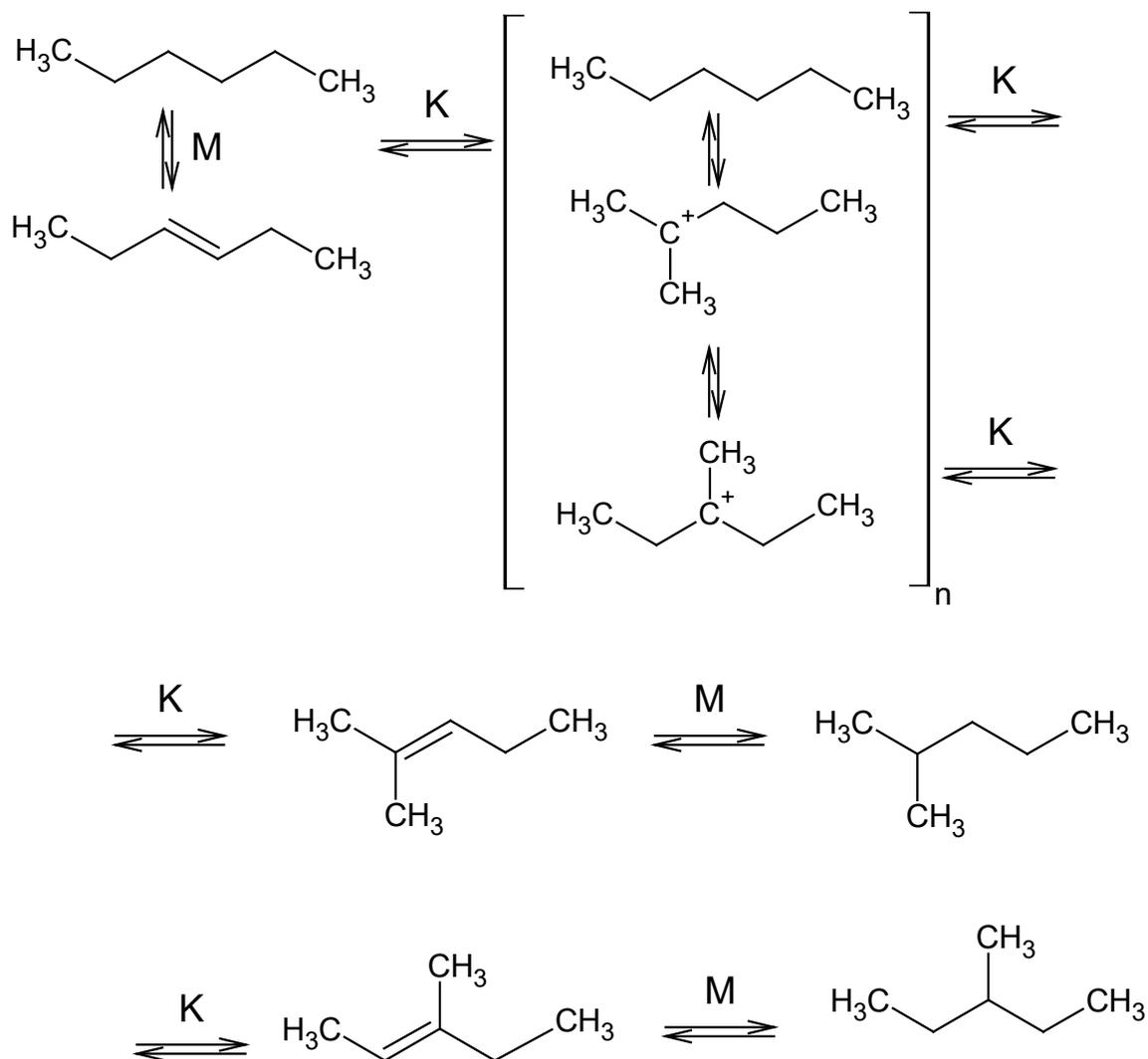
Изомеризация наftenов протекает по реакции [1]:



Изомеризация бензола протекает по следующей реакции [1]:



Механизм реакции изомеризации зависит от используемого катализатора. Процесс изомеризации, проводящийся на бифункциональных катализаторах, описывается следующей схемой [2]:



Процесс на бифункциональных катализаторах проводится при повышенном давлении во избежание закоксовывания катализатора. Также для этого необходима циркуляция водорода.

Термодинамическое равновесие реакций изомеризации определяется только температурой процесса. В зависимости от температурных условий процесса состав парафиновых углеводородов различается. Данные по равновесному составу продуктов изомеризации представлены в таблице 1.2 [2].

Таблица 1.2 – Равновесный состав смесей парафиновых углеводородов

Углеводород	Состав, % мол.				
	25°C	127°C	227°C	327°C	527°C
C ₄					
<i>n</i> C ₄	28	44	54	60	68
<i>i</i> C ₄	72	56	46	40	32
C ₅					
<i>n</i> C ₅	3	11	18	24	32
MC ₄	44	65	63	67	63
di-MC ₄	53	24	13	9	5
C ₆					
<i>n</i> C ₆	1,3	6,3	13	19	26
метилпентаны	9,6	23,5	36	42	64
диметилбутаны	89,1	70,2	51	39	10

Как видно из таблицы, при невысокой температуре увеличивается выход изомеров алканов.

1.3 Относительные скорости реакций изомеризации прямогонных бензиновых фракций и их роль в процессе

Из выше сказанного следует, что равновесный выход изомеров при установившемся равновесии реакции обратно пропорционален росту температуры. Однако для достижения высокого выхода целевых продуктов необходимо длительное пребывание реакционной смеси в аппарате. Также достигнуть большого равновесного выхода изомеров можно снизив объемную

скорость подачи сырья. Совокупность данных условий в процессе изомеризации при невысокой температуре не позволяет получить высокий выход изомеров, т.к. они в целом препятствуют протеканию реакции с большой скоростью. Как следствие, повышение температуры позволяет увеличить скорость реакции, а, соответственно, увеличивается выход целевых продуктов. Единственным условием сдерживающим рост выхода продуктов изомеризации является термодинамическое равновесие процесса.

Из всего выше сказанного можно сделать вывод об ограничении выхода изомеризата скоростью реакции при условии низких температур. В случае проведения процесса при высокой температуре – термодинамическим равновесием (рисунок 1) [4].

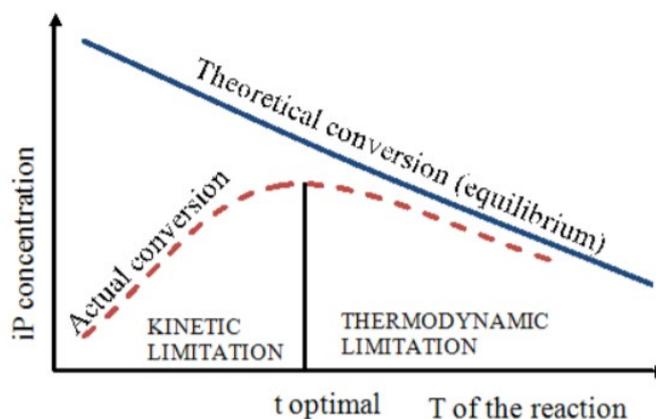


Рисунок 1 – Скорость реакции изомеризации

Скорость изомеризации углеводородов зависит не только от температуры. Она возрастает с увеличением молекулярного веса углеводородов. Относительные скорости изомеризации представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Относительные скорости изомеризации

	При 340°C	При 360°C
<i>n</i> -Пентан	1	1
<i>n</i> -Гексан	2,1	1,9
<i>n</i> -Гептан	3,1	2,9
<i>n</i> -Октан	4,2	-

Кроме того, скорость реакции зависит от давления. На рисунке 2 показана зависимость скорости изомеризации от давления при температуре 80°C [5].

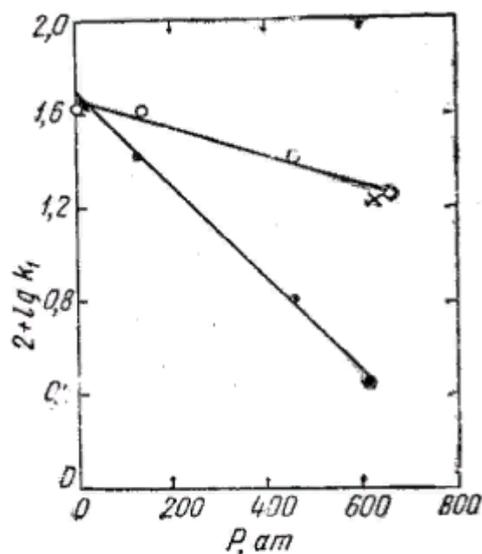


Рисунок 2 – Влияние давления на скорость изомеризации

Относительные скорости реакции изомеризации зависят от многих факторов, в том числе и от применяемого катализатора. От относительной скорости зависит время процесса изомеризации.

1.4 Катализаторы процесса

Катализаторы, используемые в процессах изомеризации разделяют на три типа в зависимости от условий процесса [6]:

1. Фторированные алюмоплатиновые катализаторы, являющиеся высокотемпературными катализаторами (360-440°C).
2. Цеолитные катализаторы, представляющие собой класс среднетемпературных катализаторов (250-300°C).
3. Катализаторы на основе оксида алюминия, промотированном хлором, и катализаторы на сульфатированных оксидах металлов, относящиеся к низкотемпературным катализаторам (120-180°C и 120-210°C соответственно).

В современной промышленности используются только катализаторы для средне- и низкотемпературной изомеризации. Наблюдается тенденция перехода на биметаллические катализаторы [7].

Хлорированный оксид алюминия, на который нанесено небольшое количество платины (0,2-0,4%, масс.) является самым активным в ряду

низкотемпературных катализаторов. Катализаторы получили широкое распространение в промышленности несмотря на такие недостатки как невозможность регенерации и высокая чувствительность к различным примесям сырья. Наибольшее влияние на алюмохромовые катализаторы оказывают сера, вода и соединения, содержащие кислород и/или азот [9].

В промышленности широкое распространение получили также цеолитные катализаторы. Катализаторы, используемые в процессах изомеризации, имеют тип модернит. Такие катализаторы имеют в своем составе платину или палладий. Они гораздо менее чувствительны к примесям, содержащимся в исходном сырье. Это является преимуществом перед алюмохлоридными катализаторами, т.к. исключается стадия осушки и очистки сырья. Кроме того цеолитные катализаторы можно регенерировать и вновь использовать. При этом регенерацию можно производить прямо в реакторах. Несмотря на все достоинства цеолитных катализаторов, они имеют существенный недостаток – невысокая кислотность [9].

В последние годы все более широкое распространение получают катализаторы на основе сульфатированного диоксида циркония (SZ). Они позволяют проводить процесс в мягких условиях, а именно при температуре 140-220°C. Кроме температурного режима катализаторы на основе сульфатированного диоксида циркония обладают и другими преимуществами. Они обладают очень высокой каталитической активностью. Кроме того данные катализаторы не требуют тщательной очистки сырья, т.к. обладают высокой стойкостью к примесям, выступающим ядами для катализаторов. Катализаторы на основе сульфатированного диоксида циркония имеют в своем составе около 75-80% оксида циркония, 6-14% сульфат-ионов, 5-15% оксида алюминия, выступающего в роли связующего, и 0,2-0,4% платины, являющейся активным металлом. Принимая во внимание все преимущества катализаторов на основе сульфатированного диоксида циркония, можно сделать вывод о перспективности их применения в процессах изомеризации [9].

В настоящее время в нашей стране производят несколько типов катализаторов для проведения процесса изомеризации прямогонной бензиновой фракции [2]:

1. Катализатор алюмоплатиновый ИП-62ВК. Он представляет собой основу в виде фторированного $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ с нанесенной платиной. Данный катализатор используется для высокотемпературного режима изомеризации. В качестве сырья выступают *n*-пентан и легкие бензиновые нефтяные фракции. Для данного катализатора очистка и осушка сырья не нужна.

2. Катализатор алюмоплатиновый ИП-82. Он представляет собой платину, нанесенную на ZrO_2/SO_4 . Основа ZrO_2/SO_4 содержит фтор и представляет собой экструдаты. Данный катализатор используется для высокотемпературной изомеризации. В качестве сырья выступают *n*-пентан и пентан-гексановые фракции.

3. Катализатор НИП-3А. Он представляет собой композицию платины и промоторов на $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Данный катализатор используется для низкотемпературной изомеризации. В качестве сырья выступают *n*-алканы.

4. Катализатор СИП-2Л. Он представляет собой платину и промотор, нанесенные на основу. В качестве основы выступают смесь цеолита и оксида алюминия. Также в состав основы входят модифицирующие добавки. Данный катализатор используется для среднетемпературной изомеризации. В качестве сырья выступают *n*-пентан и фракции $\text{C}_5\text{-C}_6$.

5. Катализатор СИ-2. Он представляет собой платину, нанесенную на комбинированную основу из оксида циркония и оксида алюминия. Данный катализатор используется для среднетемпературной изомеризации. В качестве сырья используется легкая бензиновая фракция.

6. Катализатор «ХАИЗОПАР». Он представляет собой модернит, промотированный платиной. Данный катализатор используется для среднетемпературной изомеризации. В качестве сырья используется смесь из низкокипящей фракции 30-70°C, фракции C_5 и легкого риформата.

Сравнительная характеристика рассмотренных катализаторов приведена в таблицах 1.4 и 1.5.

Таблица 1.4 – Физико-химические характеристики катализаторов

Показатели	ИП-62ВК	ИП-82	НИП-3А	СИП-2А	СИ-2	ХАЙЗОПАР
Содержание платины, % масс.	0,55	0,45	0,25-0,3	0,3-0,4	0,3±0,02	0,35
Насыпная плотность, г/см ³	0,6-0,7	≤0,8	0,75	0,65-0,75	≤1,3	0,65±0,05
Диаметр экструдатов	2,6-3	2,8±0,2	1,5-2	1,5-2	2,8±0,3	1,5
Индекс прочности средний, кг/мм, не менее	1	1±0,2	1	1	1	2

Таблица 1.5 – Сравнительная характеристика процессов на катализаторах

Наименование	ИП-62ВК	ИП-82	СИП-2А	НИП-3А	СИ-2 (за проход)
Состав катализатора	Pt/γ-Al ₂ O ₃ -F	Pt/γ-Al ₂ O ₃ -F	Pt/n-модернит	Pt/n-Al ₂ O ₃ -Cl	Pt/ZrO ₂ -SO ₄
T, °C	360-400	360-390	250-290	120-200	120-140
P, МПа	3,5	2,5-3,5	2,5-3	2,5-3,5	2-3
Объемная скорость подачи сырья, ч ⁻¹	2	2	2	1,5-2	2-3,5
Соотношение Н ₂ :СН (мольн.)	-	2-3:1	2-3:1	0,2-3:1	1,5-2:1
ИОЧ	-	68-76	70-80	78-84	82-84
Выход изомеризата, % масс.	98	95-96	93-97	98	98

Для процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций также используются жидкофазные катализаторы. Они позволяют проводить процесс при температуре всего 20-60°C. При этом степень конверсии достигает 50-60%.

Жидкофазные катализаторы представляют собой ионные жидкости, состоящие из расплавов солей. Наиболее распространенные жидкости представлены ниже [2]

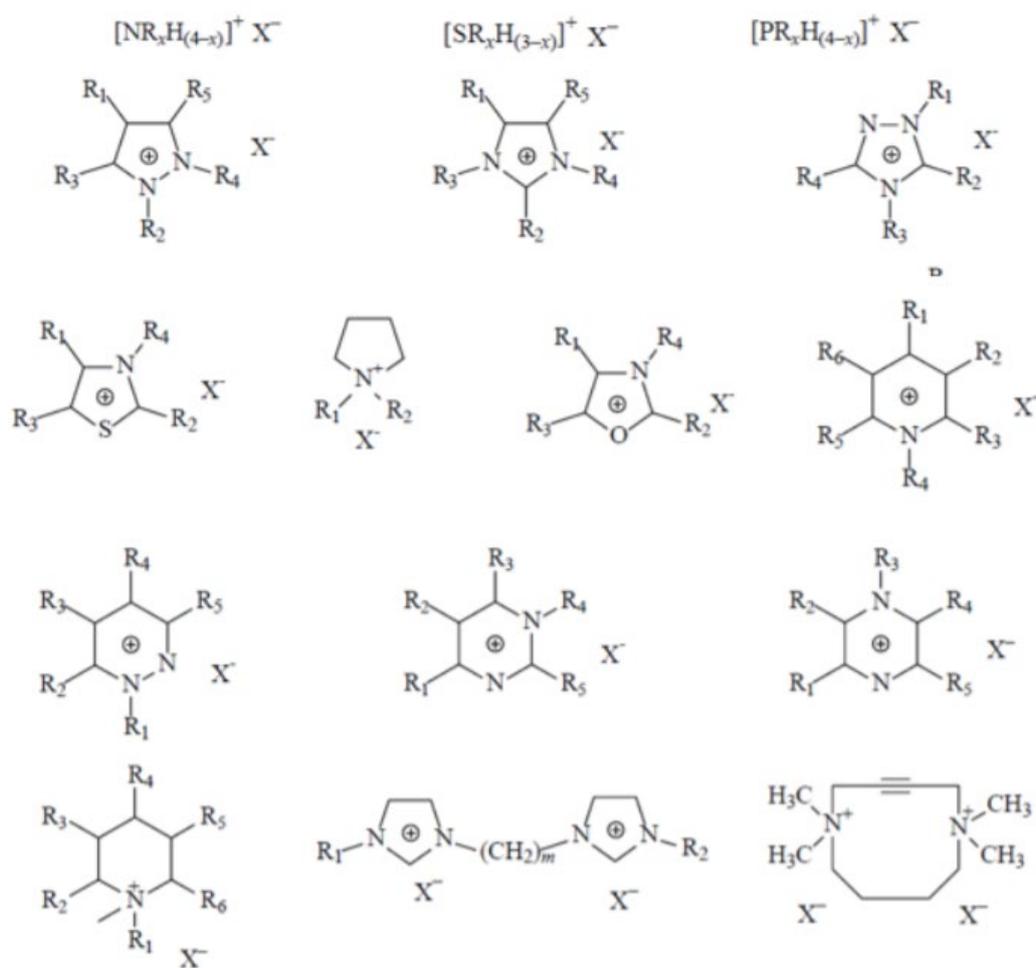


Рисунок 3 – Жидкофазные катализаторы

В таблице 1.6 представлены сравнительные характеристики ионной жидкости на основе хлорида алюминия и некоторых кислотных катализаторов [2].

Таблица 1.6 – Сравнение активности катализаторов

Катализатор	Температура процесса, T , °C	Конверсия, %
ИЖ- AlCl_3	30	40
AlCl_3	30	1,8
	90	32
SO_4/ZrO_2	90	1,5
$\text{H}_4\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$	20	1,6
	90	1,1
H_2SO_4 (конц.)	90	0

Из таблицы 1.6 видно, что наибольшей активностью обладает ионная жидкость на основе хлорида алюминия.

В качестве модифицирующих добавок к данной ионной жидкости используют адамантан, третбутилхлорид, метилциклопентан и 1,3-дметилциклопентан. Из этих добавок наибольшей активностью обладает адамантан. Он повышает активность ионной жидкости на основе хлорида алюминия почти в два раза. При этом селективность процесса возрастает до 95%.

1.4.1 Биметаллические катализаторы

Биметаллические могут быть разделены на два больших класса: нанесенные и ненанесенные.

Нанесенные катализаторы состоят из основы и нанесенного на нее модификатора. В качестве основы для катализаторов, участвующих в процессе изомеризации бензиновых фракций, широкое применение нашли оксиды алюминия, цеолиты и оксид циркония. Каждый из этих носителей имеет свои свойства, что необходимо учитывать при выборе модификаторов. В совокупности с модификатором основа представляет собой активный катализатор, свойства которого варьируются в зависимости от подобранных компонентов. При этом носитель в одиночку каталитических свойств не проявляет [8].

Наибольшее распространение в качестве модификаторов для катализаторов, участвующих в процессе изомеризации прямогонных бензиновых фракций, нашли медь, цинк, кадмий, индий, РЗЭ, молибден, марганец, железо и другие. Все используемые модификаторы имеют различное воздействие на носитель. К примеру, рений, германий, хром, медь и иридий влияют на дегидроциклизирующие свойства платинового катализатора, усиливая их. Также модификаторы могут снижать чувствительность катализаторов к ядам. Кроме того, с помощью модификаторов можно снизить гидрокрекирующие свойства катализатора. Также промотеры второй группы повышают термостабильность катализатора. Ко второй группе относятся все остальные

металлы, используемые в качестве модификаторов для катализаторов изомеризации.

В сравнении с монометаллическими катализаторами биметаллические катализаторы имеют преимущество, заключающееся в получении большего количества изомеров в изомеризате при относительно меньшей температуре. Данное утверждение показано на графиках (рисунок 4).

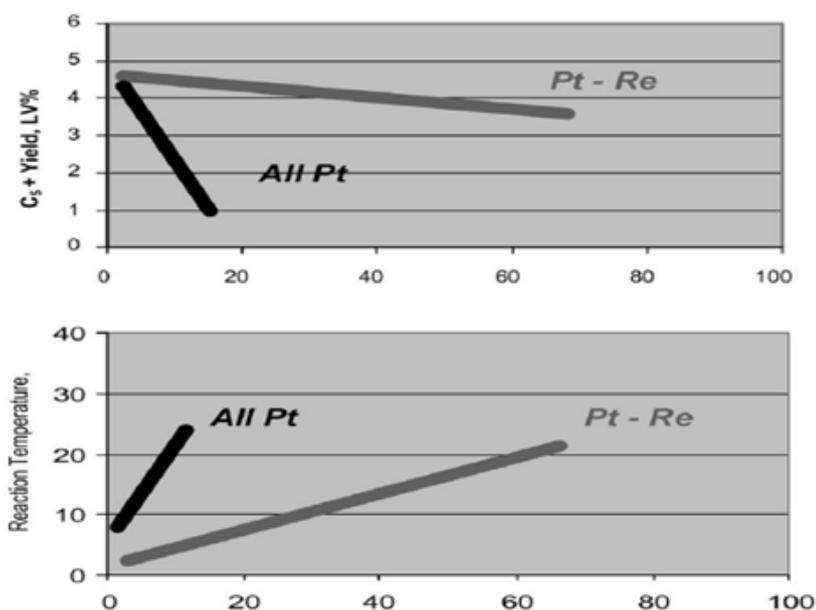


Рисунок 4 – Сравнение моно- и биметаллических катализаторов

Из биметаллических катализаторов Pt-Ir превосходит по стабильности и активности в реакциях дегидроциклизации парафинов не только монометаллический, но и Pt-Re катализатор. Применение биметаллических катализаторов позволило снизить давление риформинга (от 3,5 до 2-1,5 МПа) и увеличить выход бензина с ОЧИМ до 95 пунктов примерно на 6%. К используемым в промышленности биметаллическим катализаторам так же относятся Pt, Ge/ γ -Al₂O₃, Pt, Sn/ γ -Al₂O₃, Pt, In/ γ -Al₂O₃ [18].

1.4.2 Активность и селективность катализатора

Активность и селективность катализаторов зависят от технологических параметров проведения процесса изомеризации. Особое влияние имеет температура. С ее ростом увеличивается закоксованность катализаторов. Кроме

того, на активность катализатора имеет влияние природа и количество носителя катализатора [12].

Каталитические свойства биметаллических катализаторов проявляются за счет активных кислотно-основных центров, которые располагаются на их поверхности.

Различные модификаторы имеют разное влияние на активность платиновых центров с течением времени. Различие между чистым металлом и соединением с модификаторами показано на рисунке 5. [19]

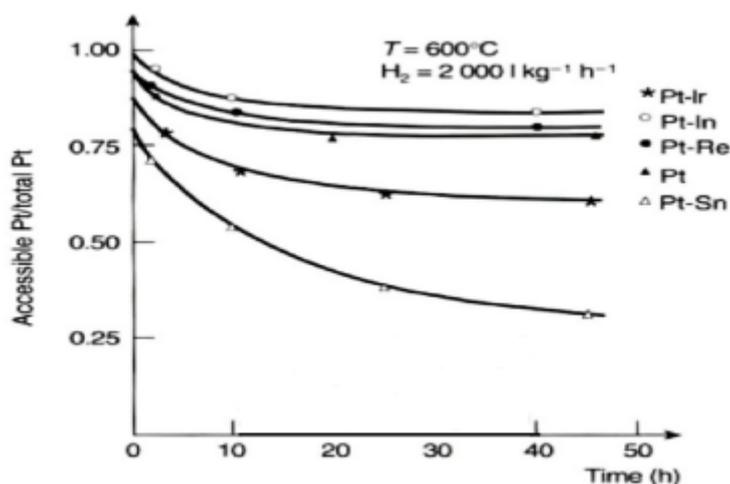


Рисунок 5 – Влияние промоуторов на доступность активных центров со временем

1.5 Влияние основных параметров на процесс изомеризации

Как и на любой химический процесс, на процесс изомеризации имеют влияние основные параметры. В данном процессе такими параметрами являются температура, давление, соотношение водородбуглеводороды, объемная скорость подачи сырья, время реакции и состав исходного сырья. Кроме того, на процесс изомеризации прямогонных бензиновых фракций имеет влияние водород. Рассмотрим влияние каждого параметра.

Температура. Как было сказано выше, скорость реакции напрямую связана с температурой процесса. Единственным фактором, ограничивающим скорость реакции, является термодинамическое равновесие реакции. Также повышение температуры ограничивается образованием закоксовывающих веществ на

поверхности катализатора. Еще одним фактором для слишком высокого повышения температуры является увеличение расхода кислорода в процессе. Расход кислорода также связан с отложением коксующих веществ на катализаторе. Также при сильном завышении температуры снижается выход изомеров [3, стр. 17].

Давление. Влияние давления на равновесие реакции не выявлено. Однако давление оказывает влияние на кинетику целевых и побочных реакций. С ростом давления равновесие реакции смещается влево. При этом возрастает скорость реакции. Зависимость процесса изомеризации от давления при мольном соотношении $H_2:C_6H_{14}$ и постоянном времени контакта приведены в таблице 1.7 [3, стр. 17].

Таблица 1.7 – Влияние давления на процесс изомеризации

Давление, МПа	0,63	2,2	2,2	4,9	4,9
Температура, °С	316	316	344	318	345
Степень превращения, % мольн.	60,7	32	65,6	14,5	33,5
Выход изогексанов, % мольн.	49,8	31,3	59,2	13,1	31
Селективность	0,82	0,98	0,9	0,91	0,93

Как видно, повышение давления свыше 4 МПа нецелесообразно.

Соотношение водород:углеводороды. Увеличение парциального давления водорода снижает коксообразование. Однако на выход целевых продуктов изменение соотношения не влияет. В таблице 8 представлено влияние мольного соотношения водород:гексан на процесс изомеризации [3, стр. 18].

Из таблицы 1.8 видно, что оптимальным соотношением является 0,1-4:1. Увеличение соотношения свыше 4 не приводит к увеличению скорости дезактивации катализатора. Однако при этом уменьшается скорость самого процесса изомеризации.

Таблица 1.8 – Влияние соотношения $H_2:C_6H_{14}$ на процесс изомеризации

Показатели	0,5:1		2:1		8:1	
	316°C	348°C	316°C	348°C	316°C	348°C
Степень превращения гексана, %	22,4	51,7	20,1	52,5	18,5	50
Выход изогексанов, %	22,1	50,4	19,1	50,9	17,6	49,3
Селективность	0,99	0,98	0,95	0,97	0,95	0,99

Объемная скорость подачи сырья. Объемная скорость подачи сырья связана с температурой. Чтобы ее повысить вдвое, необходимо увеличение температуры всего на 8-11°C. Объемная скорость подачи сырья и температура имеют противоположное друг другу влияние на скорость процесса изомеризации [3, стр. 19].

Время реакции. От времени реакции зависит степень изомеризации, однако практически не зависит селективность процесса. Это объясняется невысокой скоростью побочных реакций [3, стр. 19].

Сырье. Скорость реакции зависит от числа атомов углеводородов. Чем больше атомов углерода в цепи, тем выше скорость процесса. Зависимость выхода изомеризата от содержания фракции C_7 в сырье показана на рисунке 6 [21]. Поэтому целесообразно раздельное проведение процессов для алканов и алкенов. Также раздельная изомеризация целесообразна для различных нефтяных фракций [3, стр. 20].

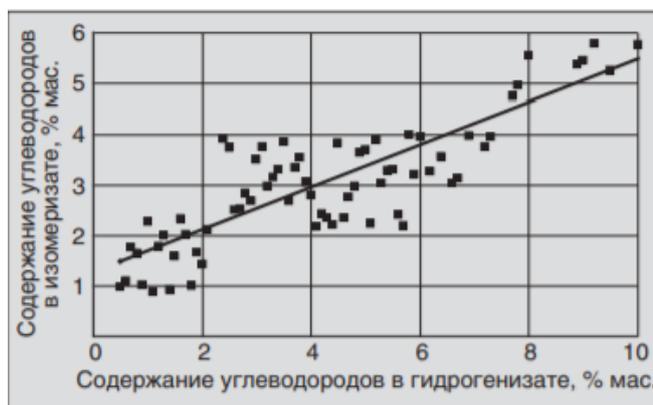


Рисунок 6 – Зависимость выхода изомеризата C_7 от его содержания в сырье

Роль водорода. Реакцию изомеризации проводят в среде водорода. Водород препятствует образованию соединений на поверхности катализатора, что определяет работоспособность катализатора.

1.6 Подходы к моделированию процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций

Для процессов данного типа в основном используются математическое моделирование. Он является системным подходом. Однако в виду сложности процесса, при использовании данного метода возникают определенные трудности. Описание производственной системы представляет собой сложную совокупность математических уравнений.

Построение физико-химической модели процесса в общем случае включает в себя следующие стадии:

1. сбор экспериментальных данных с действующих промышленных установок и их анализ;
2. изучение реакций, проходящих на поверхности катализатора, и исследование их механизма;
3. составление списка возможных химических реакций, протекающих в ходе процесса;
4. термодинамическая вероятность протекания реакций из ранее составленного списка;
5. выбор и обоснование уровня детализации схемы превращений углеводородов и гидродинамической модели реактора;
6. составление материального и теплового баланса в виде системы дифференциальных уравнений;
7. оценка кинетических параметров модели с использованием экспериментальных данных;
8. проверка модели на адекватность.

Для построения модели процесса в современных условиях используются ЭВМ, которая значительно облегчает проведение сложных расчетов.

1.6.1 Кинетические модели

Рассмотрим составление кинетической модели на примере изомеризации пентан-гексановой фракции.

При проведении процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций на биметаллических катализаторах реакция имеет карбоний-ионный механизм. При таком механизме реакции основным фактором является термодинамика процесса. При проведении термодинамического анализа выявляются реакции, протекающие в заданных условиях. Оценку вероятности протекания реакций при температуре 150 °С (423 К) и давлении 3,2 МПа оценивают по значению энергии Гиббса ΔG . Данные сведены в таблицу 1.9 [14, 15].

Таблица 1.9 – Уравнения реакций процесса каталитической изомеризации пентан-гексановой фракции и значения термодинамических характеристик

Реакция	ΔH , кДж/моль	ΔG , кДж/моль
$n\text{-C}_5\text{H}_{12} \leftrightarrow i\text{-C}_5\text{H}_{12}$	-8,22	-5,76
$n\text{-C}_6\text{H}_{14} \leftrightarrow 2\text{-МП}$	-6,98	-3,77
$n\text{-C}_6\text{H}_{14} \leftrightarrow 3\text{-МП}$	-4,44	-7,60
$n\text{-C}_6\text{H}_{14} \leftrightarrow 2,2\text{-ДМБ}$	-18,53	-5,60
$n\text{-C}_6\text{H}_{14} \leftrightarrow 2,3\text{-ДМБ}$	-10,93	-0,99
$2\text{-МП} \leftrightarrow 3\text{-МП}$	-2,54	-3,02
$2,2\text{-ДМБ} \leftrightarrow 2,3\text{-ДМБ}$	-7,61	-4,61
$\text{БЗ} + \text{H}_2 \leftrightarrow \text{ЦГ}$	-213,94	-52,65
$\text{БЗ} + \text{H}_2 \leftrightarrow \text{МЦП}$	-197,03	-53,83
$\text{ЦГ} \leftrightarrow \text{МЦП}$	-112,34	49,10
$n\text{-C}_6\text{H}_{14} \leftrightarrow \text{ЦГ} + \text{H}_2$	8,57	7,82
$2\text{-МП} \leftrightarrow \text{МЦП} + \text{H}_2$	-66,96	-29,59
$3\text{-МП} \leftrightarrow \text{МЦП} + \text{H}_2$	-64,42	-26,58
$2,2\text{-ДМБ} \leftrightarrow \text{МЦП} + \text{H}_2$	-78,51	-31,43
$2,3\text{-ДМБ} \leftrightarrow \text{МЦП} + \text{H}_2$	-70,91	-26,82

Продолжение таблицы 1.9

$\text{МЦП} + \text{H}_2 \leftrightarrow 3\text{-МП}$	-64,42	-26,58
$n\text{-C}_5\text{H}_{12} + \text{H}_2 \leftrightarrow \text{C}_3\text{H}_8 + \text{C}_2\text{H}_6$	-44,49	49,96
$n\text{-C}_5\text{H}_{12} + \text{H}_2 \leftrightarrow n\text{-C}_4\text{H}_{10} + \text{CH}_4$	-56,57	-61,66
$n\text{-C}_6\text{H}_{14} + \text{H}_2 \leftrightarrow 2\text{C}_3\text{H}_8$	-37,94	-48,88
$n\text{-C}_6\text{H}_{14} + \text{H}_2 \leftrightarrow n\text{-C}_4\text{H}_{10} + \text{C}_2\text{H}_6$	-45,91	-51,80
$n\text{-C}_6\text{H}_{14} + \text{H}_2 \leftrightarrow n\text{-C}_5\text{H}_{12} + \text{CH}_4$	-56,14	-47,34
$n\text{-C}_6\text{H}_{14} + \text{H}_2 \leftrightarrow i\text{-C}_5\text{H}_{12} + \text{CH}_4$	-64,35	-66,71
$2\text{-МП} + \text{H}_2 \leftrightarrow i\text{-C}_4\text{H}_{10} + \text{C}_2\text{H}_6$	-47,38	-49,82
$3\text{-МП} + \text{H}_2 \leftrightarrow i\text{-C}_5\text{H}_{12} + \text{CH}_4$	-59,91	-65,95
$2,3\text{-ДМБ} + \text{H}_2 \leftrightarrow i\text{-C}_4\text{H}_{10} + \text{C}_2\text{H}_6$	-43,44	-52,63
$2,3\text{-ДМБ} + \text{H}_2 \leftrightarrow i\text{-C}_5\text{H}_{12} + \text{CH}_4$	-53,43	-65,71
$i\text{-C}_5\text{H}_{12} + \text{H}_2 \leftrightarrow i\text{-C}_4\text{H}_{10} + \text{CH}_4$	-56,82	-57,71
$2,2\text{-ДМБ} + \text{H}_2 \leftrightarrow i\text{-C}_4\text{H}_{10} + \text{C}_2\text{H}_6$	-35,83	-48,05
$2,2\text{-ДМБ} + \text{H}_2 \leftrightarrow i\text{-C}_5\text{H}_{12} + \text{CH}_4$	-45,82	-61,11

Используя кинетический закон действующих масс, записываются уравнения реакций при заданной температуре. При соблюдении данного закона, скорость элементарной химической реакции прямо пропорциональна

произведению концентрации веществ, вступающих в реакцию, в степени, обозначающей число вступающих во взаимодействие частиц, т.е. учитывающей стехиометрические коэффициенты уравнения реакции. Кинетические уравнения представлены в таблице 1.10 [13, 15].

Таблица 1.10 – Кинетические уравнения процесса каталитической изомеризации

Реакция	Кинетическое уравнение
$n\text{-C}_5\text{H}_{12} \leftrightarrow i\text{-C}_5\text{H}_{12}$	$W_1 = k_1 x_1 - k_2 x_2$
$n\text{-C}_6\text{H}_{14} \leftrightarrow 2\text{-МП}$	$W_2 = k_3 x_3 - k_4 x_4$
$n\text{-C}_6\text{H}_{14} \leftrightarrow 3\text{-МП}$	$W_3 = k_5 x_3 - k_6 x_5$
$n\text{-C}_6\text{H}_{14} \leftrightarrow 2,2\text{-ДМБ}$	$W_4 = k_7 x_3 - k_8 x_6$
$n\text{-C}_6\text{H}_{14} \leftrightarrow 2,3\text{-ДМБ}$	$W_5 = k_9 x_3 - k_{10} x_7$
$2\text{-МП} \leftrightarrow 3\text{-МП}$	$W_6 = k_{11} x_4 - k_{12} x_5$
$2,2\text{-ДМБ} \leftrightarrow 2,3\text{-ДМБ}$	$W_7 = k_{13} x_6 - k_{14} x_7$
$\text{БЗ} + \text{H}_2 \leftrightarrow \text{ЦГ}$	$W_8 = k_{15} x_8 x_9^3 - k_{16} x_{10}$
$\text{БЗ} + \text{H}_2 \leftrightarrow \text{МЦП}$	$W_9 = k_{17} x_8 x_9^3 - k_{18} x_{11}$
$\text{ЦГ} \leftrightarrow \text{МЦП}$	$W_{10} = k_{19} x_{10} - k_{20} x_{11}$
$n\text{-C}_6\text{H}_{14} \leftrightarrow \text{ЦГ} + \text{H}_2$	$W_{11} = k_{21} x_3 - k_{22} x_{10} x_9$
$2\text{-МП} \leftrightarrow \text{МЦП} + \text{H}_2$	$W_{12} = k_{23} x_4 - k_{23} x_{11} x_9$
$3\text{-МП} \leftrightarrow \text{МЦП} + \text{H}_2$	$W_{13} = k_{25} x_5 - k_{26} x_{11} x_9$
$2,2\text{-ДМБ} \leftrightarrow \text{МЦП} + \text{H}_2$	$W_{14} = k_{27} x_6 - k_{28} x_{11} x_9$
$2,3\text{-ДМБ} \leftrightarrow \text{МЦП} + \text{H}_2$	$W_{15} = k_{29} x_7 - k_{30} x_{11} x_9$
$\text{МЦП} + \text{H}_2 \leftrightarrow 3\text{-МП}$	$W_{16} = k_{31} x_{11} x_9$
$n\text{-C}_5\text{H}_{12} + \text{H}_2 \leftrightarrow \text{C}_3\text{H}_8 + \text{C}_2\text{H}_6$	$W_{17} = k_{32} x_1 x_9$
$n\text{-C}_5\text{H}_{12} + \text{H}_2 \leftrightarrow n\text{-C}_4\text{H}_{10} + \text{CH}_4$	$W_{18} = k_{33} x_1 x_9$
$n\text{-C}_6\text{H}_{14} + \text{H}_2 \leftrightarrow 2\text{C}_3\text{H}_8$	$W_{19} = k_{34} x_9$
$n\text{-C}_6\text{H}_{14} + \text{H}_2 \leftrightarrow n\text{-C}_4\text{H}_{10} + \text{C}_2\text{H}_6$	$W_{20} = k_{35} x_3 x_9$
$n\text{-C}_6\text{H}_{14} + \text{H}_2 \leftrightarrow n\text{-C}_5\text{H}_{12} + \text{CH}_4$	$W_{21} = k_{36} x_3 x_9$
$n\text{-C}_6\text{H}_{14} + \text{H}_2 \leftrightarrow i\text{-C}_5\text{H}_{12} + \text{CH}_4$	$W_{22} = k_{37} x_3 x_9$
$2\text{-МП} + \text{H}_2 \leftrightarrow i\text{-C}_4\text{H}_{10} + \text{C}_2\text{H}_6$	$W_{23} = k_{38} x_4 x_9$

Продолжение таблицы 1.10

$3\text{-МП} + \text{H}_2 \leftrightarrow i\text{-C}_5\text{H}_{12} + \text{CH}_4$	$W_{24} = k_{39}x_5x_9$
$2,3\text{-ДМБ} + \text{H}_2 \leftrightarrow i\text{-C}_4\text{H}_{10} + \text{C}_2\text{H}_6$	$W_{25} = k_{40}x_7x_9$
$2,3\text{-ДМБ} + \text{H}_2 \leftrightarrow i\text{-C}_5\text{H}_{12} + \text{CH}_4$	$W_{26} = k_{41}x_7x_9$
$i\text{-C}_5\text{H}_{12} + \text{H}_2 \leftrightarrow i\text{-C}_4\text{H}_{10} + \text{CH}_4$	$W_{27} = k_{42}x_2x_9$
$2,2\text{-ДМБ} + \text{H}_2 \leftrightarrow i\text{-C}_4\text{H}_{10} + \text{C}_2\text{H}_6$	$W_{28} = k_{43}x_6x_9$
$2,2\text{-ДМБ} + \text{H}_2 \leftrightarrow i\text{-C}_5\text{H}_{12} + \text{CH}_4$	$W_{29} = k_{44}x_6x_9$

Обозначения: x_i – концентрации компонентов в мольных долях, x_1 – н-пентан, x_2 – изопентан, x_3 – н-гексан, x_4 – 2-МП, x_5 – 3-МП, x_6 – 2,2-ДМБ, x_7 – 2,3-ДМБ, x_8 – бензол, x_9 – водород, x_{10} – ЦГ, x_{11} – МЦП, x_{12} – пропан, x_{13} – этан, x_{14} – н-бутан, x_{15} – метан, x_{16} – изобутан, k_j – кинетическая константа скорости j -ой реакции, л·моль⁻¹·ч⁻¹ ($j = 8, 9, 11\text{--}29$), ч⁻¹ ($j = 1\text{--}7, 10$), W_j – скорость j -ой реакции, моль/(л·ч).

Скорости реакций, входящие в кинетическую модель были записаны согласно закону действующих масс. [16].

1.7 Классификация технологий изомеризации прямогонных бензиновых фракций

Основной классификацией технологии изомеризации является температурный режим процесса. По данному фактору выделяют низкотемпературную, среднетемпературную и высокотемпературную изомеризацию.

Технологии изомеризации различают по типу применяемого катализатора. В таблице 1.11 приведена сравнительная характеристика технологий процесса по типам катализаторов [10].

Таблица 1.11 – Сравнительная характеристика типов катализаторов

Технология	Достоинства	Недостатки
Цеолитные катализаторы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Низкая чувствительность катализатора к ядам. 2. Возможность регенерации. 3. Сравнительно долгий срок эксплуатации. 4. Не требуется подача хлорорганического вещества 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая температура процесса (240– 280°C). 2. Невозможность получения высокого октанового числа. 3. Необходимость поддержания высокого мольного соотношения $H_2 : CH_4$ (необходим компрессор циркуляции ВСГ и сепаратор для его отделения). 4. Большие капитальные и эксплуатационные затраты.
Хлорированные катализаторы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Низкая температура процесса (120– 180°C). 2. Высокое октановое число (ОЧИ = 91–93). 3. Высокий выход изомеризата. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Необходимость непрерывной подачи хлорагента. 2. Образование отходов. 3. Жесткие требования к сырью по содержанию примесей. 4. Высокая чувствительность к каталитическим ядам. 5. Полная потеря активности после проскока ядов. 6. Нерегенерируемость.
Циркониевые катализаторы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Низкая температура процесса (120– 190°C). 2. Высокое октановое число (ОЧИ = 91–92). 3. Высокая устойчивость к каталитическим ядам. 4. Длительный срок службы. 5. Регенерируемость. 6. Не требуется подача хлорорганического вещества. 7. Высокий выход изомеризата 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Необходимость поддержания высокого мольного соотношения $H_2 : CH_4$ (необходим компрессор циркуляции ВСГ и сепаратор для его отделения).

На рисунках 7-9 показаны принципиальные технологические схемы процессов с применением различных катализаторов [4].

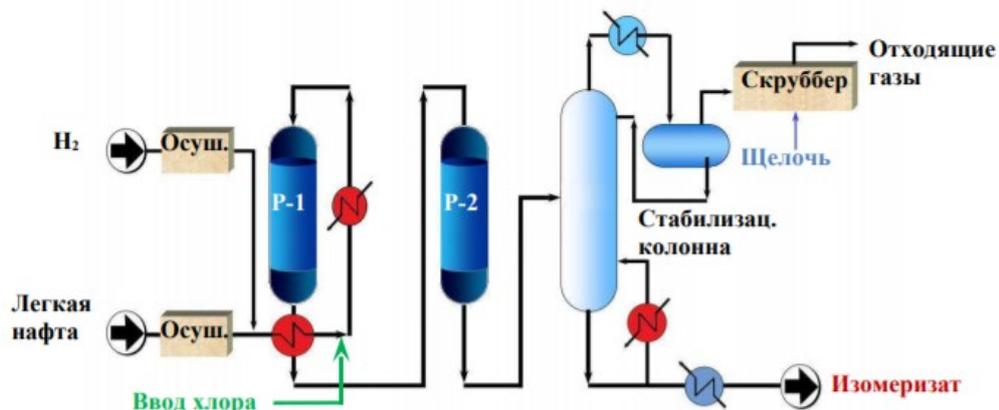


Рисунок 7 – Технологическая схема процесса изомеризации на хлорированных катализаторах

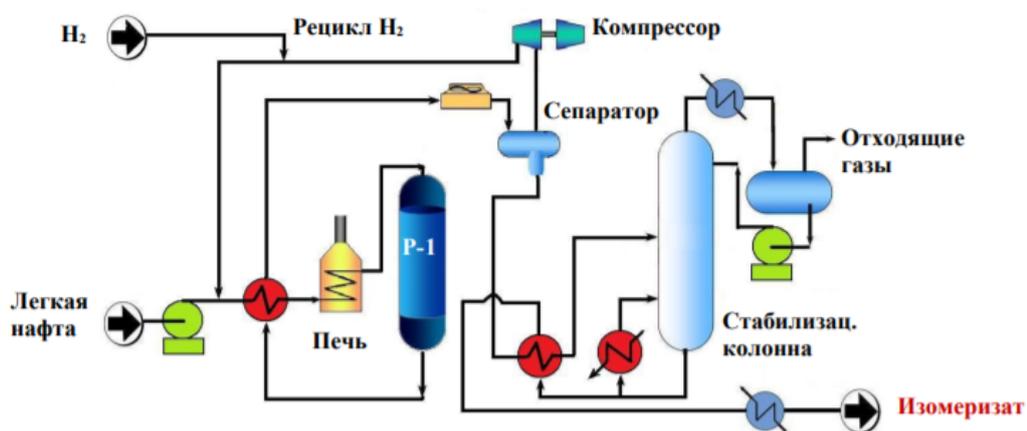


Рисунок 8 – Технологическая схема процесса изомеризации на цеолитных катализаторах

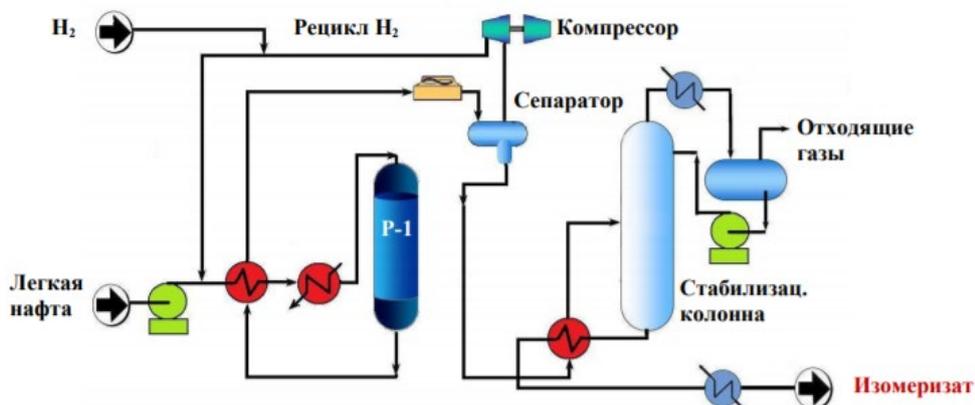


Рисунок 9 – Технологическая схема процесса изомеризации на катализаторах, содержащих сульфатированный оксид циркония

В настоящее время существует несколько типов процессов, разработанных различными научно-производственными компаниями.

На рисунке 10 приведена блок-схема процесса изомеризации Пенекс фирмы UOP. На рисунке 11 приведена принципиальная технологическая схема процесса по технологии TIR той же фирмы [4].

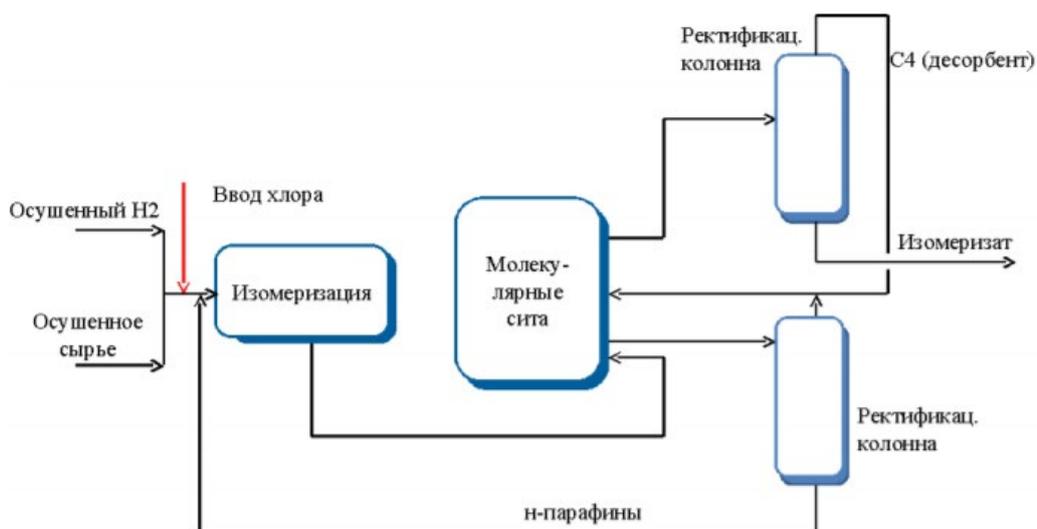


Рисунок 10 – Блок-схема процесса по технологии Пенекс

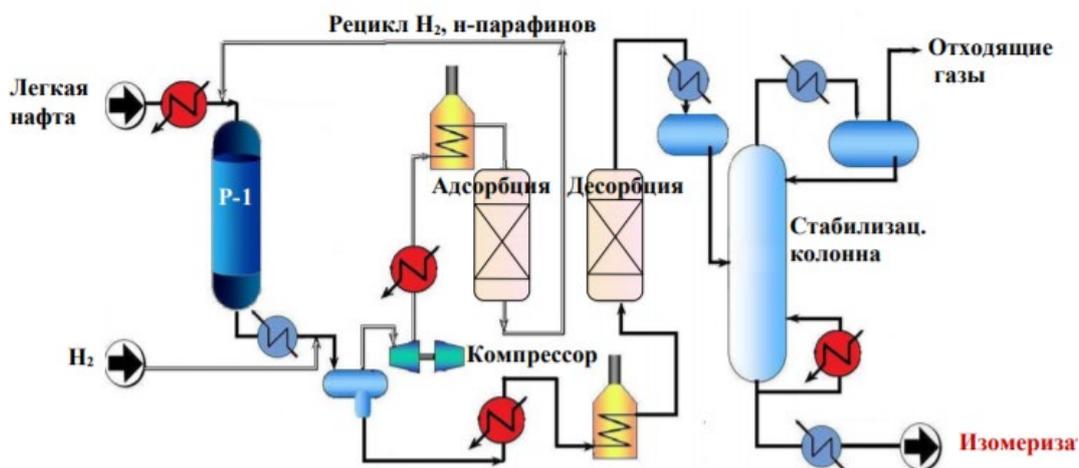


Рисунок 11 – Принципиальная технологическая схема процесса TIR

На рисунках 12-15 представлены технологические схемы процесса изомеризации по российской технологии «Изомалк-2» на катализаторе СИ-2.

Данные схемы отличаются октановым числом выходящего изомеризата [3, стр. 34-36].

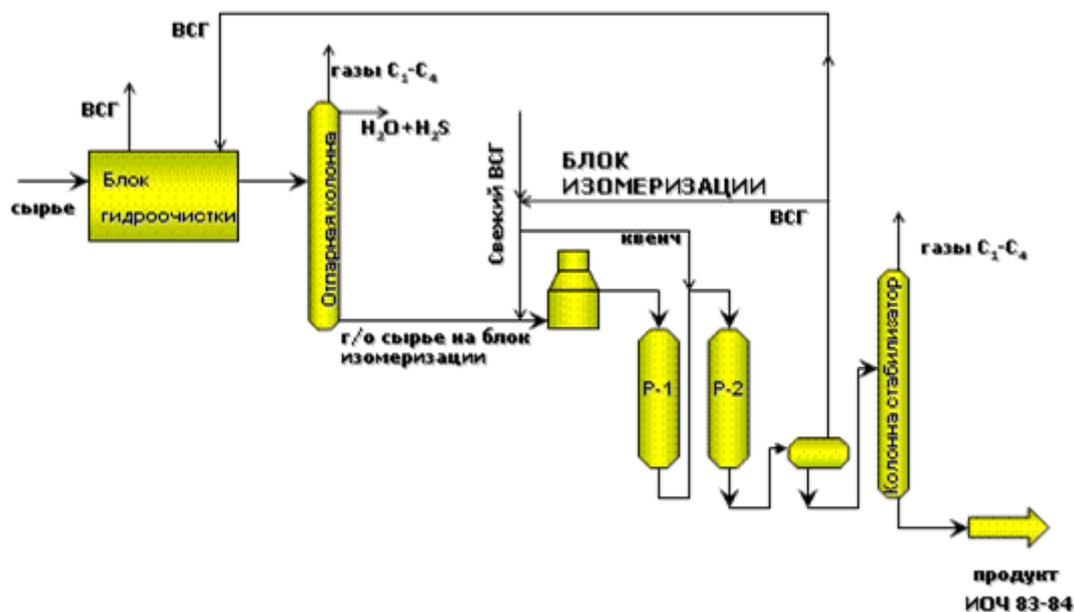


Рисунок 12 – Технологическая схема процесса «Изомалк-2» («за проход»)

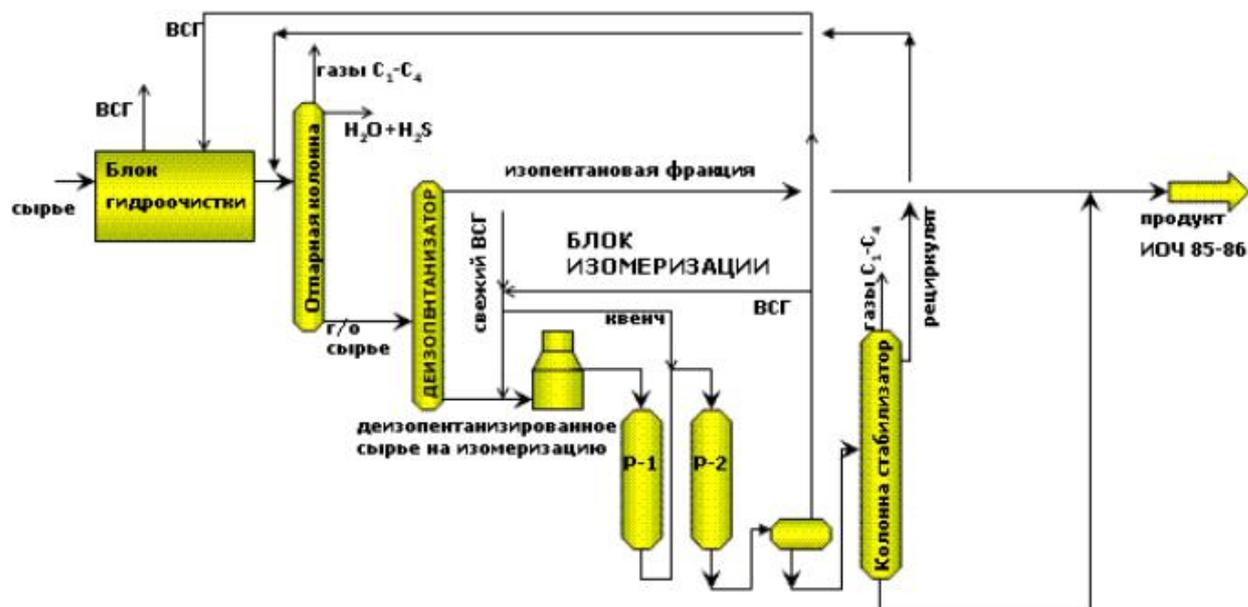


Рисунок 13 – Технологическая схема процесса «Изомалк-2» с рециркуляцией n-пентана

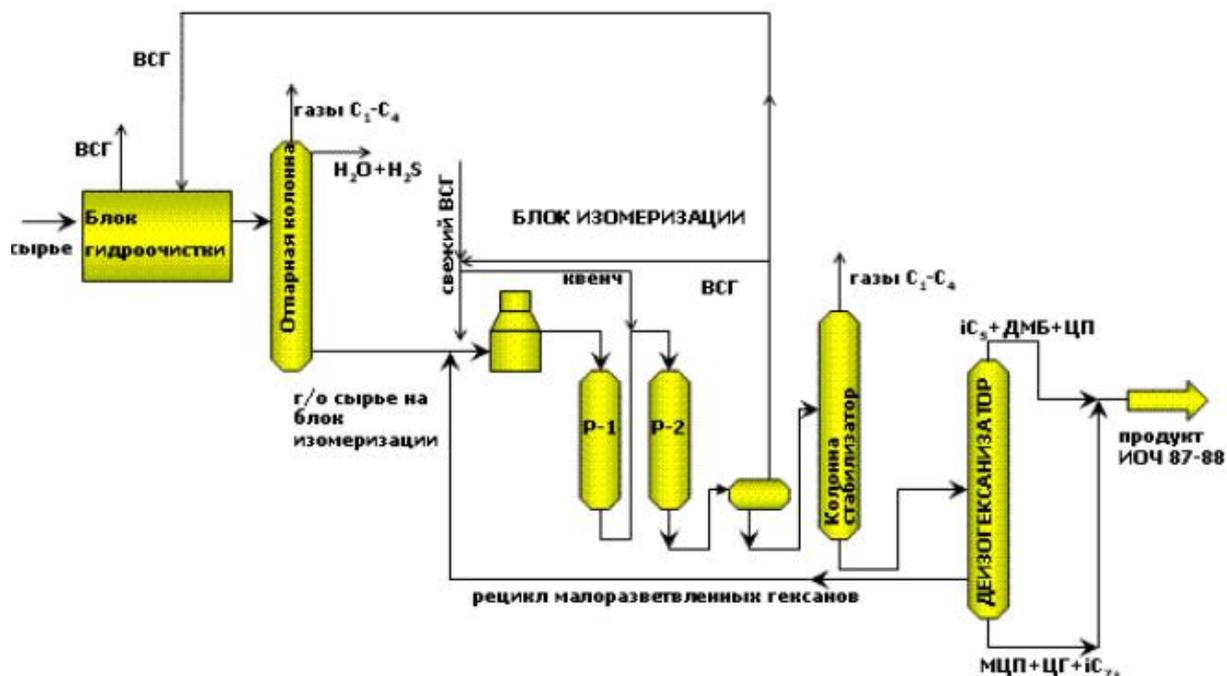


Рисунок 14 – Технологическая схема процесса «Изомалк-2» с рециркуляцией гексанов

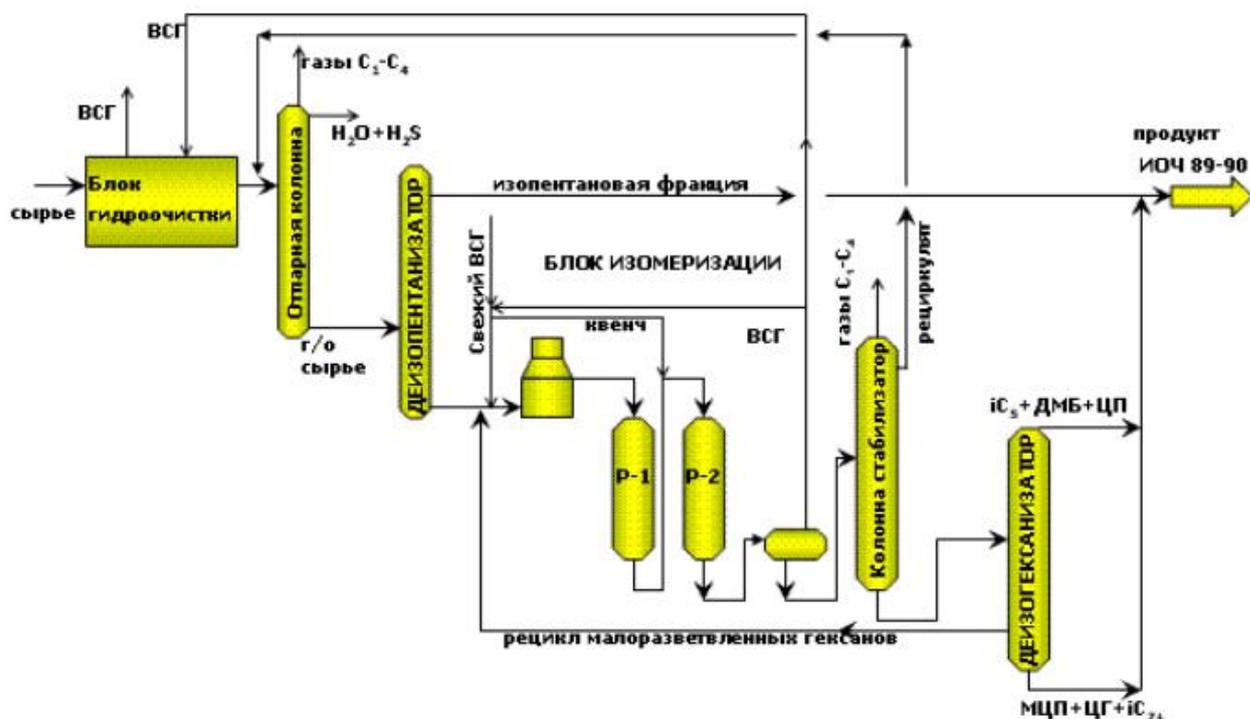


Рисунок 15 – Технологическая схема процесса «Изомалк-2» с рециркуляцией n-пентана и гексанов

В таблице 1.12 приведена сравнительная характеристика технологий, разработанных компаниями UOP Limited, SHELL, British Petroleum, Axens и ОАО НПП «Нефтехим» [2, 19].

Таблица 1.12 – Сравнительная характеристика технологий изомеризации

Показатели	Фирма						
	UOP			SHELL	BP	Axens	ОАО НПП «Нефтехим»
Процесс	Пенекс	TIP	СуперДИГ	Кайзомер	LSOM	Axens	Изомалк-2
ИОЧ изомерата	84	90	90,5-90	84	84	88,9	90,5-92
Выход суммарного изомерата, % масс.	98	98	98	96,5	97	97,1	98
Тип катализатора	I-84	I-82	I-82	Hysopar	HS-10	ATIS-2L	СИ-2
Параметры работы блока изомеризации							
Давление процесса, МПа	3,0-4,0	1,4-3,5	3,0-3,5	1,4-3,5	2,0-3,0	3,0-3,5	2,5-3,5
Кратность циркуляции, нм ³ /м ³ сырья·ч	на проток	550-550					
Температура на входе в реактор, °С	120-180	260-370	130-160	260-370	90-100	130-160	130-160

Продолжение таблицы 1.12

Подача хлорорганики	требуется	не требуется	требуется	не требуется	требуется	требуется	не требуется
Осушка сырья	требуется	не требуется	требуется	не требуется	требуется	требуется	не требуется
ОСПС, ч ⁻¹	1,5	1,0-3,0	1,5-2,0	1,0-3,0	1,0-3,0	1,5-2,0	2,0-4,0
Мольное соотношение Н ₂ :сырье	0,3-0,5	4	0,5-1,5	0,5	0,5-1,0	0,5-1,5	1,5-2,5
Устойчивость катализатора к сере, азоту, воде	неустойчив	устойчив	неустойчив	устойчив	неустойчив	неустойчив	устойчив
Регенерируемость катализатора	-	+	-	+	-	-	+

Также технологии изомеризации классифицируют по аппаратному оформлению [4, 20, 22].

Схема «за проход» является самой выгодной по экономическим показателям. По этой схеме октановое число изомеризата составляет 82-84. Данная схема означает, что непрореагировавшие углеводороды не возвращаются на стадию изомеризации, а выводятся из процесса (рисунок 16) [4, 22].

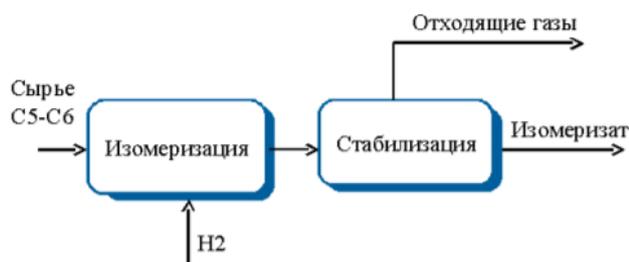


Рисунок 16 – Блок-схема процесса «за проход»

Существует схема, включающая в себя колонну деизопентанизации (ДИП). Данная схема дает выход изомеризата с октановым числом 82-86. Она включается в схему перед реакторным блоком. Это позволяет снизить нагрузку на реактор. Вторым достоинством данной схемы является увеличение степени конверсии n-пентанов. Основным преимуществом данной схемы является получение больших значения октановых чисел изомеризата. Однако применение данной технологии оправдано только при содержании изопентанов в сырье более 13-15 % (рисунок 17) [4, 22].

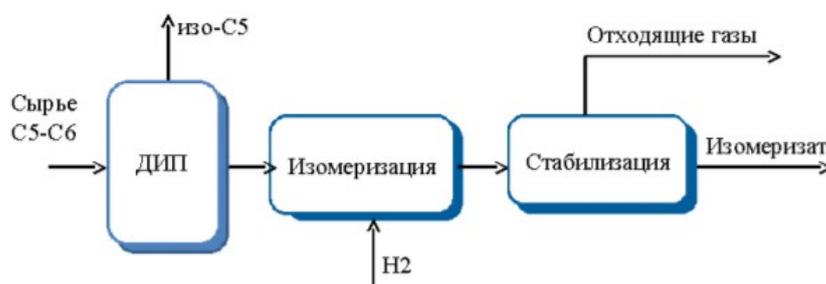


Рисунок 17 – Блок-схема процесса с ДИП

Включение в схему колонны деизогексанизации (ДИГ) также позволяет получать изомеризат с высоким октановым числом (87-88). Колонна ДИГ включается в схему после реактора, в ней происходит отделение непрореагировавших низкооктановых компонентов. Отделенные углеводороды возвращаются в цикл на стадию изомеризации. Однако в колонне ДИГ отделяется в основном только гексановая фракция. Следовательно, включение данной колонны в технологическую схему позволяет увеличить только конверсию гексанов. (рисунок 18). Существуют технологические схемы, включающие в себя одновременно две колонны: ДИП и ДИГ. Октановое число изомеризата, получаемого по такой схеме, составляет около 89-90 [4, 22].

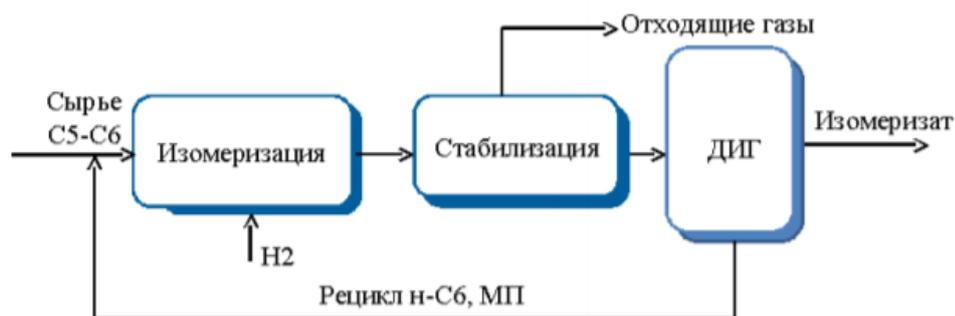


Рисунок 18 – Блок-схема процесса с ДИГ

В промышленности применяются схемы, включающие в себя колонны депентанизации (ДП) и ДИП. При этом колонна ДИП устанавливается после реактора, а колонна ДП – после. В данной схеме осуществляется рецикл n -пентана. Октановое число по такой схеме достигает 86-88 п. [4, 22].

Существуют схемы, в которых осуществляется рецикл как n -пентана, так и n -гексана. Такие схемы включают в себя все три колонны: ДП, ДИП и ДИГ. Кроме включения колонн, более полную изомеризацию бензиновой фракции можно осуществить с помощью адсорбции на молекулярных ситах. При такой схеме проведения процесса изомеризации октановое число составляет 89-90 [4, 22].

Также существует технологическая схема, включающая в себя колонны ДИП и СуперДИГ. Колонна СуперДИГ объединяет в себе две колонны; ДИГ и ДП. При таком способе проведения процесса изомеризации октановое число изомеризата достигает 90,5-91,5 [22].

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы является экономическое планирование и оценка ресурсоэффективности разработки математической модели процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований;
- провести SWOT-анализ для выявления сильных и слабых сторон проекта;
- произвести планирование научно-исследовательских работ;
- определить бюджет научного проекта;
- определить ресурсоэффективность проекта.

4.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

При ведении собственного производства необходим систематический анализ конкурирующих разработок во избежание потери занимаемой ниши рынка. Периодический анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности позволяет оценить эффективность научной разработки по сравнению с конкурирующими предприятиями.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		$МИЗ_{\phi}$	$МЭВ_{к1}$	K_{ϕ}	$K_{к1}$
1	2	3	4	6	7
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности	0,07	4	3	0,28	0,21
2. Энергоэкономичность	0,05	5	4	0,25	0,20
3. Достоверность	0,26	5	4	1,30	1,04
4. Простота использования	0,04	4	4	0,16	0,16
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,25	3	4	0,75	1,00
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	3	4	0,21	0,28
3. Цена	0,09	4	3	0,36	0,27
4. Финансирование научной разработки	0,08	5	5	0,40	0,40
5. Срок выхода на рынок	0,05	4	4	0,20	0,20
6. Наличие сертификации разработки	0,04	4	2	0,16	0,08
Итого	1			4,07	3,84

По результатам расчетов анализа конкурентоспособности технического решения по оценочной карте, можно сделать вывод о том, что МИЗф имеет более высокий показатель конкурентоспособности по сравнению с представленным аналогом. Этого удалось достичь в первую очередь за счет повышения производительности, энергоэкономичности и достоверности работы. Также это обусловлено тем, что данная разработка является современной, что свидетельствует о перспективном развитии нефтепереработки. К недостаткам относятся высокая стоимость.

4.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT- анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов.

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 4.2 – SWOT-анализ проекта

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Систематическое повышение уровня квалификации.</p> <p>С2. Наличие квалифицированного персонала, имеющего опыт работы в данной области.</p> <p>С3. Наличие постоянного потребителя.</p> <p>С4. Внедрение новых узлов оборудования и совершенствования технологических процессов.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Высокая степень износа оборудования.</p> <p>Сл2. Устаревшее оборудование.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Спрос на производство топлива, в силу истощения запасов.</p> <p>В2. Небольшое количество конкурентов.</p>	<p>1. Эффективное использование ресурсов производства</p> <p>2. Поддержание увеличения спроса и выхода на новые рынки сбыта</p>	<p>1. Создание неэффективной системы мотивации и стимулирования для сотрудников</p> <p>2. Отсутствует наработка и укрепление конкурентных преимуществ исследования</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Увеличение уровня налогов.</p> <p>У2. Повышение требований к качеству продукции.</p>	<p>1. Применение оптимальной налоговой политики.</p> <p>2. Внедрение менеджмента качества.</p> <p>3. Выбор оптимального потребителя и заключение договорных отношений.</p>	

Таким образом в ходе SWOT-анализа были выявлены потенциальные внутренние и внешние сильные и слабые стороны проекта, а также их зависимости. Из полученных результатов видно, что сильные стороны проекта, такие как внедрение новых узлов оборудования и совершенствования

технологического процесса, систематическое повышение уровня квалификации открывают широкие возможности по его реализации, так как внедрение новых узлов оборудования и совершенствования технологических процессов дают возможность эффективного использования ресурсов производства. У проекта, также есть недостатки: модель предполагает добавление новых узлов оборудования в уже существующий процесс, что повышает износ оборудования (на небольшой процент), в связи с большими объемами переработки сырья. Сильные стороны преобладают над слабыми, поэтому разработка модели является перспективным проведением научного исследования.

4.3 Планирование научно – исследовательских работ

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в чей состав входят: инженер, научный руководитель, консультант по части социальной ответственности (СО) и консультант по экономической части (ЭЧ) выпускной квалификационной работы. Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и проведем распределение исполнителей по видам работ (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, консультант ЭЧ, СО, инженер
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, инженер
	4	Патентный обзор литературы	Инженер
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение экспериментальных исследований	Инженер

Продолжение таблицы 4.3

Проведение ВКР			
Разработка технической документации и проектирование	7	Оценка эффективности производства и применения разработки	Инженер, консультант по ЭЧ
	8	Разработка социальной ответственности по теме	Инженер, консультант СО
Оформление комплекта документации по ВКР	9	Составление пояснительной записки	Инженер

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожi}$ используется формула 4.1:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.1)$$

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

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i – ой работы, чел. – дн.;

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Рассчитывается по формуле 4.2:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

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

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

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

Результаты расчетов занесены в таблицу 4.4

Таблица 4.4 – Временные показатели проведения научного исследования.

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , человек о-дни		t_{max} , человек о-дни		$t_{ожсi}$, человеко-дни		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
Составление технического задания	1	0	3	0	1,8	0	1,8	0	2	0
Выбор направления исследований	0	6	0	10	0	7,6	0	7,6	4	5
Подбор и изучение материалов	2	3	3	4	2,4	3,4	1,2	1,7	5	12
Патентный обзор литературы	1	0	2	0	2,0	0	1,4	0	0	7
Календарное планирование работ	0	6	0	8	0	6,8	0	6,8	2	8
Проведение экспериментальных исследований	0	6	0	8	0	6,8	0	6,8	0	18
Оценка эффективности производства и применения разработки	0	4	0	6	0	4,8	0	4,8	0	6
Разработка социальной ответственности	4	0	6	0	4,8	0	4,8	0	0	6
Составление пояснительной записки	0	10	0	12	0	10,8	0	10,8	0	13
Итого	8	35	14	48	11	40,2	9,2	38,5	13	75

На основании полученных данных из таблицы 4.4 построим график Ганта, представленный в таблице 4.5.

4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для иллюстрации календарного плана проекта приведена диаграмма Ганта, на которой работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства отображения каждый месяц разделен на декады (таблица 4.5)

Таблица 4.5 – Календарный план-график проведения НИОКР.

Вид работы	Исполнители	T_{ki} , дней	Продолжительность выполнения работ																
			март			апрель			май										
			1	2	3	1	2	3	1	2	3								
Составление технического задания	Руководитель, инженер, консультант ЭЧ, СО	2,0		■															
Выбор направления исследований	Руководитель, инженер	9,0		■															
Подбор и изучение материалов	Руководитель, инженер	17,0		■	■														
Патентный обзор литературы	Инженер	7,0				■	■	■	■										
Календарное планирование работ	Руководитель, инженер	10,0							■	■									
Проведение экспериментальных исследований	Инженер	18,0								■	■	■	■	■					

Продолжение таблицы 4.5

Вид работы	Исполнители	T_{ki} , дней	Продолжительность выполнения работ																	
			март			апрель			май											
			1	2	3	1	2	3	1	2	3									
Оценка эффективности производства и применения разработки	Инженер, консультант ЭЧ	6,0																		
Разработка социальной ответственности	Инженер, консультант СО	6,0																		
Составление пояснительной записки	Инженер	13																		

Руководитель	Инженер	Консультант ЭЧ	Консультант СО

Таким образом в ходе данного этапа работы были определены длительности и обозначены сроки выполнения всех запланированных видов работ. Был построен график Ганта, наглядно иллюстрирующий этапы выполнения проекта участниками. Итого, в календарных днях длительность работ руководителя проекта равняется 13 дней, а инженера 75 дней.

4.4 Расчет материальных затрат НИИ

4.4.1 Бюджет научно-технического исследования (НИИ)

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. Многие из материалов уже находились в лаборатории, поэтому в статьях отражены малые расходы. Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. Результаты расчета приведены в таблице 4.6.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле 4.3:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i}, \quad (4.3)$$

Таблица 4.6 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z _м), руб.
Дистиллированная вода	литр	3	150	450
Бензиновая фракция	литр	3	100	500
Нефрас	литр	5	50	250
Бумага	уп.	2	300	600
Ручка	шт.	5	15	75
Итого:				1875

Исходя из данных, представленных в таблице 4.6, материальные затраты на выполнение проекта составили 1875 рублей.

4.4.2 Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость, тыс.руб.
1.	Печь	1	10	10
2.	Эксикатор	2	2	2
3.	Термостат	1	8	8
4.	Электрическая плита	2	3	6
Итого				26

Исходя из данных, представленных в таблице 4.7, затраты на приобретение спецоборудования для научных работ материальные на выполнение проекта составили 26 000 рублей.

4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии и доплаты) и дополнительную заработную плату. Также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада. Рассчитывается по формуле 4.4:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.4)$$

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

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

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле 5.5:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.4)$$

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

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 4.6:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (4.6)$$

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 4.8 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 4.8– Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	41	75
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни	17	17
– праздничные дни	2	2
Потери рабочего времени:		
– отпуск	0	0
– невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	22	56

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле

4.7:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (4.7)$$

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

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

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

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

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Расчет основной заработной платы

$Z_{\text{тс}}$,руб.	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$,руб	$Z_{\text{дн}}$,руб.	$T_{\text{р}}$,раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$,руб.
Руководитель						
30560,8	0,35	1,3	42256,3	1870	22	42856

Продолжение таблицы 4.9

Инженер						
2200	0,35	1,3	3300	160	56	6500

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Общая заработная плата исполнителей

	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{зп}$, руб.
Руководитель	42856	1457,9	44313,9
Инженер	6500	4103,0	10603,0

4.4.4 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.8)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды равный 30,2 %.

Результаты расчетов по данной статье представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Отчисления на социальные нужды

	$Z_{зп}$, руб.	$C_{внеб}$, руб.
Руководитель	44 313,9	13 382,8
Инженер	10 603,0	3 202,1
Итого:		16 584,9

4.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле 4.9:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{нр}, \quad (4.9)$$

где

$k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

4.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 4.12.

Таблица 4.12 -Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИИ	1875
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	26000
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	49356
4. Отчисления на социальные нужды	16584
5. Накладные расходы	17480
6. Бюджет затрат НИИ	108332

Таким образом были определены затраты на разработку проекта, сумма необходимая на его реализация составляет 108332 рублей.

Основные расходы пришлось на статью затрат по заработной плате сотрудников.

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

4.6.1 Ресурсоэффективность

С помощью интегрального критерия ресурсоэффективности определим ресурсоэффективность автоматизированной системы. Формула для его определения имеет следующий вид:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.10)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, устанавливается экспериментальным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 4.13 – Оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Безопасность	0,25	5
2. Надежность	0,25	5
3. Удобство в эксплуатации	0,20	5
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,20	4
5. Ремонтопригодность	0,10	4
Итого:	1,00	4,4

Для разрабатываемого проекта интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,20 \cdot 5 + 0,20 \cdot 4 + 0,10 \cdot 4 = 4,7 \quad (4.11)$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение 4.7, что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы безопасности, надежности и удобства эксплуатации позволяют судить о надежности разработки.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» был выполнен анализ конкурентоспособности. В ходе проведения данного анализа было выявлено, что МИЗф имеет преимущество над аналогом, в связи с чем использование этой математической модели свидетельствует о перспективном развитии нефтепереработки.

2. Проведён SWOT-анализ проекта, в ходе которого были выявлены потенциальные внутренние и внешние сильные и слабые стороны, возможности и угрозы. Из анализа выяснили, что сильные стороны, такие как внедрение новых узлов оборудования и совершенствования технологического процесса, наличие постоянного потребителя преобладают над слабыми, поэтому отметим основные

возможности проекта, спрос на производство топлива, в силу истощения запасов и небольшое количество конкурентов. Отсюда следует разработка модели является перспективным проведением научного исследования.

3. Также установлено, что в календарных днях длительность работ для руководителя составляет 13 дней, а для инженера – 75 дней. На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график, по которому можно увидеть, что самая продолжительная по времени работа – проведение экспериментальных исследований.

После формирования бюджета затрат на проектирование суммарные капиталовложения составили 108332 рубля.

Также были определены показатели ресурсоэффективности, значения которых свидетельствуют о достаточно высокой эффективности реализации технического проекта.

4. Таким образом, капиталовложения в размере 108332 рубля позволят реализовать разработку математической модели процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций. В современной нефтепереработке основным назначением процесса изомеризации является получение высокооктановых изоалканов. Целью процесса является получение топлива, отвечающего высоким стандартам ЕВРО-5.

5 Социальная ответственность

Введение

Выполнение выпускной квалификационной работы осуществлялось математическим моделированием. Математическая модель процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций представлена системой дифференциальных уравнений.

Объектом исследования в данной работе является процесс изомеризации прямогонной бензиновой фракции НК-62°C. Рассмотрено несколько вариантов реализации данного процесса: с рециклом по непревращенным гексанам (катализатор – Pt на Al₂O₃); с рециклом по пентану и гексанам (катализатор – Pt на ZrO₂ / SO₄).

В современной нефтепереработке основным назначением процесса изомеризации является получение высокооктановых изоалканов. Целью процесса является получение топлива, отвечающего высоким стандартам ЕВРО-5.

В качестве сырья для процессов изомеризации используются низкооктановые низкокипящие фракции нефти (от 62°C до 85°C). Изомеризация позволяет обеспечить сразу несколько требований, предъявляемых к качеству современных бензинов:

1. Сокращение доли ароматических углеводородов (до 25%).
2. Увеличение доли легких углеводородов с температурой кипения менее 100°C (до 40-50%).
3. Сокращение содержания серы.
4. Сокращение содержания бензола (до 1%).
5. Сокращение содержания олефинов (до 4-18%).

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно СП 2.2.3670-20 [29] при размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора) должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Рабочие места с ПЭВМ в помещениях с источниками вредных производственных факторов должны размещаться в изолированных кабинах с организованным воздухообменом.

Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5 - 2,0 м.

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

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5 - 0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Снижению психофизических и нервно-эмоциональных нагрузок способствует правильная организация рабочего места [29].

При разработке программы пользователь работает на ПЭВМ более 50% рабочего времени.

На рисунке 28 показана схема расположения технических средств на рабочем месте пользователя при работе на ПЭВМ при постоянной работе.

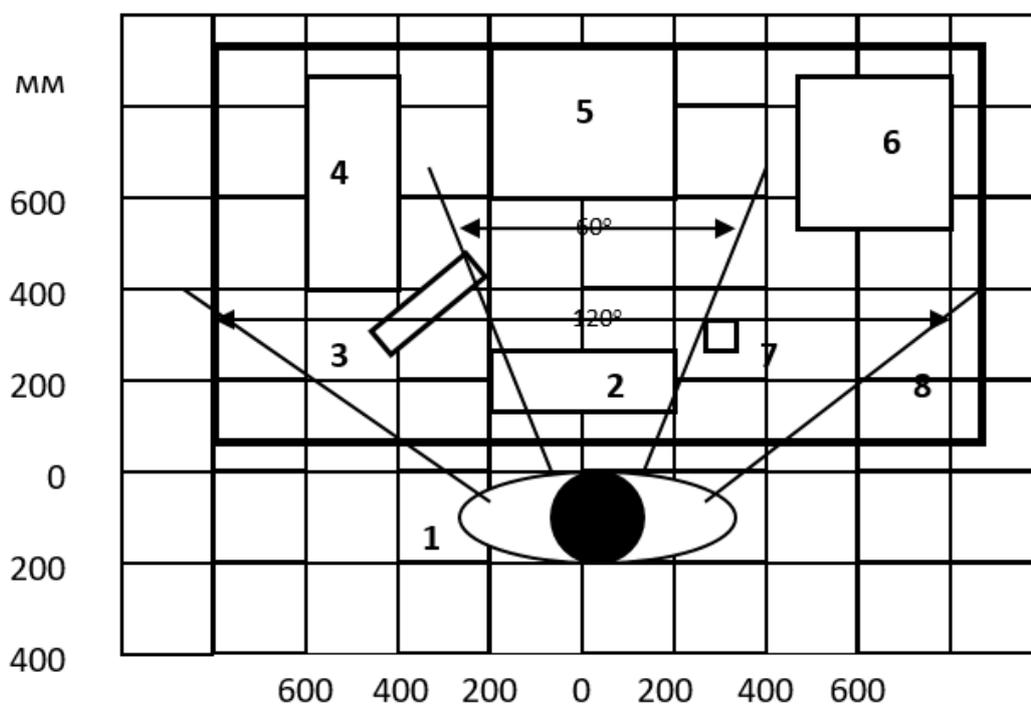


Рисунок 28 – Схема расположения технических средств на рабочем месте пользователя при постоянной работе на ПЭВМ

1 – кресло оператора ПЭВМ. 2 – клавиатура. 3 – подставка для исходной информации. 4 – системный блок. 5 – монитор. 6 – принтер. 7 – мышь. 8- стол.

При организации рабочего места пользователя следует учитывать данные антропометрии, т.е. движения должны быть сконцентрированы так, чтобы группы мышц были нагружены равномерно и исключены лишние произвольные движения.

При организации рабочего места следует учитывать удобство положения дисплея, клавиатуры, системного блока, а также зоны досягаемости рук, которые установлены на основании антропометрических данных человеческого тела и дают возможность рационально разместить как по горизонтали, так и по вертикали монитор, клавиатуру, системный блок, устройства и т.п.

К правовым аспектам безопасности следует отнести обеспечение рабочим местом.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации сотрудник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

Обязательное социальное страхование представляет собой систему создаваемых государством правовых, экономических и организационных мер, направленных на компенсацию или минимизацию последствий изменения материального и (или) социального положения работающих граждан, а в случаях, предусмотренных законодательством РФ.

Обязательное социальное страхование работников регламентируется статьей 212 конституционного кодекса России. Работодатели обязуются обеспечить своим подчиненным социальное страхование от возможных производственных несчастных случаев. Также представленный вид страхования может применяться в случае возникновения профессионального заболевания.

На основании статьи под номером 5 Закона «Об обязательном страховании на производстве и получении профессиональных заболеваний», получать выплаты могут:

1. физические лица, выполняющие свои обязанности на основании заключенного контракта, трудового договора со страхователем;
2. лица, которые были осуждены к лишению свободы на определенный срок или привлеченные к труду страхователями;
3. физические лица, которые выполняют работу на основании гражданского или правового договора.

Именно они подлежат страхованию от полученных всевозможных несчастных случаев во время рабочего времени. Также сюда можно отнести профессиональные заболевания, которые указываются в соответствующих договорах. При наступлении такого страхового случая страхователь обязуется полностью уплачивать страховщику все необходимые взносы. Если здоровью или жизни граждан на производстве был причинен вред, то страхователь имеет возможность воспользоваться статьей 6 181 Федерального Закона «Об основах обязательного социального страхования». В таком случае необходимо полностью обеспечить инвалидов начислением и выплатой, а лица, которые виновны в таком деянии, должны понести ответственность.

Пособия по временной нетрудоспособности Размеры пособий по временной нетрудоспособности и условия их выплаты устанавливаются ст. 183 ТК РФ.

Порядок исчисления пособия по временной нетрудоспособности:

1. Рассчитывается средний дневной (часовой) заработок

2. Рассчитывается дневное (часовое) пособие исходя из среднего дневного (часового) заработка

3. Рассчитывается максимально возможный размер дневного (часового) пособия исходя из установленных ограничений

4. Рассчитывается пособие по временной нетрудоспособности

5.2 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении работ на Нефтеперерабатывающем заводе. Рассмотрим эти факторы в таблице 5.1.

Таблица – 5.1 Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Исследо- вание	Анализ	Монито- ринг	
Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, то есть с аномальным физическим состоянием воздуха (в том числе пониженной или повышенной ионизацией) и (или) аэрозольным составом воздуха.	+	+	+	1. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"[24] 2. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности[25]. 3. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"[24] 4. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [24].
Превышение уровня шума и вибрации		+	+	
Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	

				5. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[26].
				6. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [28].

5.3 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

5.3.1 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, то есть с аномальным физическим состоянием воздуха (в том числе пониженной или повышенной ионизацией) и (или) аэрозольным составом воздуха

Нефтеперерабатывающий завод – это промышленное предприятие, основной функцией которого является переработка нефти в бензин, авиационный керосин, мазут, дизельное топливо, смазочные масла, смазки, битумы, нефтяной кокс, сырьё для нефтехимии. При работе установок, происходит выделение химических веществ.

Принятие мер предосторожности при работе с химическими веществами с учетом особенностей действия на организм человека химических веществ, применяемых в процессе работы:

- Пары углеводородов. Пары углеводородов поступают в организм человека, главным образом, через дыхательные пути. При легких отравлениях наблюдается период возбуждения (болтливость, беспричинная веселость), затем наступают головная боль, сонливость, головокружение, усиленное сердцебиение, тошнота. При тяжелых отравлениях парами углеводородов наступают потеря сознания, судороги, ослабление дыхания. ПДК - 300 мг/м³.

- Азот, используемый для технологических нужд, - бесцветный газ, не ядовит, не взрывоопасен. При вдыхании вызывает кислородное голодание, удушье, смерть.

Чтобы не нанести вреда здоровью работника, которые приведены выше. Перед началом работы с химическими веществами следует:

1. Включить вентиляционные системы: общеобменная приточно-вытяжная вентиляция должна включаться не менее чем за 30 минут до начала работы, местная вытяжная вентиляция - не менее чем за 5 минут до начала работы;
2. Для выполнения работ с химическими веществами следует использовать герметично закрывающиеся рабочие емкости (лабораторную посуду) из химически стойких материалов;
3. Нужно применять при работе средства индивидуальной защиты, такие как респиратор, перчатки, спец.одежда и т.д.

5.3.2 Превышение уровня шума и вибрации

Следующим важным вредным фактором, имеющим место на НПЗ, является высокий уровень шумового загрязнения и вибрационного воздействия, являющийся следствием работы высокопроизводительного насосного оборудования.

Требования по допустимому уровню звукового давления, звука и эквивалентных уровней звука выполняются в соответствии с [25], согласно которому уровень звука на НПЗ не превышает 80 дБА. Вредное воздействие шума проявляется в прогрессирующем понижении слуха, что приводит к профессиональной глухоте; появляются головные боли, повышенная утомляемость; также может понижаться иммунитет человека. В случае повышенного шумового фона (более 80 дБА) в помещениях насосных и на НПЗ рабочие, осуществляющие ремонт и обслуживание оборудования, должны работать в антифонах [25]. При работе на насосной станции применяются средства индивидуальной защиты – заглушки, наушники [25].

К средствам коллективной защиты относятся борьба с шумом в источнике его образования (то есть за счет создания малошумного оборудования и использования его в технологическом процессе производства) и борьба с шумом на пути его распространения. Второй путь используется тогда, когда на основе известных и технически осуществимых методов снизить уровень шума на данном этапе не представляется возможным.

Высокая вибрация отрицательным образом сказывается на опорно-двигательном аппарате, на нервной системе; происходит уменьшение иммунитета и опущение органов брюшной полости и малого таза, что вызывает нарушение их функций, и в первую очередь - желудочно-кишечного тракта. Для снижения уровня шума и вибраций оборудование и приборы установлены на фундаменты и амортизирующие прокладки, описанные в нормативных документах. Уровень шума уменьшен с использованием звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63-8000 Гц для отделки помещений (разрешенных органами и учреждениями Госсанэпиднадзора), подтвержденных специальными акустическими расчетами.

Вибрационную безопасность планируется обеспечивать:

- установкой основного оборудования на фундаменты, исключая резонансные явления;
- соблюдением технологического процесса и правил эксплуатации оборудования, предусмотренных нормативно-технической документацией;
- использованием средств индивидуальной защиты персонала.

5.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Еще одним вредным фактором является недостаточная освещенность рабочих мест. Специфика обеспечения надлежащей освещенности в помещениях заключается в том, что работы на НПЗ осуществляются круглосуточно, а значит,

необходимо поддерживать баланс между естественным и искусственным освещением.

Требования к освещению рабочих мест зафиксированы в [26]. Естественная освещенность в дневное время суток в операторной составляет 1,5%, в насосной – 0,2%, поэтому установлены окна, которые обеспечивают необходимое освещение, и при этом устойчивые к вибрационному воздействию. В таблице 5.2 представлены нормы искусственной освещенности в помещениях НПЗ.

Таблица 5.2 – Нормы искусственной освещенности в помещениях НПЗ

Источник света	Мощность источника света в помещении, лк	
	Операторная	Насосная
Лампы дневного света	200	50
Лампы накаливания	150	20

Для осветительных установок общего освещения коэффициент запаса составляет 1,8 – 2,0. Коэффициент пульсации не превышает 5%.

Плохое и неравномерное освещение приводит к снижению зрительных функций, повышается уровень утомляемости, что отрицательно влияет на общую работоспособность персонала.

Для обеспечения нормируемых значений освещенности в рабочих помещениях проводится чистка стекол оконных рам и светильников два раза в год и своевременная замена перегоревших ламп.

5.3.4 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

НПЗ характеризуется значительной степенью насыщенности электрооборудованием, работающим под высоким напряжением.

Силовые понижающие трансформаторы мощностью по 4000/5000 кВА обеспечивают прием электроэнергии 11 кВ от основной электростанции и преобразование ее до 0,642 кВ[27].

В качестве вспомогательных источников электроэнергии используются четыре генераторных агрегата трехфазного переменного тока напряжением

600 В.

Дизель - генераторы вырабатывают переменный трехфазный ток частотой 50 Гц и напряжением 600 В.

Для обеспечения электробезопасности на НПЗ в проекте заложены следующие решения:

- электрооборудование размещено на территории НПЗ в соответствии со степенью его защиты и условиями эксплуатации;
- предусмотрены безопасные проходы в помещениях для удобства обслуживания, свободного доступа к распределительным устройствам, щитам и другому электрооборудованию;
- электрооборудование размещено с учетом защиты персонала от случайных прикосновений к токоведущим частям, преимущественно в изолированных, обогреваемых, вентилируемых помещениях, специально обособленных и доступных только квалифицированному персоналу;
- предусмотрено применение непрерывного автоматического контроля сопротивления изоляции силовых электросетей напряжением 600 В с сигнализацией о снижении его уровня ниже допустимого;
- предусмотрено аварийное отключение электрооборудования при возникновении аварийных ситуаций в результате нарушения технологического процесса.

При выборе и установке электрооборудования, прокладке кабельных трасс во взрывоопасных зонах НПЗ учтены требования ПБ 08-624-03 «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности».

Основными условиями возникновения электротравм являются:

- прикосновение к частям электроустановок, находящихся под напряжением;

- прикосновение к конструктивным металлическим частям электроустановок, нормально не находящихся под напряжением при повреждении электрической изоляции;

- нахождение вблизи мест повреждения электрической изоляции или мест замыкания токоведущих частей на землю (повреждения, вызванные так называемым повреждением шага).

В местах постоянного дежурства обслуживающего персонала должны иметься: набор (аптечка) необходимых приспособлений и средств для оказания первой помощи, а также плакаты о правилах оказания первой помощи, проведения искусственного дыхания и наружного массажа сердца.

5.5 Экологическая безопасность

Нормативы предельно-допустимых выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферный воздух установлены приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ "Об утверждении методов определения нормативов предельно допустимых выбросов вредных (загрязняющих) веществ (за исключением радиоактивных веществ) в атмосферный воздух"[28]. В таблице 5.3 приведены объемы загрязняющих выбросов в атмосферу.

Таблица 5.3 - Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

Наименование загрязняющего вещества	Валовой выброс загрязняющего вещества, т/год
Смесь углеводородов предельных С1-С5	421,826
Смесь углеводородов предельных С6-С10	20,896
Метиловый спирт	13,293

С целью охраны воздушного бассейна выполняются следующие технологические мероприятия, обеспечивающие минимальные выбросы вредных веществ в атмосферу:

- полная герметизация оборудования;
- оснащение предохранительными клапанами всей аппаратуры, в которой может возникнуть давление, превышающее расчётное, с учётом требований «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением»;
- технологическая площадка снабжена системой датчиков-газоанализаторов для контроля за наличием горючих газов на технологической площадке;
- сброс газов от предохранительных клапанов нефтегазосепараторов со сбросом воды производится в факельную систему;

Защита гидросферы регламентируется «Проектом нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ в гидросферу для объектов НПЗ. В таблице 5.4 представлены объемы выбросов загрязняющих веществ в гидросферу.

Таблица 5.4 - Выбросы загрязняющих веществ в гидросферу

Наименование производственного объекта	Производственные сточные воды		Дождевой сток	
	м ³ /сут	м ³ /год	м ³ /сут	м ³ /год
Технологические модули	39,0	14235,0	-	-
Дождевые стоки	240	1440	-	-
Попутные воды	120,0	43800,0	40	560
Итого:	399	59475*	40	560

* концентрация метанола не превышает 4,0 % мас.

Для предотвращения попадания вредных веществ на почву за пределы производственной площадки предусмотрено:

- обвалование площадок, резервуарного парка, где возможен разлив продукта;
- площадка расположения оборудования на НПЗ имеет железобетонные поддоны и отбортовку для исключения растекания нефти и нефтепродуктов при разгерметизации оборудования и трубопроводов.

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Повышенная пожаро-взрывоопасность на объектах нефтегазовой отрасли является одним из основных опасных и вредных факторов.

При пожарах в зданиях, построенных с применением полимерных и синтетических материалов, на человека могут воздействовать токсичные продукты горения. Наиболее опасен из них оксид углерода. Он в 200 - 300 раз лучше вступает в реакцию с гемоглобином крови, чем кислород, вследствие чего у человека наступает кислородное голодание. Он становится равнодушным и безучастным к опасности, у него наступают оцепенение, головокружение, депрессия, нарушается координация движений, а затем происходят остановка дыхания и смерть.

Для недопущения возникновения пожаров и взрывов на объектах НПЗ предусмотрены пожарные щиты, содержащие первичные средства пожаротушения, средства индивидуальной защиты органов дыхания, запрет на использование открытого огня без оформления нарядов-допусков, запрет на курение вне специально отведенного помещения.

В целях предупреждения пожаров, взрывов категорически запрещается применение открытого огня. Огневые и газоопасные работы проводятся регламентировано, согласно соответствующим инструкциям. К газоопасным работам относятся работы, связанные с осмотром, чисткой, ремонтом, разгерметизацией технологического оборудования, коммуникаций, в том числе работой внутри емкостей, при проведении которых имеется или не исключена возможность выделения в рабочую зону взрывопожарных или вредных паров, газов и других веществ, способных вызвать взрыв, загорание, а также работы при недостаточном содержании кислорода (объемная доля ниже 20 %).

В настоящее время существует два основных направления минимизации вероятности возникновения и последствий ЧС на промышленных объектах.

Первое направление заключается в разработке технических и организационных мероприятий, уменьшающих вероятность реализации опасного поражающего потенциала современных технических систем. В рамках этого направления технические системы снабжают защитными устройствами, средствами взрыво- и пожарозащиты технологического оборудования, электро- и молниезащиты, локализации и тушения пожаров и т.д.

Второе направление - подготовка объекта, обслуживающего персонала, служб гражданской обороны и населения к действиям в случаях ЧС. Основой второго направления является формирование планов действия в ЧС, для создания которого нужны детальные разработки сценариев возможных аварий и катастроф на конкретных объектах. Для этого необходимо располагать экспериментальными и статистическими данными о физических и химических явлениях, составляющих возможную аварию, уметь прогнозировать размеры и степень поражения объекта при воздействии на него поражающих факторов различных видов.

Обеспечение безопасности жизнедеятельности в ЧС представляет собой комплекс организационных, инженерно-технических мероприятий и средств, направленных на сохранение жизни и здоровья человека на всех сферах его деятельности.

В целях снижения пожарной опасности предусмотрены следующие мероприятия:

- для свободного и безопасного доступа обслуживающего персонала к аппарату и приборам КИПиА смонтированы площадки и лестницы;
- степень автоматизации технологического процесса исключает необходимость постоянного присутствия на установке в зоне размещения технологического оборудования, контроль и регулирование технологического процесса производится дистанционно из операторной;

- участки, на которых может возникнуть давление, превышающее расчетное, оснащены предохранительными клапанами;
- электрооборудование, приборы, датчики, преобразователи систем КИПиА установлены во взрывозащищенном исполнении;
- для контроля за наличием углеводородов в окружающем воздухе установлены анализаторы до взрывных концентраций с выдачей светового и звукового сигналов;
- технологическое оборудование, фланцевые соединения, клапанные сборки выполнены герметично.

При возникновении пожара обслуживающий персонал вызывает пожарную команду и действует согласно плану ликвидации аварии. В случае пожара аварийно останавливается весь НПЗ. Аварийный останов НПЗ может быть произведен автоматически от срабатывания любого датчика системы пожаротушения или нажатием кнопки на главном щите пульта управления. При отказе любого из приборов КИПиА и в случае невозможности контроля параметра по косвенным показаниям других приборов производится аварийная или нормальная остановка отдельного модуля, блока, или всего НПЗ. В каждом конкретном случае обслуживающий персонал руководствуется действующими на НПЗ инструкциями.

Выводы по разделу

В результате выполнения раздела «Социальная ответственность», можно сделать вывод, так как на НПЗ используются углеводородные газы, и другие химические вещества, опасные для здоровья человека. В целях предупреждения вредного воздействия их на здоровье человека предусмотрены средства индивидуальной и коллективной защиты, а также осуществляется контроль воздушной среды в пределах ПДК. В целях исключения аварий по вине обслуживающего персонала к работе допускаются работники, имеющие специальную подготовку, прошедшие обучение правилам техники безопасности;

осуществляется контроль за соблюдением правил охраны труда и техники безопасности, трудовой дисциплины.

Заключение

Применение метода математического моделирования с целью повышения эффективности работы промышленной установки каталитической изомеризации легких бензиновых фракций позволяет решить несколько сложных научно-технологических задач.

Во-первых, определение оптимальных технологических параметров при переработке сырья различной природы, позволяет достичь необходимой степени превращения исходного сырья при минимальном вкладе побочных реакций.

Во-вторых, использование математической модели позволяет проводить мониторинг работы применяемого катализатора, а также помогает оценить степень и динамику его дезактивации.

В-третьих, использование математических моделей упрощает выбор наиболее эффективной технологии для конкретного нефтеперерабатывающего предприятия с учетом специфики его бензинового пула, а также сырьевой базы.

Список использованных источников

1. Оптимизация состава перерабатываемого сырья на установках каталитического риформинга бензинов и изомеризации пентан-гексановой фракции с использованием комплексной математической «HYSYS IZOMER ACTIV» // Чеканцев Н.В., Иванчина Э.Д., Чузлов В.А., Куртуков В.А. // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 3) – С. 766-772.
2. Совершенствование процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций на стадиях каталитического превращения и ректификации. / Чузлов В.А. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Томск. – 2018.
3. Кузьмина Р.И. Изомеризация – процесс получения экологически чистых бензинов. / Кузьмина Р.И., Фролов М.П., Ливенцев В.Т. – Издательство Саратовского университета, 2008. – 88 с.
4. Tendency of isomerization process development in Russia and foreign countries / E.A. Yasakova, A.V. Sitdikova // Oil and Gas Business. – 2010.
6. Обзор технологий изомеризации легких бензиновых фракций и перспективы процесса для Казахстанской нефтепереработки // Несмеянова Р.М., Ковтарева С.Ю., Калиев Т.А. // Scientific World. -2018. - №8. – с. 18-33.
7. Модернизация установки изомеризации легкой бензиновой фракции путем замены катализатора // Казанцев Е.О., Анищенко О.В. // «Молодой учёный». - №19 (257), Май 2019. – стр. 28-30.
8. Каталитическая изомеризация углеводородов в присутствии носителей, модифицированных ионными жидкостями / Маликов И.В. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Астрахань. – 2015.
9. Катализаторы изомеризации бензиновых фракций на основе сульфатированного диоксида циркония, нанесенного на $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ // М.Д. Смоликов, Л.И. Бикметова, Д.И. Кирьянов, Е.В. Затолокина, К.В. Казанцев, И.В. Муромцев, А.С. Белый // Катализ в промышленности, № 5, 2014. – стр. 44-48.

10. Подбор эффективного катализатора для процесса изомеризации фракций C_5 - C_6 // Федоров Ю.А., Дмитриев Ю.К. // БУЛАТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. СБОРНИК СТАТЕЙ – 2018. – стр. 307-309.

11. Моно- и биметаллические наноразмерные Pd-, Pd-Pt- и Pd-Cu- -цеолитсодержащие катализаторы в реакции изомеризации н-гексана. // Н.А. Закарина, М.К. Шаймерденова, Г.В. Акулова // Наука и техника Казахстана, №1 2012. – с. 97-102.

12. Изомеризация н-гексана на платиносодержащих цеолитных катализаторах // С.А. Скорникова, Т.П. Киселева, М.И. Целютина, И.Д. Резниченко // Вестник ИрГТУ № 4 (44) 2010. – стр. 147-151.

13. Процесс изомеризации н-пентана в совмещенной колонне реакционно-ректификационного типа // Е.В. Чупарев, П.А. Зернов, О.И. Парпуц, Д.Ю. Мурзин // Известия СПбГТИ(ТУ), №23 2014. – стр. 43-47.

14. Оптимизация реакторного оборудования и условий промышленной эксплуатации процесса изометризации пентан-гексановой фракции. Чеканцев Н.В. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Томск. – 2009.

15. Математическое моделирование процесса каталитической изомеризации пентан-гексановой фракции // А.Г. Фасхутдинов, И.В. Ахметов, И.М. Губайдуллин, А.Е. Мусина // Вестник Башкирского университета. 2018. Т. 23. №3. – стр. 739 – 743.

16. Компьютерное прогнозирование работы промышленных катализаторов процессов риформинга и изомеризации углеводородов бензиновой фракции: учебное пособие / А.В. Кравцов, Э.Д. Иванчина, Е.С. Шарова, Н.В. Чеканцев, Д.С. Полубоярцев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 129 с.

17. Превращение н-алканов C_6 и C_{16} на модифицированных цеолитных катализаторах / Заикин М.А. Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук, Саратов. – 2019.

18. Каталитические свойства биметаллических Zr-Zn-содержащих ультрасилов в превращении прямогонной бензиновой фракции // С.Э. Мамедова, Н.Ф. Ахмедова и др. // Башкирский химический журнал, 2019 № 1. – стр. 13-18.

19. Изомеризация легких бензиновых фракций – перспективный способ повышения качества автомобильных бензинов // И.В. Мозговой, Г.М. Давидан, А.Г. Нелин, Л.Н. Олейник, Е.Д. Скутин // Омский научный вестник, №10 2016. – стр. 26-30.

20. Молекулярный дизайн катализаторов и катализ в процессах переработки углеводородов и полимеризации: от фундаментальных исследований к практическим приложениям: V семинар памяти профессора Ю.И. Ермакова: сб. тез. докл., 5-9 июля, 2015 г., Республика Алтай / Институт катализа СО РАН – Новосибирск: ИК СО РАН, 2015. – 230 с.

21. Производство экологически чистых автомобильных бензинов в ОАО «Лукойл – Нижегороднефтеоргсинтез» // В.Г. Рассадин, О.В. Дуров, Н.Г. Гаврилов, В.Н. Славин, О.Ю. Шлыгин, Г.Г. Васильев, А.Н. Коваленко, Н.М. Лихтерова // Технологии нефти и газа № 2 2012. – стр. 7-21.

22. Совершенствование установки изомеризации на ООО «Газпром нефтехим Салават» // Ю.А. Федоров, Ю.К. Дмитриев // БУЛАТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. СБОРНИК СТАТЕЙ – 2018. – стр. 310-313.

23. Генеральное соглашение между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и правительством Российской Федерации на 2021 – 2023 годы;

24. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания";

25. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;

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

27. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;

28. Проект Приказа Министерства природных ресурсов и экологии РФ "Об утверждении методов определения нормативов предельно допустимых выбросов вредных (загрязняющих) веществ (за исключением радиоактивных веществ) в атмосферный воздух" (подготовлен Минприроды России 08.08.2018)

29. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 02.12.2020 N40 "Об утверждении санитарных правил СП 2.2.3670-20 "Санитарно – эпидемиологические требования к условиям труда";