

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

---

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

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Математическая модель процесса изомеризации гептановой фракции</b>

УДК 547.217.1:66.095.21:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ6Б	Гурина Ксения Владимировна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения химической инженерии	Иванчина Эмилия Дмитриевна	д.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Король Ирина Степановна	к.х.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2018 г.

## Результаты профессиональной деятельности в процессе работы (ООП 18.04.01)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
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), <b>CDIO (п. 1.1, 4.1, 4.3, 4.8)</b>
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), <b>CDIO (п. 1.1, 3.2, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6)</b>
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 (пп.1.2), <b>CDIO (1.2, 2.1, 4.5)</b>
P4	Разрабатывать <i>новые</i> технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, <i>проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды</i>	Требования ФГОС (ПК-11,26,27,28), Критерий 5 АИОР (п.1.3) <b>CDIO (п.1.3, 4.4, 4.7)</b>
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), <b>CDIO (п. 2.2)</b>
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, <i>выводить на рынок новые материалы</i> , 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) <b>CDIO (п. 4.1, 4.7, 4.8, 3.1, 4.6)</b>
<i>Общекультурные компетенции</i>		
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), <b>CDIO (п. 2.5)</b>
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,7,8,12), Критерий 5 АИОР (2.6), <b>CDIO (п. 2.4)</b>
P9	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-14) , Критерий 5 АИОР (п.2.2), <b>CDIO (п. 3.2, 3.3)</b>
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, <i>демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве</i> , ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3) <b>CDIO (п. 4.7, 4.8, 3.1)</b>

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2ДМ6Б	Гурина Ксения Владимировна

<b>Школа</b>	Инженерная школа природных ресурсов	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Отделение химической инженерии
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	18.04.01 Химическая технология топлива и газа

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	2. Нормы и нормативы расходования ресурсов
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования

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

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	2. Разработка устава научно-технического проекта
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Диаграмма Исикавы. Причинно-следственная диаграмма
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. График проведения и бюджет НТИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Креницына Зоя Васильевна	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2ДМ6Б	Гурина Ксения Владимировна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2ДМ6Б	Гуриной Ксении Владимировне

<b>Школа</b>	Инженерная школа природных ресурсов		
<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Химическая инженерия		
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	18.03.01 Химическая технология

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	1. Разработка математической модели (моделирование, расчеты) процесса изомеризации гептановой фракции (без разработки опытного образца).
---	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Производственная безопасность:</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:	<b>1. Профессиональная социальная безопасность:</b> 1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований. 1.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.
<b>2. Экологическая безопасность</b>	<b>2. Экологическая безопасность:</b> 2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду. 2.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b>	<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> 3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований. 3.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут при проведении исследований. 3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b>	<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> 4.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства. 4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король И.С.	к. хим. н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ6Б	Гурина К.В.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 142 страницы, 53 рисунка, 35 таблиц, 57 источников, 5 приложений.

В ходе работы были проведены исследования, объектом которых является технология процесса изомеризации. Предметом исследования является гептановая фракция.

Цель работы – разработка математической модели установки изомеризации гептановой фракции для получения товарного бензина с улучшенными свойствами.

Актуальность работы заключается в решении следующих вопросов:

- переработка бензинов с большим содержанием высокоуглеродистых соединений;
- минимизация содержания бензола до 1% об. и ароматических углеводородов (не более 35% об.) при октановом числе не менее 95 пунктов (исслед. метод);
- переработка рафината с установок производства ароматических углеводородов;
- сокращения МТБЭ и других дорогостоящих неароматических автокомпонентов при выпуске автобензинов по стандарту Евро-5.

Ключевые слова: изомеризация, математическая модель, гептановая фракция, октановое число, катализатор.

Выпускная квалификационная работа выполнялась на базе «Инженерной школы природных ресурсов», отделение «Химической инженерии» студенткой группы 2ДМ6Б К.В. Гуриной под руководством ассистента НОЦ Химической инженерии В.А. Чузловым.

## Оглавление

Введение.....	3
1. Технология процесса изомеризации .....	5
1.1. Химизм процесса изомеризации .....	14
1.2. Катализаторы процесса изомеризации С7-С8 фракции.....	18
1.3. Развитие технологий процесса изомеризации .....	29
2. Экспериментальная часть.....	37
2.1. Постановка задачи .....	37
2.2. Объект исследования .....	38
2.2.1. Исходные данные.....	38
2.2.2. Описание технологической схемы установки .....	38
2.3. Термодинамический анализ процесса изомеризации гептановой фракции	
2.4. Влияние технологических параметров на качество и выход продуктов..	56
2.4.1. Состав сырья .....	56
2.4.2. Объемная скорость подачи сырья .....	58
2.4.3. Температура процесса .....	60
2.4.4. Давление процесса .....	63
2.5. Внедрение кинетической модели процесса изомеризации гептановой фракции в структуру действующего НПЗ .....	66
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	72
3.1. Потенциальные потребители результатов исследования .....	72
3.2. Диаграмма Исикавы.....	74
3.3. Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	77
3.4. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	78
3.5. Инициация проекта .....	79
3.6. План проекта.....	83
3.7. Бюджет научного исследования .....	84
3.8. Организационная структура проекта .....	91
3.9. Оценка сравнительной эффективности проекта .....	92
4. Социальная ответственность .....	95
4.1. Профессиональная социальная безопасность .....	96
4.1.1. Анализ вредных и опасных факторов на рабочем месте .....	96
4.1.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	97
4.2. Экологическая безопасность.....	98
4.2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду ..	98
4.2.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды .....	98
4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	104
4.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	105
4.4.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства .....	105
4.4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя .....	105
Выводы .....	107

Список публикаций.....	108
Список использованных источников .....	109
Приложение А .....	114
Приложение Б.....	134
Приложение В.....	135
Приложение Г .....	136
Приложение Д.....	138

## Введение

Цель изомеризационных процессов в нефтепереработке - улучшение антидетонационных свойств авиационных и автомобильных бензинов. В нефтеперерабатывающей промышленности их начали применять для получения изобутана из *n*-бутана. Изобутан далее алкилировали бутиленами и в результате получали 2,2,4-триметилпентан (изооктан).

Рост производства автомобильных бензинов и все возрастающие требования к его антидетонационным свойствам потребовали значительного увеличения мощностей каталитического риформинга бензиновых фракций 80-180°C. В результате, получается высокооктановый компонент с высоким октановым числом, но с большим содержанием ароматических углеводородов.

В высококачественных автомобильных бензинах АИ-95 и АИ-98 должно содержаться от 25 до 45% изопарафиновых углеводородов, которые получают в процессах алкилирования и изомеризации. Добавление их к высокоароматизированным компонентам бензина каталитического крекинга и риформинга позволяет улучшить эксплуатационные свойства указанных бензинов. Поэтому с увеличением производства бензинов АИ-95 и АИ-98 необходимо наращивать мощности этих производств, что является актуальной задачей современной нефтехимии.

Одним из решений данной задачи является переработка бензинов с большим содержанием высокоуглеродистых соединений. Эффективность процесса производства автомобильных бензинов повышается путем выделения из прямогонного бензина  $C_7$ -фракции (70-105°C) и направления ее не на риформинг, а на установку изомеризации  $C_7$ -фракции. Однако развитие данного процесса было бы невозможным, без использования метода математического моделирования. С помощью него возможно изучение свойств процессов и объектов на математических моделях, осуществление компьютерного прогнозирования оптимальных схем и режимов эксплуатации промышленных установок, разработка автоматизированных систем

управления технологическими процессами, обучение обслуживающего персонала на тренажерах, имитирующих технологический процесс.

Построение математических моделей многокомпонентного процесса, такой как изомеризация, осуществляется на основе разработанной кинетической схемы. Она включает в себя наиболее прогнозируемые и существенные химические превращения, поскольку реальное число всех практически протекающих реакций достаточно велико. При построении математической модели реактора должны учитываться процессы массо- и теплопереноса, а также гидродинамические условия в объеме реакционной зоны. Таким образом, математическая модель отдельного реактора или узла реакторов в общем позволяет:

- рассчитать изменение покомпонентного содержания углеводородов в каждом реакторе;
- показывает изменение температуры в ходе процесса;
- учитывает давление в системе, разбавление водородсодержащим газом, раскладку катализатора по реакторам.

Имея такую математическую модель, можно провести исследование влияния технологических параметров и состава сырья на выход изомеризата, выполнить оптимизационные расчеты реакторного узла в отношении числа реакторов в узле, распределения катализатора и профиля температур в них.

## 1. Технология процесса изомеризации

Долгое время в развитии производства высокооктановых компонентов автомобильных бензинов основной упор делался на процессы каталитического крекинга, риформинга и их модификации, позволяющие получать высоко детонационностойкие продукты, обладающие, однако, повышенным содержанием ароматических углеводородов. В настоящее время в связи с постепенным введением европейских стандартов качества топлив акценты производства высокооктановых компонентов (ВОК) смещаются в сторону процессов изомеризации, полимеризации и алкилирования.

При разработке бензинов для современных видов двигателей следует уделять особое внимание на их технические и экологические характеристики. Идеальный бензин должен иметь октановое число в диапазоне от 86 до 94, и низкий уровень воздействия на окружающую среду и экологию в целом. Алканы имеют гораздо более низкую реакционную способность, чем ароматические соединения или олефины. Однако только сильно разветвленные углеводороды имеют высокие октановые числа [32, 33].

Таблица 1 - Октановые числа разветвленных углеводородов, определенное исследовательским методом

Углеводород	ИОЧ
1,1-диметилциклопентан	92,3
Цис-1,3-диметилциклопентан	79,2
Транс-1,3-диметилциклопентан	80,6
Транс-1,2-диметилциклопентан	80,6
Этилциклопентан	87,2
2,2-диметилгексан	72,5
Изо-октан	100,0
2,3,3-триметилпентан	102,9
2,3,4-триметилпентан	101,3

Продолжение таблицы 1

2-метилэтилпентан	87,3
1-метил-1,2-диэтилциклопропан	102,6
1,1,2-триметил-2-этилциклопропан	102,6
1,1,3-триметилциклопентан	102,6

Поскольку алканы, присутствующие в бензиновой фракции сырой нефти, являются преимущественно линейные или моноразветвленные, они должны быть превращены в сильно разветвленные изомеры через процессы изомеризации и риформинга. Поэтому изомеризация бутана, пентана и гексана является важным процессом для улучшения октанового числа бензинов в нефтепереработке. Но эта технология не была применена к гептану и более тяжелым алканам, так как продуктов крекинга становятся слишком много по мере увеличения конверсии. Интерес к производству чистых бензинов с высокими октановыми числами привело к поиску новых твердых катализаторов с улучшенной селективностью [4, 19, 30].

Введение жестких требований к качеству автобензинов в России потребовало включения в схему переработки установок изомеризации C5-C6-фракций на всех НПЗ. За последние 10 лет на российских НПЗ введено в эксплуатацию 17 новых установок изомеризации, столько же находится на разных стадиях проектирования и строительства.

Данная действующая схема осуществляет разделение бензиновых фракций на сырье установки изомеризации пентан-гексановой фракции (№10) и установок риформинга (№ 12, №13).

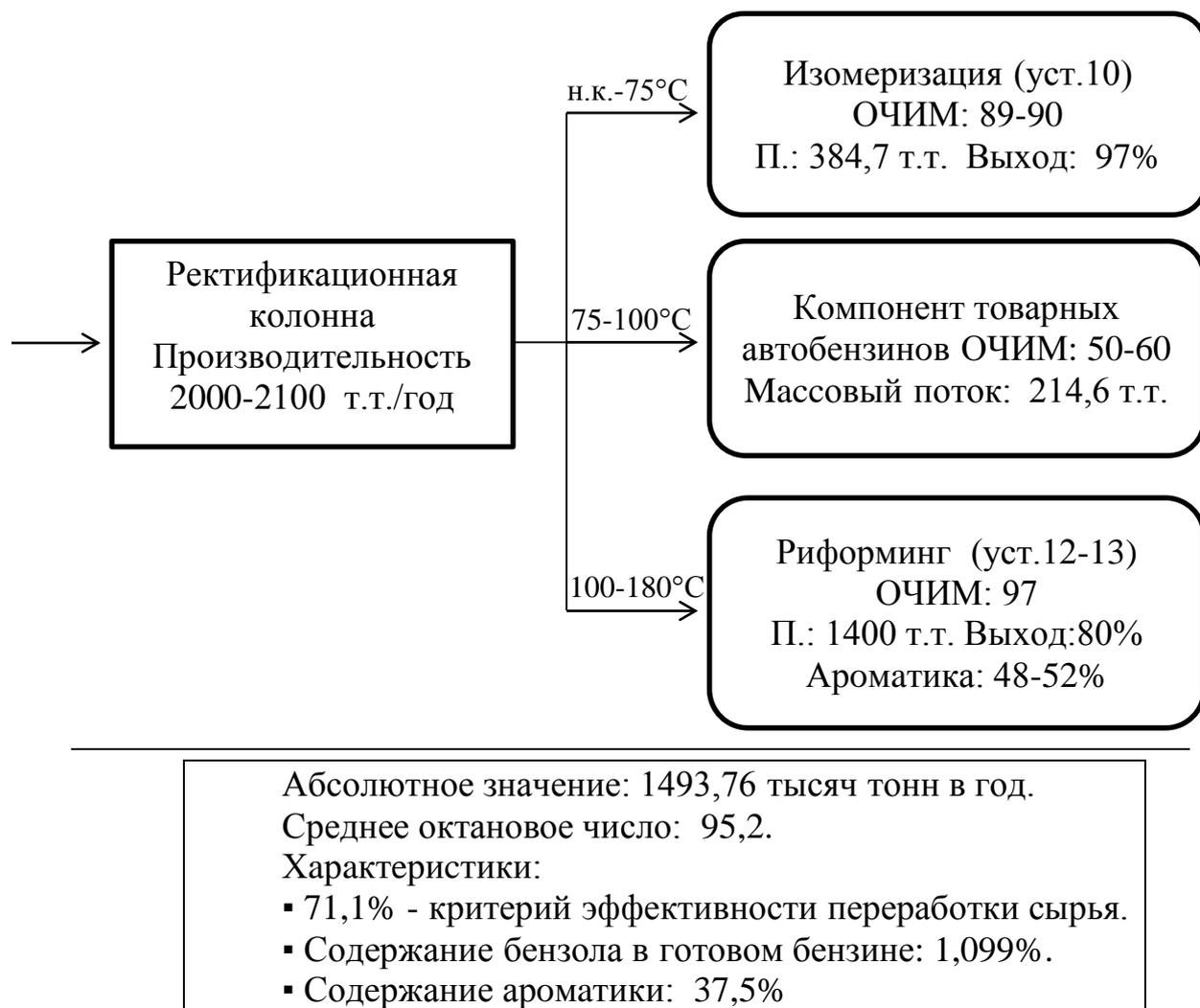


Рисунок 1 - Блок-схема процесса разделения бензиновых фракций на сырье установки изомеризации пентан-гексановой фракции (№10) и установок риформинга (№ 12, №13)

Установка изомеризации представляет собой технологическую систему, которая может состоять из различных наборов блоков, с целью повышения качества стабильного изомеризата.

При минимальных инвестициях в процесса изомеризации может быть использована экономически эффективная схема без рециркуляции «за проход» (Рисунок 2).

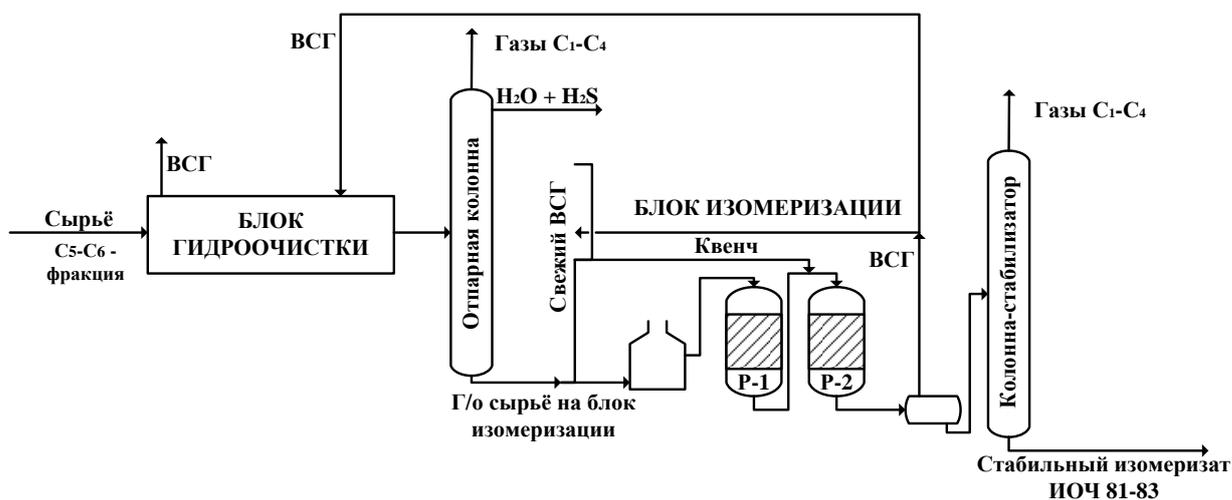


Рисунок 2 – Блок-схема процесса «за проход»

Схема с рециклом н-пентана (ДИП+ДП) применяется для переработки сырья с содержанием пентанов 50-70 %. Схема позволяет выводить отдельно изопентановую фракцию в количестве, соответствующем содержанию пентанов в сырье установки изомеризации.

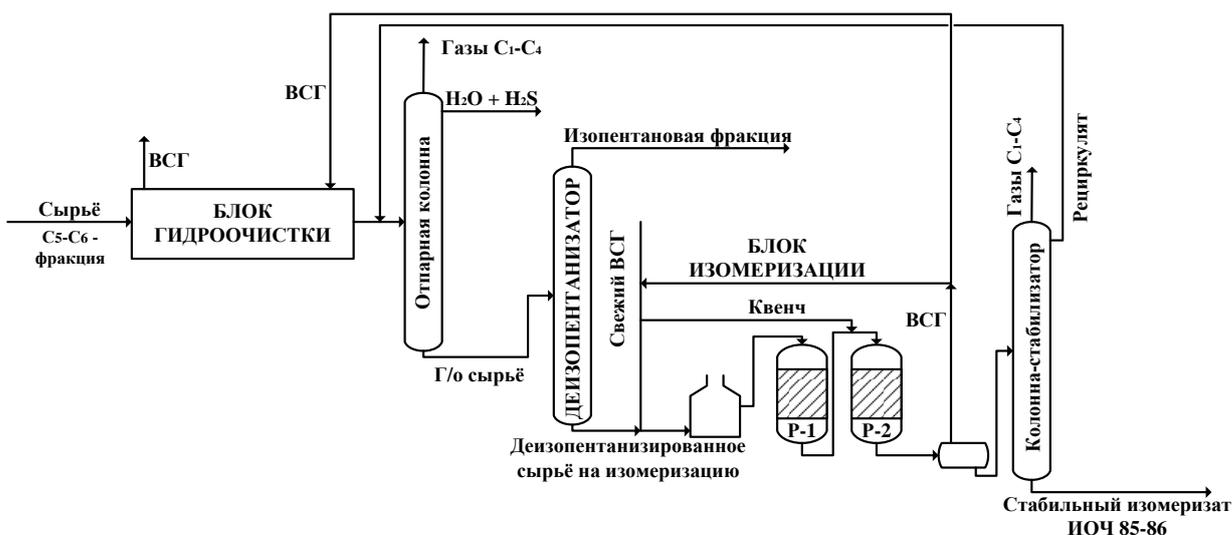


Рисунок 3 – Блок-схема процесса с рециклом н-пентана (ДИП+ДП)

Схема с рециклом малоразветвленных гексанов (ДИГ) позволяет октановое число вырабатываемого изокомпонента за счет возврата малоразветвленных гексанов на смешение с сырьем реакторного блока. По сравнению с вариантом "за проход" схема включает дополнительную колонну деизогексанизатор. Установка деизогексанизатора является оптимальным технологическим решением для переработки сырья с

содержанием гексанов 50-70% и высоким содержанием примесей углеводородов C7+ и бензола.

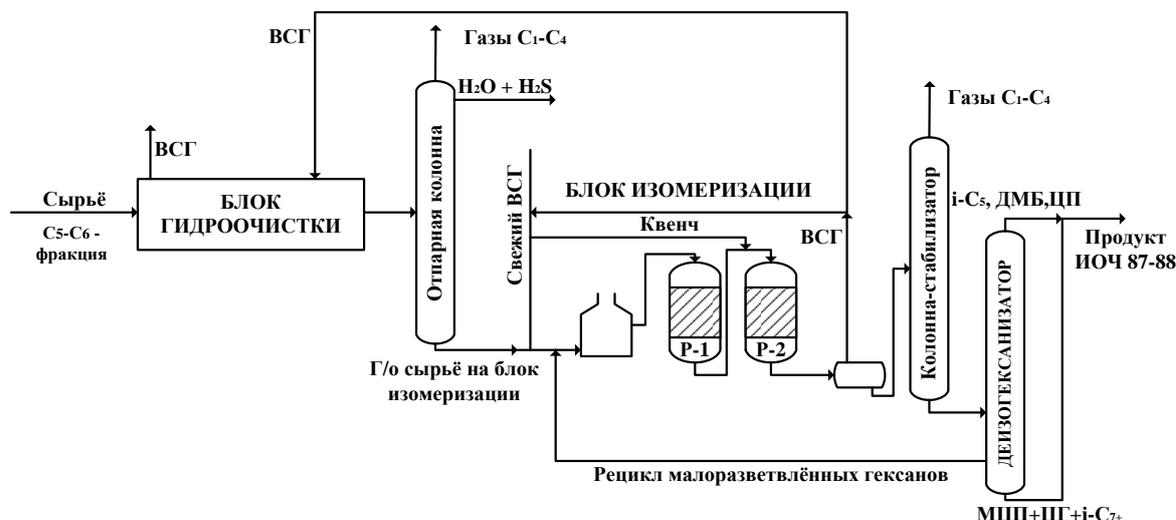


Рисунок 4 - Блок-схема процесса с рециклом малоразветвленных гексанов (ДИГ)

Использование схемы с деизопентанизацией сырья и рециклом малоразветвленных гексанов (ДИП+ДИГ) позволяет снизить нагрузку на реакторный блок, повысить глубину изомеризации пентана.

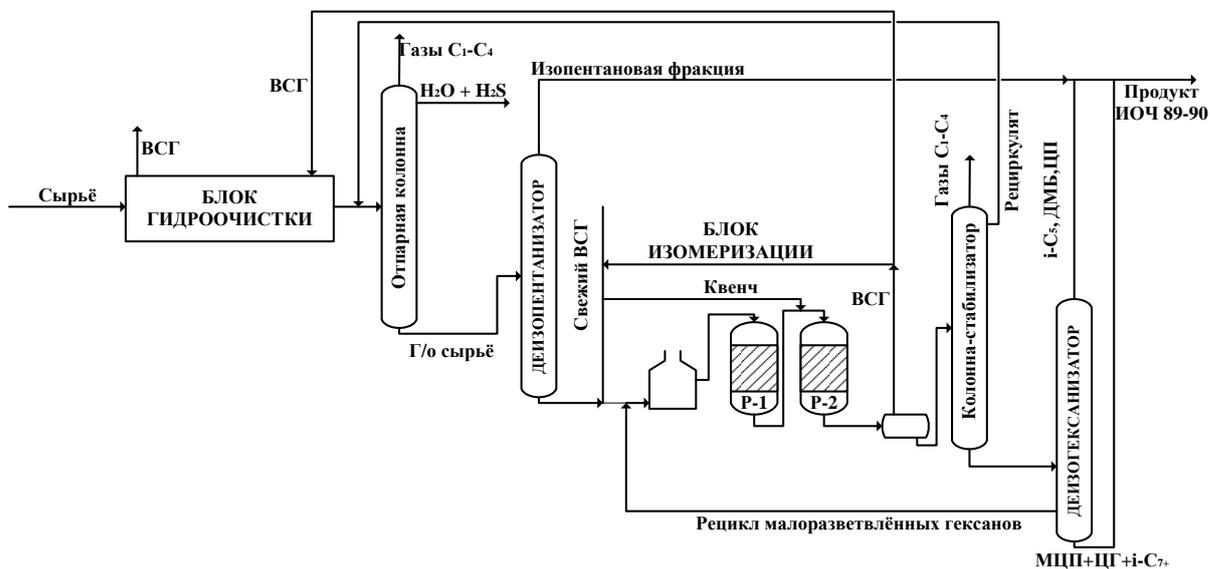


Рисунок 5 - Блок-схема процесса с деизопентанизацией и рециклом малоразветвленных гексанов (ДИП+ДИГ)

Однако не все проблемы НПЗ решены с включением в схему переработки установок изомеризации C5-C6-фракций.

Основные проблемы сводятся к следующему:

- высокая доля бензола и ароматических углеводородов в базовом автокомпоненте – риформате (1,1%);
- низкая доля высокооктановых неароматических автокомпонентов в общем выходе бензинов (75-76%);
- высокая концентрация ароматических соединений (37,5%);
- недостаточно высокое октановое число общего выхода бензиновых фракций.
- невозможность приготовления товарного бензина без применения октаноповышающих присадок.

Для обеспечения современных требований по содержанию в товарных автобензинах бензола (<1%) и ароматических (<35%) требуется добавление большого высокооктановых неароматических автокомпонентов (МТБЭ, алкилат). По такой технологии производится в настоящее время автобензин, соответствующий стандарту ЕВРО-5. Но из-за ограниченного количества высокооктановых неароматических автокомпонентов и дороговизны присадок выработка автобензинов по стандартам ЕВРО-4 и ЕВРО-5, как правило, не превышает 40-50% от всего ассортимента, а в ряде случаев значительно меньше [1].

Известны технические решения для снижения концентрации бензола в риформате путем фракционирования и выделения бензольного концентрата. Но такое решение дальнейшей переработки бензольной фракции, что приводит к дополнительным затратам и существенному снижению выхода целевого продукта.

По результатам различных исследований можно сделать вывод, что эффективность высокооктановых автобензинов по стандартам ЕВРО-4 и ЕВРО-5 значительно повышается путем выделения из прямогонного бензина С<sub>7</sub>-фракции (70-105°С) и направления ее не на риформинг, а на установку изомеризации С<sub>7</sub>-фракции.

Комплексная схема переработки широкой бензиновой фракции по технологии ОАО «НПП Нефтехим» представлена на рисунке.

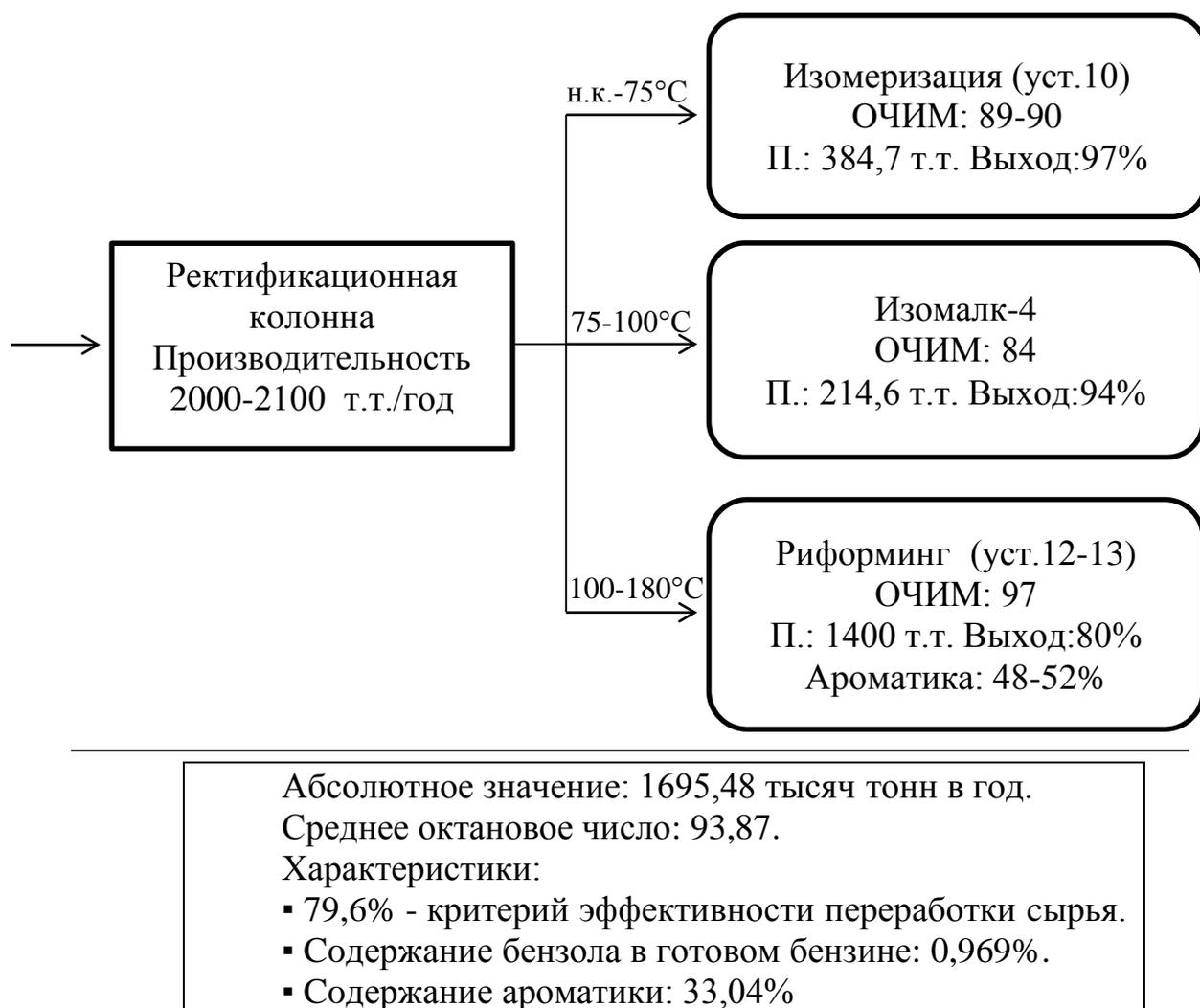


Рисунок 6 - Блок-схема процесса переработки бензиновой фракции по технологии ОАО «НПП Нефтехим»

Разработанная ООО "НПП Нефтехим" технология изомеризации C<sub>7</sub>-фракции получила название Изомалк-4 [17]. Данная технология прошла опытную и опытно-промышленную проверку и не имеет аналогов в мире. В 2017 году технология C<sub>7</sub>-фракции «Изомалк-4» получила статус Национального проекта [50].

Технология изомеризации гептановой фракции (фракции 70-105°C) Изомалк-4 имеет аппаратное оформление близкое к традиционной схеме Изомалк-2. Схема с рециркуляцией неразветвленных гептанов позволяет получать изомеризат с октановым числом 83-85 пунктов по исследовательскому методу.

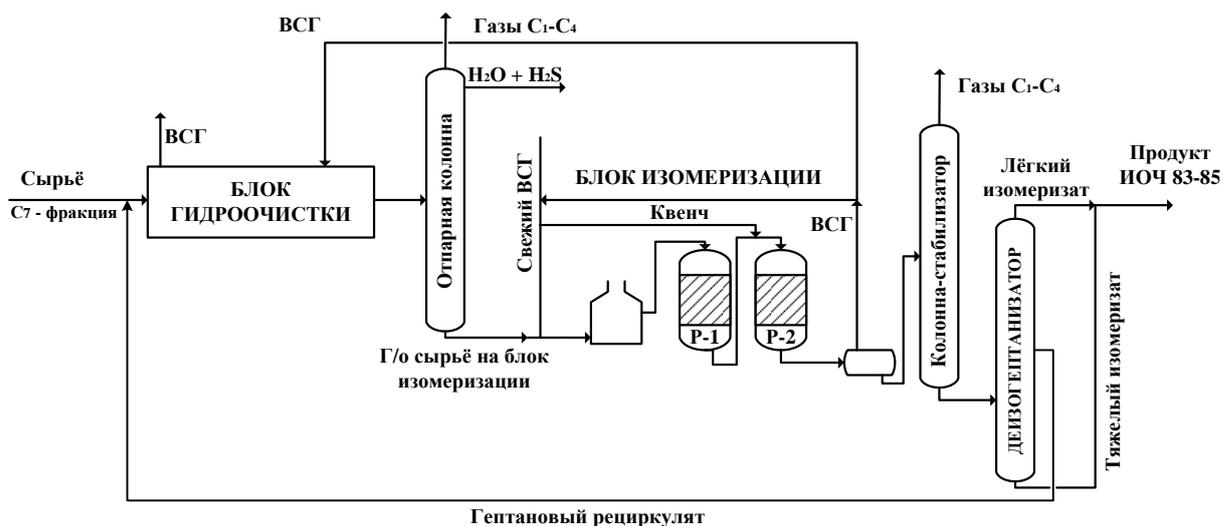


Рисунок 7 - Схема изомеризации C7-C8 фракции с рециркуляцией неразветвленных гептанов

Основной особенностью Изомалк-4 является выделение C7 –фракции и осуществление ее изомеризации на отдельной установке по разработанной ОАО «НПП Нефтехим» технологии. Включение в схему переработки изомеризации C7 – фракции позволяет:

- обеспечить гарантированное содержание бензола менее 1% об.;
- снизить содержание ароматических углеводородов до 33%;
- обеспечить эффективную работу катализатора изомеризации фракции НК-70°С за счет содержания углеводородов C<sub>7+</sub> в сырье;
- добиться увеличения критерия эффективности переработки сырья ( $\chi$ ) на 8,5%.

\*Критерий эффективности переработки сырья ( $\chi$ ) – это произведение эффективности эксплуатации контакта (октановое число по исследовательскому методу, ИМ) на его производительность (выход стабильного продукта). Снижение октанового числа, и одновременное получение большего количества высокооктанового компонента обусловлено получением изомеризата фракции 70-100 °С. Данная фракция

характеризуется, относительно невысоким октановым числом, однако ее вклад в увеличения выхода высокооктановых компонентов значителен [52].

Технология изомеризации гептаной Изомалк-4 не требует специального лицензированного оборудования, не требует специальных решений по подготовке сырья (подготовка сырья осуществляется на стандартном блоке гидроочистки) и может быть реализована как путем нового строительства, так и с модернизацией существующих мощностей полурегенеративного риформинга / изомеризации.

В основу технологии “Изомалк-4” положен уникальный катализатор СИ-4, обеспечивающий проведение селективного процесса изомеризации гептанов при температурах 160-200°C. Катализатор не требует подачи дополнительных реагентов и обладает высокой стабильностью и устойчивостью к каталитическим ядам.

Таблица 2 - Селективность процесса изомеризации C<sub>7</sub>-углеводородов на различных катализаторах

Глубина изомеризации: ди- и тризамещенные C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> , %	Выход C <sub>1</sub> -C <sub>4</sub> , %		
	Pt/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Cl	Pt/ZrO <sub>2</sub> -SO <sub>4</sub>	СИ-4
5	0,5	0,3	0,15
10	2,0	1,5	1,0
15	4,5	3,2	1,2
20	7,0	4,5	1,8
25	10,0	7,0	2,5
30	14,0	10,0	3,5
35	19,0	12,5	4,0
40	24,0	16,5	5,2

Благодаря новой комплексной схеме переработки широкой бензиновой фракции требования Евро-5 достигаются компаундированием только изокомпонентов и риформата, что позволяет значительно снизить затраты на приобретение высокооктановых неароматических автокомпонентов.

## 1.1. Химизм процесса изомеризации

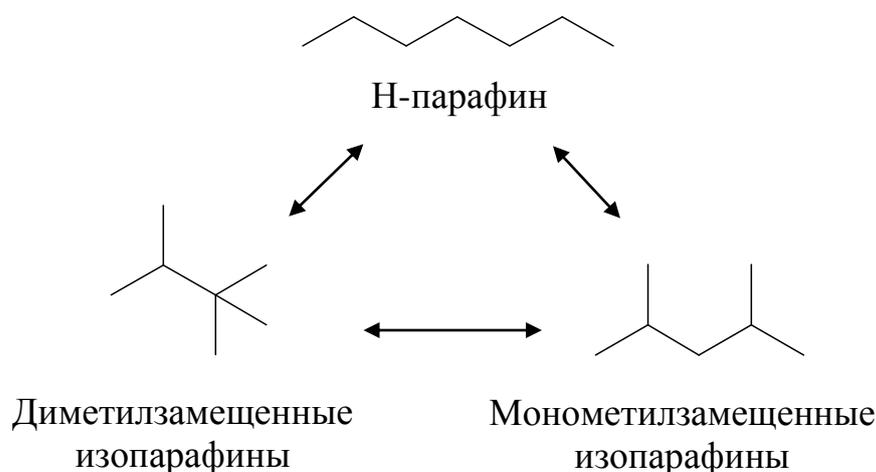
Изомеризацией называют процесс превращения одних изомеров (соединений одинаковых по составу и молекулярной массе, но отличающихся по свойствам) в другие.

Процесс изомеризации предназначен для повышения октанового числа углеводородов легких бензиновых фракций за счет перегруппировки молекулярной структуры нормальных парафинов в их изомеры. Вовлечение изомеризата в состав бензинов выравнивает октановую характеристику во всем интервале кипения бензиновой фракции. Реакции протекают в среде водорода, на стационарном слое катализатора.

Скелетная изомеризация углеводородов  $C_4-C_7$  является важным процессом в нефтеперерабатывающей промышленности, так как важно поддержание октанового числа бензина без добавления соединений свинца, а также с низким содержанием ароматических соединений и олефинов.

Изомеризация n-гептана ( $n-C_7$ ) имеет большое значение, учитывая, что его скелетные изомеры увеличивают октановое число от 0 до 42-112. Согласно экологическим нормам, полученные разветвленные молекулы полезны в качестве чистого высокооктанового топлива.

Реакция изомеризации n-парафинов протекает в три стадии, различающиеся скоростями и последовательностью образования:



Наиболее быстро образуются низкооктановые монометилзамещенные изомеры. Далее равновесная смесь метилзамещенных изомеров образует диметилзамещенные изомеры, причем константа скорости этой стадии на порядок ниже, чем первой. Кроме того, с увеличением молекулярной массы н-парафина наблюдается опережающий рост скорости гидрокрекинга. Поэтому основными направлениями в изомеризации углеводородов  $C_7$  являются разработка катализаторов и условий проведения процесса изомеризации для повышения скорости образования диметилзамещенных изомеров и снижения крекинга н-парафинов.

В процессе протекают реакции:

- гидрирование ароматических углеводородов;
- разрыв нафтеновых колец;
- крекинг;
- изомеризация нормальных и монометилзамещенных углеводородов.

Все эти реакции проходят с выделением тепла, что требует охлаждения среды во втором реакторе [28].

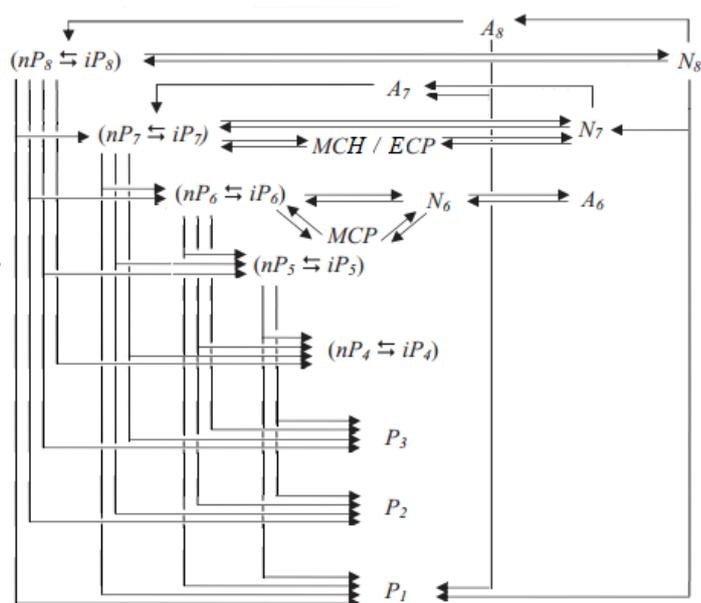
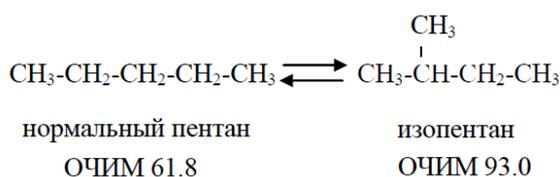
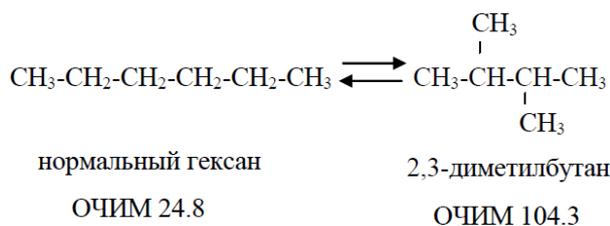
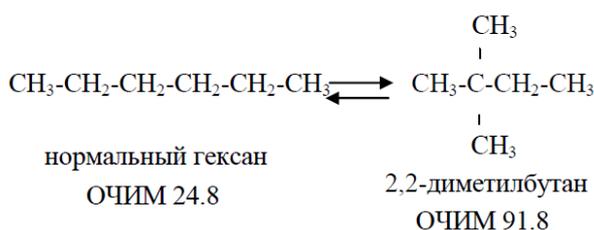
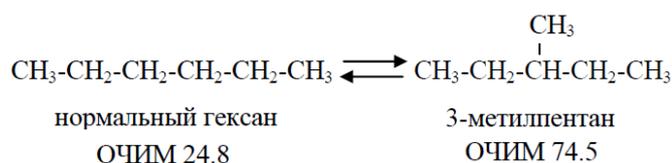
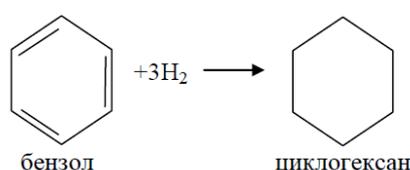


Рисунок 8 - Основные реакции процесса изомеризации гептановой фракции

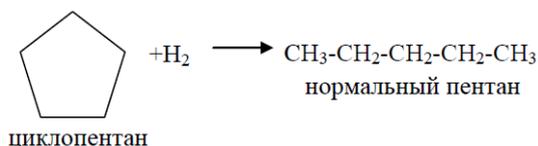
Реакции изомеризации парафиновых углеводородов являются равновесными и проходят без изменения объема, поэтому термодинамическое равновесие зависит только от температуры: низкая температура благоприятствует образованию более разветвленных изопарафиновых углеводородов, однако с повышением температуры скорость изомеризации возрастает.



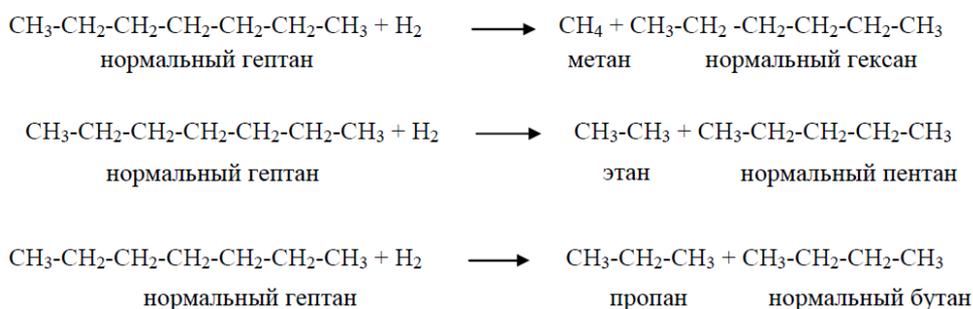
Реакция гидрирования ароматических углеводородов протекает очень быстро и при очень низких температурах, с выделением тепла. Количество выделяющегося при протекании этой реакции тепла ограничивает содержание бензола в сырье, поступающем на установку. В подаваемом на изомеризацию сырье, должно содержаться не более 1% вес. бензола.



Реакция размыкания колец становится быстрее при увеличении температуры. Для нормальных условий в реакторе установки изомеризации, глубина превращения при размыкании нафтеновых колец с образованием парафиновых углеводородов составляет около 20÷40%.



Побочной реакцией является реакция гидрокрекинга. В этой реакции степень превращения зависит от жесткости эксплуатационного технологического режима и от качества сырья. Такие молекулы как C7, с большим количеством атомов углерода, легче подвергаются гидрокрекингу по сравнению с молекулами с меньшим количеством атомов углерода. Также, в некоторой степени, парафины C5÷C6 подвергаются гидрокрекингу. В результате этих реакций образуются метан, этан, пропан и бутан [1, 28].



К снижению активности катализатора может привести присутствие в сырье примесей, такие как сера. В таком случае, для получения нужного соотношения продуктов необходима работа катализатора при более высокой температуре. После удаления серы, по методике катализатор постепенно восстанавливает свою активность. Также необходимо контролировать содержание в сырье примесей, являющихся ядом для катализатора. Ядами, которые необратимо отравляют катализатор, являются соединения, оказывающие на активность катализатора необратимое вредное воздействие. Такими являются: вода, кислородсодержащие соединения, фториды,

соединения азота. В результате воздействия данных соединений дезактивация катализатора необратима [24, 25, 27, 29].

## **1.2. Катализаторы процесса изомеризации С7-С8 фракции**

Реакцию изомеризации проводят на бифункциональных твердых катализаторах, содержащих дегидрирующие функциональные группы (металлические участки) и изомеризации / циклизации (кислотные участки). Они необходимы для реакции изомеризации, расширения кольца и дегидроциклизации.

Каталитические свойства би- и триметаллических катализаторов основаны на электронных или геометрических соображениях. Эти катализаторы изменяют электронные свойства Pt взаимодействием между Pt и видами оксида промотора или образованием прямого сплава и, таким образом, создают значительные изменения в энергиях адсорбции хемосорбированных углеводородов и способствуют каталитической активности и селективности.

Несмотря на развитие катализатора для реакций изомеризации, в литературе не сообщается каких-либо исследований по реакции изомеризации n-C7 и ее кинетических измерений по би- и триметаллическим катализаторам [54].

*Цеолитные катализаторы* обладают такими качествами. Они могут содержать такие цеолиты, как NaY, BETA, H-MOR, H-ZSM 5. Цеолитные катализаторы имеют высокую степень превращения, но при этом выход изомеризата снижается за счет высокой крекирующей активности. Цеолитные катализаторы работают только при повышенных температурах, что термодинамически не благоприятствует образованию разветвленных изомеров, поэтому прирост октанового числа в процессе изомеризации гептановой фракции на цеолитных катализаторах не превышает 7-8 пунктов.

В 1996 г. был предложен углеродсодержащий катализатор для изомеризации n-гептана на основе оксида молибдена. Данный катализатор обладает высокой устойчивостью к сернистым соединениям и не требует

очистки сырья, однако в связи с низкой кислотностью, имеет низкую активность в реакциях изомеризации [34].

Модификация свойств металлических функциональных групп выражается (благородных металлов, особенно Pt) добавлением другой металлической части, такой как Re, Sn, Ge или Ir для реакций. Эти металлы могут тесно взаимодействовать с Pt, обладают частичным химическим сродством и могут изменять активность, селективность и стабильность катализаторов. Re и Ir в биметаллических платиновых катализаторах, даже предварительно сульфидированные, создают нежелательную реакционную активность углеводородов. Предварительная обработка сульфинированием - дорогостоящая операция, которая должна выполняться после регенерации катализатора. Он должен быть включен в промышленный процесс для предотвращения опасной экзотермической потери, вызванного массовым расщеплением связей C-C исходного сырья на ранних стадиях реакции. Для замены этой стадии металлического сульфатирования фазы Pt-Re добавляют олово (Sn) к биметаллическим катализаторам в качестве неактивного модификатора [20, 28].

В научных исследованиях был произведен сравнительный анализ двух видов катализаторов:

- Pt катализатор с сульфатированным диоксидом циркония (SZ), полученный методом осаждения из оксихлорида циркония;
- оксидированный оксид молибдена, полученный путем восстановления  $\text{MoO}_3$ .

Площади поверхности образцов определяли методом БЭТ с использованием окисленного состояния молибдена в катализаторе, влияя на его кислотность. Восстановление водородом также оказывает существенное влияние на поверхностную кислотность и каталитическую активность этого катализатора в изомеризации гептанов.

Некоторые твердые суперкислотные катализаторы, как известно, катализируют скелетную изомеризацию углеводородов при низких

температурах, но эти катализаторы, как правило, быстро дезактивируются. В частности, сульфатированный диоксид циркония (SZ) представляет собой очень прочную твердую кислоту, которая способна катализировать изомеризацию н-гексана при комнатной температуре даже в отсутствие металлических участков, но подвергается очень быстрой дезактивации. Было замечено, что добавление платины увеличивает стабильность катализаторов SZ, и присутствие водорода во время реакции имеет важное значение для поддержания их каталитической активности.

В результате экспериментов было выявлено, что катализатор Pt/SZ (1,18 мас.% S, 0,3 мас.% Pt) показал:

- + Лучшее соотношение диметилпентанов / метилгексанов (0,374-0,423);
- + Максимальная конверсия н-гептана 53%;
- Относительно низкая селективность к изомеризации (70-78%, из-за высокого образования продуктов крекинга);
- Дезактивация через 8 часов.

Сульфидный катализатор молибдена показал:

- + Хорошая активность;
- + Максимальная конверсии н-гептана (78% через 24 часа в потоке);
- + Не было обнаружено дезактивации;
- + Селективность к изомеризации была относительно высокой (85% -93%);
- + Образование продуктов крекинга было умеренным до 24 ч в потоке;
- Отношение диметилпентанов / метилгексанов было относительно низким (0,325 при 24 ч).

Данные результаты показывают, что сульфидный катализатор молибдена имеет большую конверсию гептана и не дезактивируется, но

отношение диметилпентанов / метилгексанов было относительно низким, по сравнению с Pt/SZ.

Однако данные катализаторы имеют хорошие перспективы для промышленного применения изомеризации в н-гептана и более тяжелых парафинов [3, 23].

Также было произведено сравнение таких би- и триметаллических катализаторов, как:

- Pt-Re / ZH;
- Pt-Re-Sn / ZH;
- Pt-Sn-Re / ZH;
- Pt-Sn / ZH.

Для экспериментов был смоделирован реактор с неподвижным слоем, в котором был упакован 1 г порошка катализатора. Данные катализаторы используются для реакции изомеризации n-C<sub>7</sub>. Все виды катализаторов проходили подготовительные этапы перед каждым испытанием: их предварительно обрабатывали в потоке водорода (40 мл / мин) при 400 °C в течение 2 часов. Для каждого запуска использовался жидкий поток n-C<sub>7</sub>, который смешивали с потоком водорода при различных температурах. Продукты реакции анализировали с помощью газовой хроматографии (Agilent Technologies 7890A), оснащенной пламенно-ионизационным детектором (FID).

Активность катализатора определялась долей превращенного n-C<sub>7</sub> в продукты.

Селективность катализатора выражалась следующим уравнением:

$$\text{Селективность (\%)} = \frac{\text{доля n-C}_7, \text{ превращенного в определенный продукт}}{\text{доля превращенного n-C}_7}$$

Для исследования кинетики эксперименты проводились при различных температурах (200-350 °C), при скорости потока n-C<sub>7</sub> на входе в диапазоне 0,02-0,07 мл/мин и скорости потока водорода в диапазоне 20- 45 мл / мин.

Таблица 3- Каталитическая активность, селективность, количество кокса и октановое число (исслед.) при различных температурах

Катализатор	Т, °С	Конверсия n-C7, %	Селективность, %							Коксообразование (72 часа)	ИОЧ
			Моноразветвленные изомеры	Разветвленные изомеры	i-C7	Продукты крекинга	Ароматика	Продукты гидрогенизации	Другие		
Pt / ZH	200	57,3	25,3	10,5	35,8	13,7	3,6	3,9	43,0	-	18,0
	250	75,8	16,3	6,0	22,3	27,0	4,3	4,3	42,1	-	19,2
	300	95,0	11,3	3,7	15,0	36,6	5,6	4,6	38,2	41,0	56,9
	350	100	7,3	0,8	8,1	44,8	8,3	4,7	34,1	-	53,8
Pt-Re / ZH	200	52,5	29,6	12,6	42,2	21,8	2,7	4,6	28,7	-	53,3
	250	71,6	14,1	8,8	22,9	39,7	3,5	4,9	29,0	-	66,6
	300	92,0	12,4	5,4	17,8	43,7	4,3	5,0	29,2	26,4	68,4
	350	100	5,4	4,0	9,4	48,0	7,5	5,1	30,0	-	83,2
Pt-Re-Sn / ZH	200	50,5	24,8	23,4	48,2	17,0	3,1	4,4	27,3	-	59,1
	250	60,2	11,7	12,6	24,3	38,7	3,9	4,8	28,3	-	82,4
	300	64,2	7,8	8,4	16,2	42,9	4,9	4,9	31,1	24,7	90,9
	350	91,3	5,1	4,0	9,1	46,9	8,0	4,9	31,1	-	100,0
Pt-Sn - Re / ZH	200	50,2	40,3	14,9	55,2	12,0	3,4	4,2	25,2	-	68,0
	250	58,8	25,5	9,5	35,0	28,7	4,1	4,6	27,6	-	76,3
	300	61,4	16,6	6,8	23,4	35,5	5,1	4,7	31,3	25,9	79,6
	350	40,8	7,7	5,4	13,1	41,7	8,2	4,8	32,2	-	98,0
Pt-Sn / ZH	200	49,2	35,2	39,8	75,0	16,8	3,0	2,3	2,9	-	65,0
	250	54,0	14,2	28,5	45,7	28,3	3,7	2,5	19,8	-	66,2
	300	60,1	12,9	9,2	22,1	41,9	4,5	3,4	28,1	39,6	85,3
	350	66,1	6,5	6,2	12,7	45,6	7,8	3,7	30,2	-	89,2

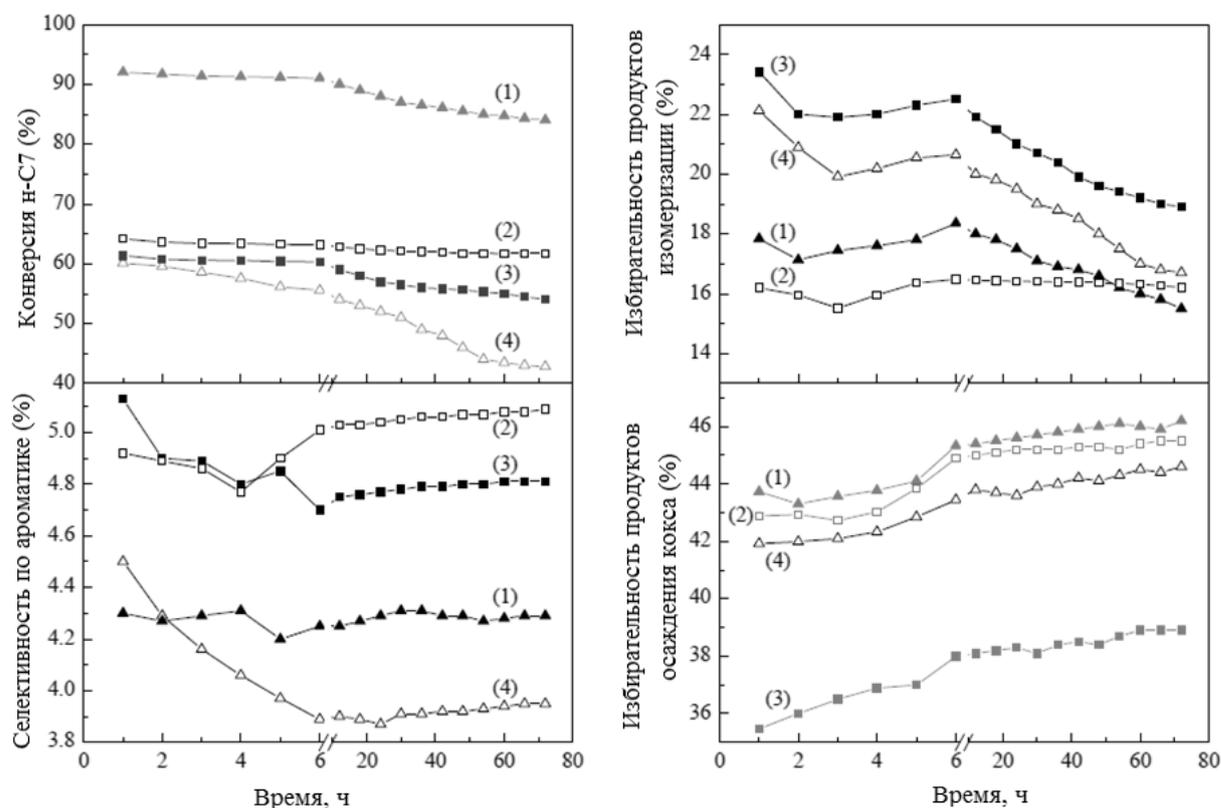


Рисунок 9 - Конверсия и селективность n-C7 по различным продуктам в течение времени при  $T=300\text{ }^{\circ}\text{C}$  для разных катализаторов. (1) Pt-Re / ZH; (2) Pt-Re-Sn / ZH; (3) Pt-Sn-Re / ZH; (4) Pt-Sn / ZH.

Таким образом, исходя из полученных данных были получены следующие зависимости:

- по активности: Pt-Re / ZH > Pt-Re-Sn / ZH > Pt-Sn-Re / ZH > Pt-Sn / ZH;
- по селективности продуктов изомеризации i-C7: Pt-Sn-Re / ZH > Pt-Sn / ZH > Pt-Re / ZH > Pt-Re-Sn / ZH;
- по селективности продуктов осаждения кокса: Pt-Sn / ZH > Pt-Re / ZH > Pt-Sn-Re / ZH > Pt-Re-Sn / ZH;
- Октановому числу (исслед.): Pt-Re-Sn / ZH > Pt-Sn / ZH > Pt-Sn-Re / ZH > Pt-Re / ZH.

Среди этих катализаторов Pt-Sn / ZH намного более селективен, чем другие (75% при  $200^{\circ}\text{C}$ ). Кроме того, Pt-Sn / ZH дает наименее гидрогенизированные продукты. Для селективности по ароматике, согласно результатам, различия незначительны. Основываясь на данных анализов, главный вывод, состоит в том, что Pt-Sn / ZH демонстрирует наилучшие

результаты в реакции изомеризации, но в соответствии с другими важными продуктами, такими как крекинг, ароматические соединения, гидрогенолиз, коксование и результаты ОЧ, Pt-Re-Sn / ZH является лучшим катализатором для промышленных целей [2, 18, 31].

Также были исследованы *жидкие катализаторы* - ионные жидкости, которые, несмотря на свою эффективность в реакции изомеризации, неудобны в процессе эксплуатации. При их использовании необходим блок разделения продуктов реакции и ионной жидкости и блок очистки ее от примесей [8, 9].

Большая часть исследований по изомеризации индивидуальных парафинов и низкокипящих фракций углеводородов в присутствии ионных жидкостей осуществляется в жидком агрегатном состоянии. Кроме того, проведены исследования по влиянию различных примесей, таких как вода, бензол, нафтены, изоалканы, на конверсию и селективность процесса изомеризации. Активно исследуется влияние композиций неорганических галогенидов в составе ионных жидкостей на результаты изомеризации углеводородов. В присутствии ионных жидкостей исследована изомеризация углеводородов как нормального, так и изо-строения, нанесенных на различные носители. Также выявлена низкая конверсия нормальных алканов в отсутствие активирующих добавок, и быстрое снижение активности катализатора [51].

В настоящее время имеются существенные наработки по иммобилизации ионных жидкостей на поверхности силикагеля. В литературе описано три основных способа: нанесение через анион или катион, а также внедрение катиона в структуру силикагеля на стадии изготовления последнего. Первый из приведенных способов предполагает также предварительную обработку носителя неорганическим галогенидом, позволяющую избежать разрушения структуры носителя и частичной дезактивации ионной жидкости [49].

Ионные жидкости представляют собой соли, состоящие из органического катиона и неорганического аниона. Основным отличительным

свойством ионных жидкостей принято считать низкую температуру плавления. Именно эта характеристика может изменяться в достаточно широких пределах в зависимости от подбора катионов и анионов. В качестве границы, определяющей принадлежность веществ к ионным жидкостям, принято считать температуру 100 °С.

Хорошо изученными и наиболее распространенными являются ионные жидкости на основе следующих катионов: диалкилимидазолевые, триалкиламмониевые, тетраалкилфосфониевые, алкилпиридиниевые, тетраалкиламмониевые. Большой интерес к ионным жидкостям в последнее время привел к существенному увеличению ряда используемых органических катионов. Были синтезированы ионные жидкости на основе катионов пиразолия, пиперазиния, алкилтиазолия, морфолиния, пиразиния, диалкилпирролидиния и т.д.

Также на их химические и физические свойства огромное влияние оказывает используемый анион. К настоящему моменту известен широкий ряд анионов: PF<sub>6</sub><sup>-</sup>, AlCl<sub>4</sub><sup>-</sup>, BF<sub>4</sub><sup>-</sup>, O<sub>3</sub>SCF<sub>3</sub><sup>-</sup>. Также известны в качестве анионов слоистые алюмосиликаты, в которых алкилпиридиниевые или алкиламмониевые катионы замещают катионы щелочных и щелочноземельных металлов.

Низкотемпературные расплавы солей, чем и являются ионные жидкости, могут находиться в двух агрегатных состояниях в широком температурном диапазоне.

Находясь в твердом состоянии, они представляют собой порошки или воскообразные субстанции белого или слегка желтого цвета. При фазовом переходе в жидкое состояние становятся прозрачными, иногда с желтым оттенком, обуславливающим наличие примесей.

К основным показателям физических свойств ионных жидкостей можно отнести: летучесть, температуру разложения, плотность, температуру плавления, вязкость, взаимодействие с водой и органическими растворителями.

Ионные жидкости проявляют себя в качестве активных катализаторов в таких процессах как: изомеризация, алкилирование, олигомеризация, гидроформилирование, галогенирование, карбонилирование, ацилирование. Активность ионных жидкостей, кислотность и их физические свойства изменчивы и универсальны, поэтому позволяют подобрать необходимые характеристики для конкретного процесса. Модификацией органического катиона можно изменить вязкость, плотность или сродство к растворителям. Подбор неорганического аниона, а также его мольного соотношения с органической солью позволяет регулировать температуру плавления, термическую стойкость и кислотные свойства каталитической системы, [22].

В области нефтехимии и нефтепереработки важно такое свойство некоторых ионных жидкостей, как высокая кислотность и их активность в реакциях изомеризации и алкилирования углеводородов.

Развитие технологий каталитического превращения углеводородов в присутствии ионных жидкостей позволяет получать каталитические системы, имеющие ряд преимуществ по сравнению с ныне имеющимися катализаторами. К их положительным качествам можно отнести:

- низкая чувствительность к таким каталитическим ядам как олефины и гетероатомные соединения;
- высокая энергоэффективность процессов, обусловленная низкими температурами процесса (40-100°C) при высоких значениях селективности и конверсии.

Однако нужно отметить и имеющиеся недостатки каталитических систем на основе ионных жидкостей:

- необходимы высокие затраты на производство катализатора из-за использования редких реагентов, а также затруднений, связанных с их нанесением на носитель.
- основное количество ионных жидкостей чувствительны к воздействию влаги, свойства некоторых можно восстановить осушкой, остальные же разлагаются необратимо;

В изомеризации утяжеленных фракций широкое распространение получили *галогенированные алюмооксидные катализаторы*. Их недостатком является низкая устойчивость к действию микропримесей серы, азота и влаги. Содержание примесей не только серы, но и воды в сырье и водороде должно быть менее 1ppm, а предельное содержание азота составляет 0,1ppm. Эти требования обуславливают необходимость не только глубокой гидроочистки, но и дополнительной тонкой осушки сырья и водорода. Кроме этого, для компенсации потери хлора требуется постоянная подача значительных количеств хлорорганических соединений, что обуславливает повышенную коррозию оборудования и необходимость утилизации кислых стоков. При изомеризации C<sub>7</sub>-фракции главным недостатком хлорированных катализаторов является их высокая крекирующая активность.

*Сульфатированный оксид циркония* является твердым суперкислотным катализатором, показавшим высокие результаты при изомеризации парафинов фракции C<sub>5</sub>-C<sub>6</sub>, но при изомеризации фракции C<sub>7</sub> он также проявляет низкую селективность [57].

В последнее время исследователей привлекает *вольфрамотированный оксид циркония* как перспективный материал для получения твердокислотных катализаторов скелетной изомеризации линейных алканов. Наиболее активной формой оксида циркония является тетрагональная, которая при повышенных температурах может трансформироваться в моноклинную структуру, а частицы оксида циркония могут спекаться. Частицы вольфрама стабилизируют кристаллический оксид циркония в тетрагональной фазе и предотвращают спекание.

Основной разработкой ООО "НПП Нефтехим" в данной сфере является катализатор СИ-4. Он представляет собой уникальный по своим свойствам продукт, не имеющий аналогов в мире. Высокая активность катализатора СИ-4 обусловлена особой пористой структурой модифицированного цирконий-содержащего носителя с нанесенной платиной. Катализатор имеет высокую устойчивость к проскокам примесей влаги и серы в сырье. Низкое образование

кокса на поверхности обеспечивает высокий межрегенерационный период работы катализатора не менее трех лет, срок службы катализатора - не менее 8 лет.

Его основные характеристики указаны в таблице 4.

Таблица 4 - Характеристики катализатора СИ-4 (ТУ 2177-016-04706197-2012)

Форма	экструдат
Диаметр экструдата	2,5 ± 0,30 мм
Насыпной вес	1,000-1,200 г/см <sup>3</sup>
Коэффициент прочности	Не менее 8,0 Н/мм
Содержание платины	0,25%
Давление	1,0-2,0 МПа
Объемная скорость	1,5-2,0 час <sup>-1</sup>
Мольное соотношение Н <sub>2</sub> :сырье	(1,0-2,0):1,0
Способ регенерации	газовоздушная, в реакторе
Межрегенерационный период	2-3 года
Срок службы	8-10 лет
ИОЧ	83-85
Выход изомеризата, %масс.	92- 95
Содержание ароматических углеводородов в изокомпоненте	0% масс.

Данный катализатор не требует подачи дополнительных реагентов.

### **1.3. Развитие технологий процесса изомеризации**

В связи с введением европейских стандартов и ожесточением значений содержания высокооктановых компонентов и прочих соединений, производители вынуждены модернизировать технологии и схемы установок.

Подтверждением этого может служить процесс O-T Zeolitic Isomerisation, разработанный фирмой UOP как модернизация установок каталитического риформинга с целью производства высокооктанового изомеризата фракции НК-71 °С [1-3].

Эта технология относится к процессам среднетемпературной изомеризации углеводородной фракции н.к.-71°C. Реакция изомеризации протекает при температуре 240-275°C и давлении водорода 21-35 кг/см<sup>2</sup>. Катализатором процесса является высококремнеземный цеолит, под маркой HS-10, с нанесенным на него благородным металлом подлежащим восстановлению. Коррозии оборудования позволяет избежать отсутствие кислотных активаторов [4, 5]. Сравнение условий процесса с каталитическим риформингом приведено в таблице 5.

Таблица 5 - Сравнение каталитического риформинга и процесса O-T Zeolitic Isomerization

Параметры	Каталитический риформинг	O-T Zeolitic Isomerisation
Давление, кг/см <sup>2</sup>	14- 35	21- 35
Температура °С	около 510	около 260
ОСПЧ, ч <sup>-1</sup>	1- 5	1- 3
H <sub>2</sub> , м <sup>3</sup> /баррель	500- 1700 производится	около 70 потребляется

Октановое число продукта (исслед. метод) составляет 80 пунктов, выход катализата 97-98%.

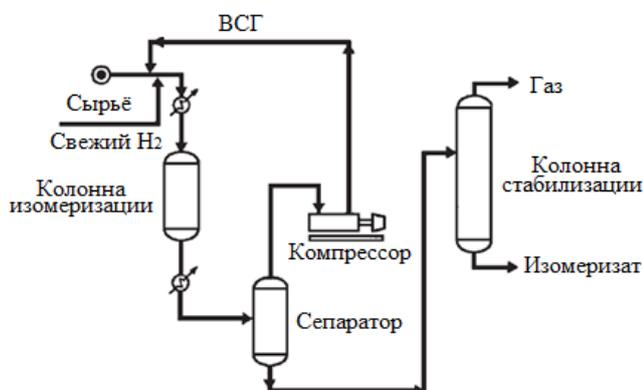


Рисунок 10 - Процесс UOP O-T Zeolitic Isomerization

Также к отечественным и зарубежным разработкам цеолитных катализаторов среднетемпературной изомеризации относятся: IP-632 (Axens), Nysopar 5000 (Sud Chemie), ИПМ-02 (ООО «ВНИИ Нефтехим»). В таблице 6 приведены некоторые характеристики перечисленных процессов [6-10].

Таблица 6 - Характеристики процессов среднетемпературной изомеризации

Характеристика	Hysopar 5000 (Sud Chemie)	IP-632 (Axens)	ИПМ-02 (ООО «ВНИИ Нефтехим»)
Температура, °С	240- 280	250- 270	240- 285
Давление, МПа	3- 3,2	1,5- 3,0	2-3
ОСПЧ, ч <sup>-1</sup>	2	1- 2	1-3
Мольное соотношение H <sub>2</sub> :СН	1,6:1	(3-4):1	0,5:1
Октановое число «за проход» (ИМ)	78- 80	80	78
Выход катализата	98,1	97	97

По показателям устойчивости к действию ядов лидирует катализатор Hysopar 5000 (Sud Chemie) [4, 5, 7, 11].

Также компания UOP ведет разработку и модернизацию других технологий процесса изомеризации. Например, процесс Penex UOP предназначен для каталитической изомеризации пентанов, гексанов и их смесей.

Катализатором является платина, нанесенная на фторированную окись алюминия [1, 2, 10]. Фирма UOP проводит их постоянную модернизацию с целью достижения минимального содержания платины при сохранении их каталитических свойств. На данный момент для вышеупомянутого процесса предлагается несколько модификаций катализаторов изомеризации, подбираемых в зависимости от используемого сырья:

- I-122 – используется в мягких режимах эксплуатации;

- I-82 (содержание платины 0,24%) - используется для изомеризации сырья с содержанием нафтенов более 15% и бензола более 2,5% соответственно. Также он допустим для использования в жестких условиях – при возможных проскоках сырья, с повышенным содержанием бензола и с повышенным содержанием каталитических ядов;

- I-84 (содержание платины 0,18%) - используется для изомеризации с содержанием нафтенов не выше 15% и бензола не выше 2,5% соответственно. Использование рекомендовано в условиях максимально близких к стандартным [10].

Наиболее распространена в России модификация I-82, предполагающая снизить дезактивацию катализатора и риски отравления. Процесс рекомендовано проводить при температуре 130-160°C, давлении 3,0-3,5 МПа и объемной скорости подачи сырья 1,5-2,0 ч<sup>-1</sup>.

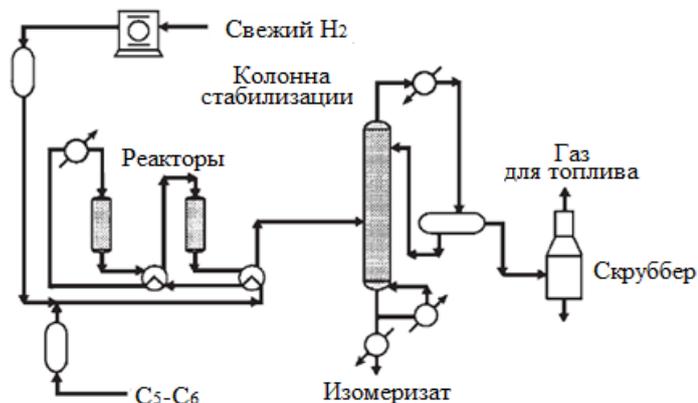


Рисунок 11 - Процесс UOP Penex

Фирма UOP разработала несколько модификации технологического оснащения процесса с целью повышения эффективности процесса:

- с рециклом метил-пентанов и н-гексана (разделение в деизогексанизаторе).

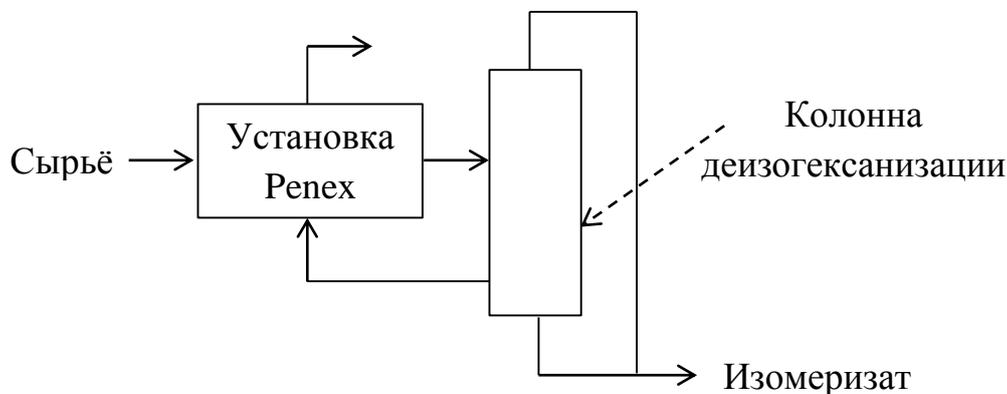


Рисунок 12 - Схема с рециклом метил-пентанов и н-гексана

Схема предполагает разделение нижнего продукта стабилизационной колонны фракционированием и адсорбцией на молекулярных ситах. В результате получают изо-парафин и н-парафин, который возвращается в реактор вместе с низкооктановыми метил-пентанами.

- с рециклом н-пентана и н-гексана (разделение на молекулярных ситах процесса «Молекс»).

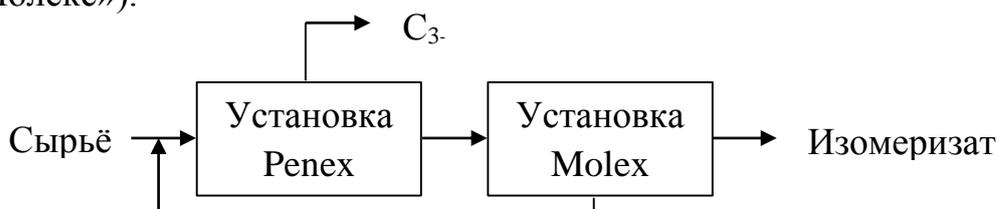


Рисунок 13 - Схема с рециклом н-пентана и н-гексана

Схема с рециркуляцией получается эффективно выгодной путем объединения процессов Molex и Renex. Продукт Renex разделяется в сепараторе на молекулярных ситах на высокооктановый изопарафин и низкооктановый н-парафин, согласно технологии процесса Molex. Последний, вместе со свежим сырьем, подается на установку Renex. На установке Molex изомеризованный продукт денормализуется и извлекается для использования в качестве компонента бензина.

- с рециклом нормальных пентана, гексана и метилпентанов (с применением деизогексанизатора и молекулярных сит).

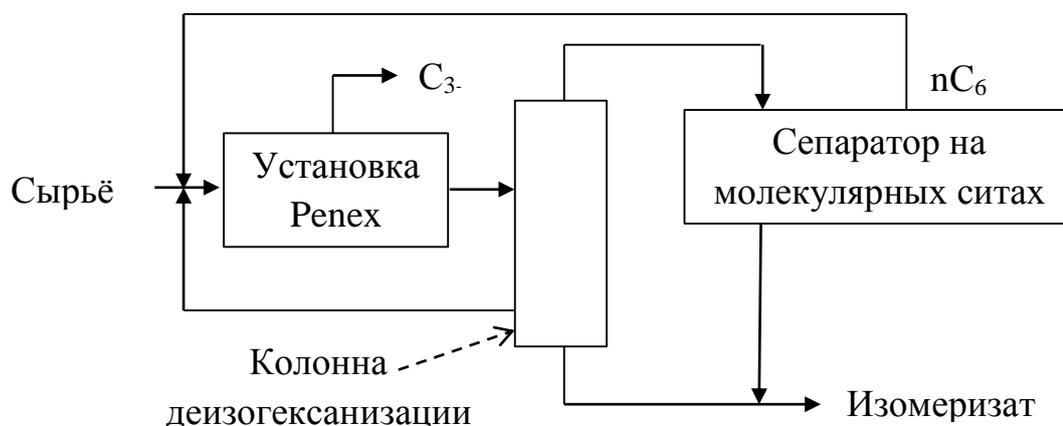


Рисунок 14 - Схема с рециклом нормальных пентана и гексана, а также метил-пентанов

Однако менее затратной является схема с рециркуляцией, которая состоит в объединении процесса Renex с колонной деизогексанизации. В боковом погоне колонны концентрируются низкооктановые метил-пентаны. Этот погон смешивается со свежим сырьем и подается в реактор Renex. Верхний продукт колонны деизогексанизации, состоящий в основном из 2,2- и 2,3-диметилбутана, а также изо-пентана - улавливается и используется в

качестве компонента бензина. Часть нижнего продукта колонны, состоящего из нафтенов гексана и фракций гептана, также отбирается и используется в качестве компонента бензина или сырья установки риформинга.

С применением данных схем рециркуляции получаемый изомеризат имеет октановое число 80 пунктов (исслед. метод) при однопроходной схеме и от 88 до 92 пунктов (исслед. метод). К их недостаткам можно отнести необходимость добавки хлорорганических соединений к сырью, для поддержания активности катализатора, невозможность регенерации, загрязнение изомеризата соляной кислотой а также плохую устойчивость к проскокам серы, азота и воды.

В этой области также ведет модернизацию катализаторов фирма Axens, которая основана на основе хлорированного оксида алюминия. IS-614A является одной из первых разработок фирмы. В дальнейшем на его основе был разработан более совершенный катализатор – ATIS-2L. Данный катализатор является итогом совместной работы с фирмой Akzo Nobel. ATIS-2L отличается более высокой активностью (октановое число изомеризата выше на один пункт), более низкой насыпной плотностью (загрузка катализатора снижается на 22%), меньшим содержанием платины на 10%. Из этого можно сделать вывод, что его применение является экономически наиболее выгодным для процесса [7, 12, 13].

Данный катализатор применяется в процессах «Ipsorb Isom» и «Hexorb Isom» фирмы Axens. Данные процессы представляют изомеризацию пентан-гексановой фракции в комплексе с молекулярными ситами. Процесс «Ipsorb» предполагает отделение нормальных алканов на молекулярных ситах и их рецикл с предварительной деизопентанизацией. В процессе «Hexorb» используются молекулярные сита и деизогексанизатор для отделения и рецикла н-пентана и метилпентанов [14, 21, 55].

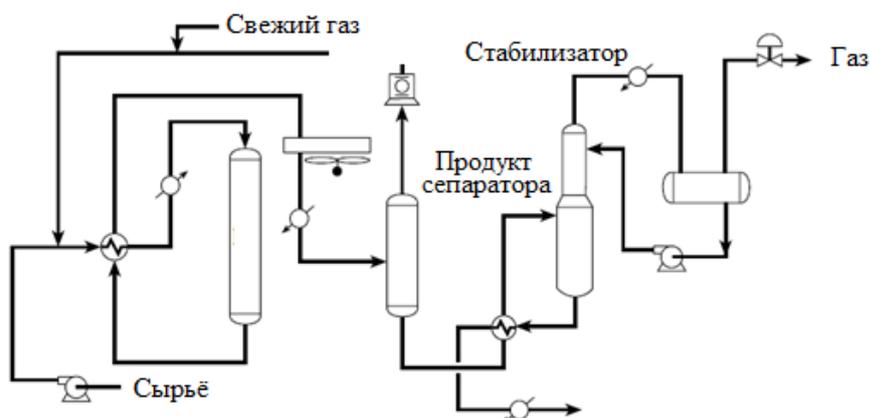
В России ООО Научно-производственная фирма «Олкат» (НИП-3А), ОАО «ВНИИНефтехим» (ИП-05) является лицензиаром процесса с

использованием катализатора на основе хлорированного оксида алюминия [15].

В последние годы получили повышенный интерес катализаторы, содержащие сульфатированные оксиды металлов, так как они сочетают в себе основные достоинства низкотемпературных и среднетемпературных катализаторов: активные и устойчивы к действию каталитических ядов, способны к регенерации.

Основными разработчиками катализаторов, содержащих сульфатированный оксид циркония, являются УОР (технология Par-Isom на катализаторах LPI-100 и PI-242) и ОАО «НПП Нефтехим» (технология Изомалк-2 на катализаторе СИ-2) [1, 16].

Процесс Par-Isom проводится по технологии низкотемпературной изомеризации, так как протекает при температуре около 180 °С и давлении 20-30 кг/см<sup>2</sup>. Сырьем являются нормальные гексан и пентан, а также их смеси. Катализатором является LPI-100. Он представляет собой сульфированный оксид циркония. Его активность приближается к хлорированному оксиду алюминия, однако он обладает более высокой стойкостью к азот-, серосодержащим соединениям и влаге. Данный катализатор используется на установке 35/5 в ОАО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез». Процесс проводится в трех последовательно расположенных реакторах. Сырьем является фракция н.к.–85°С. Выход изомеризата равен около 96,8% масс с октановым числом 81–82 пункта (исслед. метод). Низкая чувствительность катализатора к влаге устраняет необходимость в осушителях сырья [1, 17].



## Рисунок 15 - Процесс UOP Par-Isom

Для замены катализатора первого поколения LPI-100 были созданы катализаторы PI-242 и PI-244, обладающие улучшенными характеристиками.

Октановое число изомеризата составляет 82 пункта (исслед. метод) без использования рециркуляции. Капитальные затраты для процесса с использованием катализатора PI-242 ниже, чем для процесса на хлорированном алюмоплатиновом катализаторе, так как в схеме отсутствуют блоки осушки сырья и защелачивания изомеризата. Данный катализатор обладает высокой активностью, и за счет этого возможно его применение для модернизации установок с цеолитными катализаторами, с целью повышения октанового числа продукта и производительности установки без введения в схему дополнительного оборудования.

В технологии изомеризации пентан-гексановой фракции «Изомалк-2» применяется специально разработанный катализатор СИ-2, который представляет сульфатированный оксид циркония, модифицированный алюминием. Также он имеет в своем составе равномерно распределенную по поверхности платину [16].

Данная каталитическая система обеспечивает высокую активность в реакциях изомеризации легкокипящих углеводородов в термодинамически выгодных условиях:

- рабочая температура 130-160°C;
- давление на входе в реактор 2,5-3,5 МПа;
- объемная скорость подачи сырья 2,0-4,0 ч-1.

Также следует отметить, что катализатор не требует специальной глубокой осушки и очистки сырья.

Однако в настоящее время не хватает технологий, связанных с переработкой более тяжелого сырья. Сырьем большинства установок являются светлые фракции нефти. Для увеличения эффективности процесса производства автомобильных бензинов требуется привлечение к переработке

гептановой фракции и направления ее не на раиформинг, а на установку изомеризации.

### **3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

#### **3.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Основными потребителями данного продукта являются нефтеперерабатывающие предприятия разного масштаба, инжиниринговые компании и другие.

*Сегментирование* – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Услуги по внедрению и популяризации промышленных установок с использованием математической модели могут быть предоставлены:

- Крупными НПЗ;
- Мини-НПЗ.

Продажа готового продукта могла бы заинтересовать:

- Крупные НПЗ;
- Мини-НПЗ;
- Проектные организации;
- ВУЗы;
- Зарубежные компании.

Все заинтересованные предприятия можно объединить в три основные группы (Рис. 51):

- Крупные (Крупные НПЗ, зарубежные компании);
- Средние (Мини-НПЗ, ВУЗы);
- Мелкие (Проектные организации).

		Вид предоставляемых услуг			
		Разработка и мониторинг промышленных установок	Мониторинг и оптимизация промышленных установок	Предоставление инжиниринговых услуг, обучение персонала предприятия	Продажа готового продукта
Размер предприятия	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				

Рисунок 51 - Карта сегментирования рынка услуг по разработке комплексной математической модели

 Фирма А
  Фирма Б
  Фирма В

Исследование рынка предоставляемых услуг в сфере математического моделирования показало, что основными пользователями являются крупные НПЗ, которым важен продукт не только для разработки новых установок и оптимизации старых, но и как обучающий материал для своего персонала. Также они готовы приобрести предлагаемую модель в роли готового продукта для внутренних целей, что не могут себе позволить другие потребители данной продукции. Мелкие предприятия заинтересованы в основном в мониторинге и разработке новых промышленных установок с использованием данного продукта, с целью расширения своих компаний.

### 3.2. Диаграмма Исикавы

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) - это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Проблемной областью, которая является объектом анализа, является неудовлетворенность качеством бензина и стремление перерабатывать более тяжелое (высокоуглеродистое) сырьё. Также были выявлены факторы, влияющие на объект анализа (Рис. 52):

- Оборудование и материалы;
- Персонал;
- Сырьё и его продукты;
- Методы контроля.

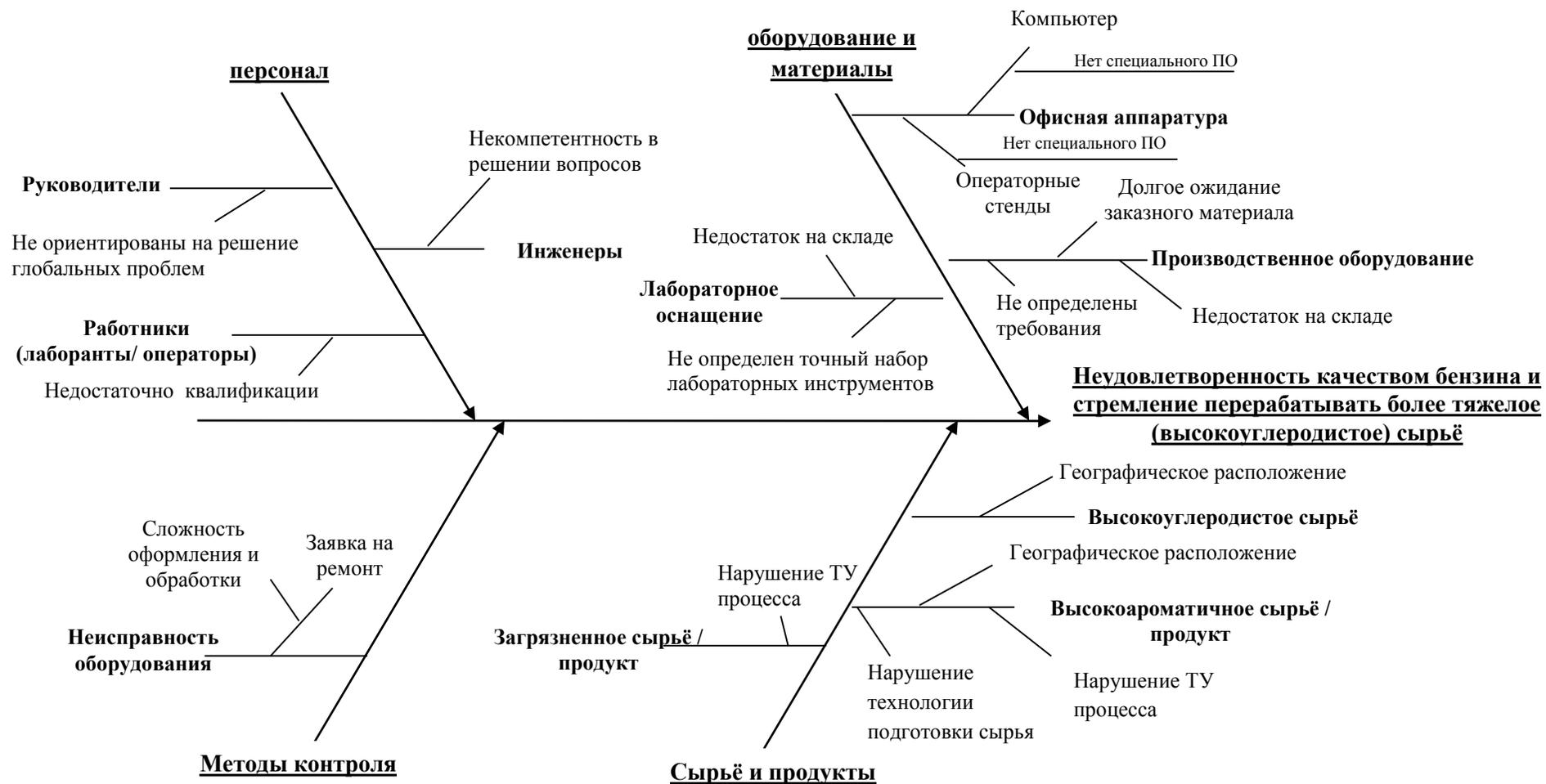


Рисунок 52 - Причинно-следственная диаграмма

Основными факторами, оказывающими заметное влияние на объект анализа выявленные из причинно-следственной диаграммы, являются - некомпетентность персонала, не оснащённость предприятий производственным и лабораторным оборудованием, а также затруднение ремонта имеющегося оснащения.

Также одной из причин может являться тяжелое сырьё, имеющее повышенное содержание ароматических углеводородов и механических примесей, причиной чего может являться географическое расположение, а также нарушение технологии подготовки сырья и технических условий процесса.

### 3.3. Оценка готовности проекта к коммерциализации

Бланк оценки степени готовности проекта к коммерциализации представлен в таблице 20.

Таблица 20 - Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

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

Продолжение таблицы 20

14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>47</b>	<b>48</b>

Таким образом, по результатам оценки степени готовности проекта к коммерциализации можно сделать вывод, что перспективность разрабатываемого проекта выше среднего. Однако, для успешной реализации данного проекта необходимо:

1. разработать бизнес – план коммерциализации разработанного программного продукта, проработать;
2. проработать вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот;
3. проработать вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок.

### **3.4. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

На основании анализа методов коммерциализации проекта, а также с учётом степени готовности разработки, для успешного продвижения программного продукта наиболее эффективным методом является *инжиниринг*, так как уже на данной стадии имеются предприятия – партнёры, заинтересованные в разработке и внедрении данного проекта. На данной стадии проводится разработка и оптимизации технологии изомеризации гептановой фракции, получившая название «Изомалк-4». Она разработана ООО «НПП Нефтехим». Данная технология прошла опытную и опытно-промышленную проверку и не имеет аналогов в мире. В 2017 году технология изомеризации С7-фракции «Изомалк-4» получила статус Национального проекта. Технология изомеризации гептаной фракции Изомалк-4 не требует специального лицензированного оборудования, не требует специальных

решений по подготовке сырья (подготовка сырья осуществляется на стандартном блоке гидроочистки) и может быть реализована как путем нового строительства, так и с модернизацией существующих мощностей полурегенеративного риформинга / изомеризации.

### 3.5. Инициация проекта

#### *Цели и результат проекта.*

Основными целями данного проекта являются математическое моделирование процесса переработки высокоуглеродистого сырья, с дальнейшим получением высокооктанового продукта с низким содержанием ароматики. Реализация проекта осуществляется в том случае, если все поставленные условия выполняются и проект является эффективным для общего процесса нефтепереработки.

Информация по заинтересованным лицам проекта представлена в таблице 21.

Таблица 21 - Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
ООО «НПП Нефтехим»	Повышение эффективности работы промышленной установки изомеризации
	Обеспечение оптимального распределения сырьевых ресурсов
	Повышение энергоэффективности производства
НИ ТПУ	Повышение качества образования и обеспечение предприятий компетентными специалистами

Иерархия целей проекта и критерии их достижения представлены в таблице 22.

Таблица 22 - Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Создание математической моделирующей системы промышленного процесса изомеризации гептановой фракции прямогонных бензинов.
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышение эффективности процесса изомеризации, за счет использования в качестве сырья гептановую фракцию;</li> <li>2. Увеличение ресурса катализатора СИ-4 на моделируемой установке за счёт обеспечения оптимального распределения сырьевых ресурсов.</li> <li>3. Уменьшение содержания ароматических углеводородов, с соответственным увеличением изо-компонентов и октанового числа;</li> <li>4. Компетентный персонал с опытом работы на установке, полученный на тренажерах.</li> </ol>
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Построенная математическая модель должна отражать свойства реального промышленного процесса, обладать высокой точностью расчётов, быть универсальной, а также полностью соответствовать требованиям предприятия – заказчика.
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b>
	1. Адекватность - способность отображать заданные свойства объекта с погрешностью, не выше заданной;
	2. Точность - оценивается степенью совпадения значений параметров патента и рассчитанных на математических моделях;
	3. Универсальность – модель должна полностью отображать свойства и особенности реального объекта;
	4. Экономичность – характеризуется необходимыми затратами машинной памяти и времени.

### *Организационная структура проекта*

В таблице 23 представлена информация об участниках рабочей группы проекта.

Таблица 23 - Рабочая группа проекта

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО, основное место работы, должность</b>	<b>Роль в проекте</b>	<b>Функции</b>	<b>Трудовые затраты, час.</b>
1	Иванчина Э.Д.	Научный руководитель проекта	1. Разработка сетевого графика работ и оперативных планов проекта и обеспечение проекта ресурсами со стороны исполнителя; 2. Контроль статуса проекта, сроков и бюджета; 3. Обеспечение взаимного соответствия выполняемых работ;	1 463,3
2	Чузлов В.А.	Эксперт проекта	1. Руководство и координация работы рабочей группы проекта со стороны исполнителя и контроль выполнения поставленных перед ними задач; 2. Регулярный анализ хода выполнения проекта; 3. Выполнение работ по программированию; 4. Специалист по моделированию химикотехнологических процессов;	1 775,3
3	Гурина К.В.	Специалист по проекту	1. Выполнение технологических расчётов по проекту; 2. Выполнение работ по адаптации полученной модели реальному технологическому процессу;	13 487,3

			3. Подготовка отчетов о текущем статусе проекта	
ИТОГО:				16 725,8

***Ограничение и допущения проекта.***

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Ограничения данного проекта представлены в таблице 24.

Таблица 24 - Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения/ допущения</b>
3.1. Бюджет проекта	935,97 тыс. рублей
3.1.1. Источник финансирования	1. Национальный исследовательский Томский политехнический университет 2. ООО «НПП Нефтехим»
3.2. Сроки проекта:	2 года
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.09.2016
3.2.2. Дата завершения проекта	31.09.2018
3.3. Прочие ограничения и допущения*	-

### 3.6. План проекта

Линейный график проекта представляется в виде таблицы 25.

Таблица 25 - Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Разработка сетевого графика работ и оперативных планов проекта и обеспечение проекта ресурсами	30	01.09.2016	01.10.2016	Иванчина Э.Д.
2	Изучение литературы	15	01.09.2016	16.09.2016	Гурина К.В.
3	Патентный поиск	15	17.09.2016	02.10.2016	Гурина К.В.
4	Проведение экспериментальных опытно-промышленных и вычислительных исследований	395	01.10.2016	31.10.2017	Гурина К.В.
5	Программная реализация математической модели, отладка моделирующей системы	92	31.10.2017	31.01.2018	Чузлов В.А. Гурина К.В.
6	Проверка модели на адекватность (верификация)	60	01.02.2018	01.04.2018	Гурина К.В.
7	Регистрация программного продукта	31	01.04.2018	01.05.2018	Иванчина Э.Д. Чузлов В.А. Гурина К.В.
8	Внедрение моделирующих систем на промышленных установках. Продвижение технологических моделирующих систем на рынке	62	01.05.2018	01.07.2018	Иванчина Э.Д. Чузлов В.А. Гурина К.В.

<b>И т о г о:</b>	700
-------------------	-----

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

Диаграмма Ганта представлена в виде таблицы 26.

### 3.7. Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. Планируемые затраты представлены в таблице 53.



Рисунок 53 - Группировка затрат

Таблица 26 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работы	Название	Исполнители	Т, календ. дни	2016		2017						2018			
				09-10	11-12	01-02	03-04	05-06	07-08	09-10	11-12	01-02	03-04	04-05	06-07
1	Разработка сетевого графика работ и оперативных планов проекта и обеспечение проекта ресурсами	Научный руководитель проекта	30	■											
2	Изучение литературы	Инженер по проекту	15	■											
3	Патентный поиск	Инженер по проекту	15		■										
4	Проведение экспериментальных опытно-промышленных и вычислительных исследований	Инженер по проекту	61		■	■	■	■	■	■	■				
5	Программная реализация математической модели, отладка моделирующей системы	Эксперт по проекту, инженер по проекту	92								■	■			
6	Проверка модели на адекватность (верификация)	Инженер по проекту	60									■	■		
7	Регистрация программного продукта	Научный руководитель проекта, эксперт по проекту, инженер по проекту	31										■	■	
8	Внедрение моделирующих систем на промышленных установках. Продвижение технологических моделирующих систем на рынке.	Научный руководитель проекта, эксперт по проекту, инженер по проекту	62											■	■



Таблица 27 - Группировка затрат по статьям

Вид работ	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Научные и производственные командировки	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
1. Разработка сетевого графика работ и оперативных планов проекта и обеспечение проекта ресурсами со стороны исполнителя	104 000	123633,01	24726,6	40205,45	36634,41	329709,71	935 967,51
2. Выполнение работ по программированию		109493,43	21898,69	35607,26			
3. Выполнение технологических расчётов по проекту		72160,34	14432,07	23466,54			

Таблица 28 - Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1.	Персональный компьютер	2	20	40
2.	Лицензия на прог-раммный пакет Delphi 10 Seattle	1	64	64
<b>Итого</b>				<b>104</b>

Таблица 29 - Расчёт основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнитель и по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс.руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Разработка сетевого графика работ и оперативных планов проекта и обеспечение проекта ресурсами со стороны исполнителя	Научный руководитель проекта	0,09	288,89	123,63
2	Выполнение работ по программированию	Эксперт проекта	0,11	255,85	109,49
3	Выполнение технологических расчётов по проекту	Специалист по проекту	0,8	168,61	72,16
<b>Итого:</b>					<b>305,28</b>

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (1)$$

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (2)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (3)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 30).

Таблица 30 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель проекта	Эксперт проекта	Специалист по проекту
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	118	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48	48	48

Продолжение таблицы 30

Действительный годовой фонд рабочего времени	199	199	199
--	-----	-----	-----

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (4)$$

где  $Z_b$  – базовый оклад, руб.;  $k_{пр}$  – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);  $k_d$  – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);  $k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 31.

Таблица 31 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_b$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Научный руководитель проекта	33162,8 7	0,6	0,3	1,3	38800,5 6	2027,7 7	60,97	123633,0 1
Эксперт проекта	23264,8 6	0,6	0,3	1,3	27219,8 9	1422,5 5	76,97	109493,4 3
Специалист по проекту	2100,00	0,6	0,3	1,3	2457,00	128,41	561,97	72160,34

***Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала***

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

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

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (5)$$

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

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

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

В таблице 32 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 32 - Заработная плата исполнителей НИИ

Заработная плата	Научный руководитель проекта	Эксперт проекта	Специалист по проекту
Основная зарплата	123633,01	109493,43	72160,34
Дополнительная зарплата	24726,60	21898,69	14432,07
Зарплата исполнителя	148359,61	131392,11	86592,40
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	366344,13		

### ***Отчисления на социальные нужды***

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (6)$$

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

Научный руководитель проекта:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,271 * 148359,61 = 40205,45 \text{ руб.}$$

Эксперт проекта:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,271 * 131392,11 = 35607,26 \text{ руб.}$$

Специалист по проекту:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,271 * 86592,40 = 23466,54 \text{ руб.}$$

### ***Накладные расходы***

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную

тому. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (7)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,9 * 366344,13 = 329709,71 \text{ руб.}$$

### ***Научные и производственные командировки***

В эту статью включаются расходы по командировкам научного и производственного персонала, связанного с непосредственным выполнением конкретного проекта, величина которых принимается в размере 10% от основной и дополнительной заработной платы всего персонала, занятого на выполнении данной темы.

$$C_{\text{команд}} = k_{\text{команд}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,1 * 366344,13 = 36634,41 \text{ руб.}$$

### **3.8. Организационная структура проекта**

Для данного научно-исследовательского проекта наиболее подходящей является проектная организационная структура (таблица 33).

Таблица 33 - Выбор организационной структуры проекта

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая

Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Продолжение таблицы 33			
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая

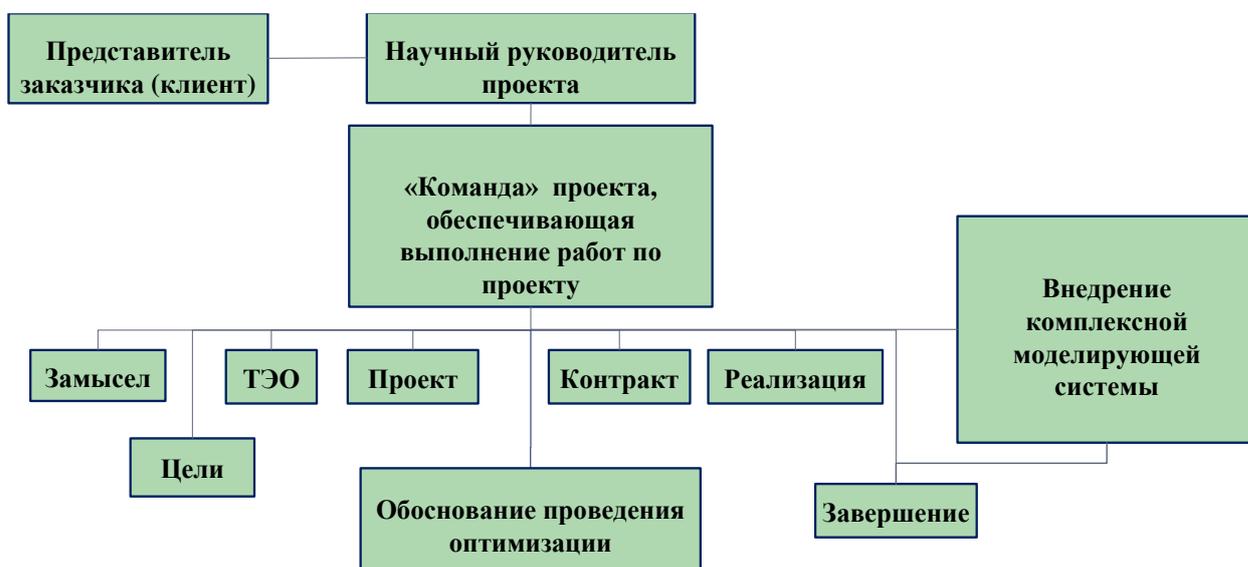


Рисунок 54 - Структура проекта

### 3.9. Оценка сравнительной эффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его

нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}}, \quad (8)$$

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

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{935967,51}{1785382,02} = 0,52$$

Таблица 34 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1
1. Способствует повышению эффективности работы установки изомеризации	0,1	5	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствие требованиям потребителей)	0,1	4	3
3. Способствует росту энергоэффективности производства	0,1	5	4
4. Способствует повышению стрессоустойчивости и компетенции специалистов	0,1	5	3
5. Помехоустойчивость	0,20	4	3
6. Энергосбережение	0,25	4	4
7. Надежность	0,15	4	4
	1	4,3	3,6

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

$$I_{\Phi}^p = \frac{I_m^p}{I_{\Phi}^p} = \frac{4,3}{0,48} = 8,9 \qquad I_{\Phi}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\Phi}^p} = \frac{3,6}{0,48} = 7,5$$

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

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_m^p}{I_{\Phi}^a} = \frac{8,9}{7,5} = 1,19 \qquad (9)$$

Таблица 35 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,48	
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,6	4,3
3	Интегральный показатель эффективности	7,5	8,9
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,19	

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило определить, что существующий вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является наиболее приемлемым.

#### **4. Социальная ответственность**

Гарантии выполнения права работников на охрану труда, а также порядок регулирования отношений в области охраны труда между работниками и их работодателями, в организациях и учреждениях всех форм собственности независимо от сферы хозяйственной деятельности и ведомственной подчиненности обеспечиваются рядом нормативно-правовых и законодательных актов, включая [35], [36], а также [37]. Все законы и постановления направлены на создание условий труда, которые отвечают требованиям сохранности жизни и здоровья работника в процессе трудовой деятельности и в связи с ней. В соответствии с Трудовым кодексом Российской Федерации, основными направлениями государственной политики в области охраны труда являются:

- обеспечение приоритета сохранения жизни и здоровья работников;
- принятие и реализация федеральных законов и иных нормативных правовых актов Российской Федерации в области охраны труда.
- государственное управление охраной труда;
- федеральный государственный надзор за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов [38].

Согласно п. 5 Генерального соглашения между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации на 2014 - 2016 годы обеспечение безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности является одним из национальных приоритетов в целях сохранения человеческого капитала и рассматриваются в неразрывной связи с решением задач по улучшению условий и охраны труда, промышленной и экологической безопасности [39].

##### **4.1. Профессиональная социальная безопасность**

#### **4.1.1. Анализ вредных и опасных факторов на рабочем месте**

Идентификация потенциально вредных и опасных производственных факторов на рабочем месте производится в соответствии с [40]. В статье 13 данного закона перечислены вредные и опасные факторы производственной среды и трудового процесса, подлежащие исследованию (испытанию) и измерению при проведении специальной оценки условий труда.

Представляемая магистерская диссертация является исследовательской и не предполагает выполнения каких-либо физических работ. Рабочее место представляет собой компьютерный класс Национального исследовательского Томского политехнического университета.

При выполнении работ на персональном компьютере (ПК) согласно [41] могут иметь место следующие факторы:

- повышенная температура поверхностей ПК;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- выделение в воздух рабочей зоны ряда химических веществ;
- повышенная или пониженная влажность воздуха;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- отсутствие или недостаток естественного света;
- недостаточная искусственная освещенность рабочей зоны;
- повышенная яркость света;
- зрительное напряжение;
- монотонность трудового процесса;
- нервно-эмоциональные перегрузки.

Химически опасные и вредные производственные факторы подразделяются [41]:

По характеру воздействия на организм человека:

- токсические;
- раздражающие;
- сенсibiliзирующие;

- канцерогенные;
- мутагенные;
- влияющие на репродуктивную функцию;

По пути проникания в организм человека через:

- органы дыхания;
- желудочно-кишечный тракт;
- кожные покровы и слизистые оболочки.

При работе с ПЭВМ возможно появление различных химически опасных и вредных факторов, особенно в совокупности с другими опасными и вредными факторами. При нагревании изоляции, полистиролов и других синтетических материалов, при работе вычислительной техники в воздух выделяются опасные химические соединения, вредные для здоровья человека. При коротком замыкании выделяется угарный газ, который может привести к массовому отравлению всех работающих в помещении.

#### **4.1.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов**

Для предотвращения действия химически опасных и вредных факторов необходимо использование в помещении систем вентиляции и кондиционирования. В статье 13 закона [40] перечислены наиболее опасные вещества, которые выделяются при работе оргтехники и компьютеров:

- Бензол – появление онкологических заболеваний;
- Ксилол – при накоплении развивается почечная недостаточность;
- Толуол, изооктан – появление сонливости, усталости;
- Трихлорэтан – вызывает раздражение кожи, носоглотки, глаз;
- Дибутил, трибутил – нарушение работы эндокринной системы;
- Стирол – появление функциональных нарушений центральной нервной системы;
- Формальдегид – развивается сонливость, слабость, депрессия, головная боль;

- Диоксид азота – снижает сопротивляемость организма к вирусным и бактериальным инфекциям.

Также опасными веществами, выделяющимися в ходе работы периферийной аппаратуры являются краски принтеров и копиров, представляющие собой мелкодисперсную смесь, в состав которой входят композитные полимеры или уголь.

## **4.2 Экологическая безопасность**

### **4.2.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

В процессе работы инженер-программист может подвергаться влиянию вредных и опасных факторов, способствующих ухудшению здоровья, появлению профессиональных заболеваний.

*Опасность поражения электрическим током.* Вызвана она тем, что всё оборудование машинного зала питается от трехфазной сети переменного тока (380/220 В, 50 Гц). В процессе эксплуатации или проведения профилактических работ человек может коснуться частей, находящихся под напряжением. Действие электрического тока на организм человека может вызвать травмы различной степени тяжести и даже смертельный исход. На долю поражений электрическим током приходится 40% несчастных случаев с летальным исходом.

Все помещения согласно ПУЭ делятся по степени поражения людей электрическим током на три класса:

- без повышенной опасности;
- с повышенной опасностью;
- особо опасные.

Место работы инженера программиста относится к помещениям первого класса (без повышенной опасности). Согласно классификации, это сухие, беспыльные помещения с нормальной температурой воздуха и с изолирующими полами.

Оборудование компьютерного класса должно соответствовать ГОСТ 12.1.019-79\* «Электробезопасность. Общие требования».

*Недостаточная освещенность рабочего места.* Обычно она связана с неправильным выбором и размещением осветительных приборов в производственном помещении. Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое воздействие на работающих, способствует повышению производительности труда. О важности вопросов производственного освещения для вычислительного центра говорит и тот факт, что условия деятельности операторов в системе «человек-машина» связаны с явным преобладанием зрительной информации - до 90% общего объема.

Разряд зрительных работ в лаборатории ПК соответствует 3 категории и согласно [42] освещенность рабочего места при данном разряде зрительных работ не менее 300 лк (для газоразрядных ламп) при определенном коэффициенте пульсаций и специальных нормах на контрастность и прямую и отраженную блесккость, что обеспечивается правильным расположением ламп относительно рабочего места и экрана монитора.

При выборе уровня освещенности следует руководствоваться СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» учитывая, что разряд зрительных работ в лаборатории ПК соответствует категории 3 А. Яркость света при этом не должна превышать указанных норм.

*Повышенный уровень шума* на рабочем месте, обусловлен работой печатающих устройств, накопителей, кондиционеров и систем вентиляции. Сильный шум вызывает трудности в распознавании цветовых сигналов, снижает быстроту восприятия цвета, остроту зрения, зрительную адаптацию, нарушает восприятие визуальной информации, снижает способность быстро и точно выполнять координированные движения, уменьшает на 5-12% производительность труда; длительное воздействие шума с уровнем звукового давления 90 дБ снижает производительность труда на 30-40%. Медицинские

обследования показали, что помимо снижения производительности труда высокие уровни шума приводят к ухудшению слуха и появлению тугоухости. Уровень шума не превышает норм для залов вычислительного центра установленных [43]. Для вычислительных центров этот уровень не более 59 дБ.

*Воздействие электромагнитного и мягкого рентгеновского излучений.*

Этот вредный фактор может привести к постепенному ухудшению зрения и другим профессиональным заболеваниям инженера-программиста. Источником мягкого рентгеновского излучения в вычислительном центре являются видеомониторы. В рассматриваемом зале вычислительного центра применяются мониторы, на кинескопы которых нанесено специальное покрытие, уменьшающее уровень такого излучения (так называемые Low Radiation мониторы). Тем не менее, необходимо соблюдать расстояние (не менее 50 см) до экрана видеомонитора. Для уменьшения электромагнитного излучения применяется экранирование элементов, с которых происходит излучение. Оборудование компьютерного класса соответствует требованиям [44].

Большую часть времени инженер-программист проводит сидя перед экраном монитора. Нерациональные конструкция и расположение элементов рабочего места вызывают необходимость поддержания вынужденной рабочей позы. Поэтому требуется обеспечить правильное положение тела человека, которое не будет вызывать перенапряжения определенных групп мышц вследствие статичности в процессе работы. Несоблюдение этих требований может привести к заболеваниям опорно-двигательного аппарата. Рабочее место инженера-программиста должно отвечать требованиям ГОСТ Р 50923-96 «Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения».

#### **4.2.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды**

Специалисты различных направлений пришли к выводу, что причиной отклонений в состоянии здоровья пользователей являются не столько сами компьютеры, а сколько не достаточное соблюдение принципов эргономики. Для того, чтобы активное применение компьютерных технологий не стало дополнительным фактором ухудшения здоровья, крайне необходимо, чтобы рабочее место соответствовало гигиеническим требованиям безопасности.

**Требования к метеоусловиям.** Температура в теплый период года 22-25°C, в холодный период года 21-24°C, относительная влажность воздуха 40-60%, скорость движения воздуха 0,1-0,2 м/с. Интенсивность теплового излучения от нагретых поверхностей, осветительных приборов не должна превышать 35 Вт/м<sup>2</sup>. Одним из важнейших мероприятий по оздоровлению воздушной среды является устройство вентиляции и отопления. Чистота воздушной среды достигается удалением загрязненного, нагретого или ионизированного воздуха из рабочего помещения с подачей свежего воздуха. Для поддержания нормального микроклимата необходим достаточный объем вентиляции, для чего в помещениях с работающими компьютерами предусматривается кондиционирование воздуха, осуществляющее поддержание постоянных параметров микроклимата независимо от внешних условий. Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного отопления с нагревом воды до 100°C, а в теплое время года – за счет кондиционирования, с параметрами, отвечающими требованиям санитарным нормам безопасности микроклимата, ионного состава воздуха, содержания вредных веществ должны соответствовать требованиям СанПиН 9-131 РБ2000.

**Требования к освещению.** Создание оптимальной световой среды занимает важное место в комплексе мероприятий по охране труда и оздоровлению условий труда при работе с ЭВМ и компьютерной техникой. Помещения, оснащенные ЭВМ и компьютерной техникой имеют как естественное, так и искусственное освещение. В таких помещениях используется естественное боковое одностороннее освещение в дневное

время, в вечернее время используется искусственное общее равномерное освещение. Нормированный уровень освещенности для работы с компьютерами составляет 400 Лк, а КЕО=4%. В рабочих помещениях должны предусматриваться меры для ограничения слепящего воздействия световых проемов, имеющих высокую яркость, а также прямых солнечных лучей. В случае, когда экран компьютера обращен к оконному проему, предусматриваются специальные экранирующие устройства, окна рекомендуется снабжать светорассеивающими шторами, жалюзи или солнцезащитной пленкой с металлическим покрытием. В случаях, когда одного вида освещения недостаточно, устраивают совместное освещение. Дополнительное искусственное освещение создает хорошую видимость информации на экране монитора, текста на бумаге и других материалов для работы. В качестве источников искусственного освещения используются люминесцентные лампы дневного света мощностью 65-80 Вт, коэффициент пульсации не должен превышать 5%. Существуют специальные люминесцентные лампы, имитирующие полный спектр естественного солнечного света. Нельзя применять светильники без рассеивателей и экранирующих решеток. Чистку стекол оконных проемов и светильников следует проводить не реже 2-х раз в год.

***Производственный шум.*** Основными источниками шума в рабочих помещениях, оснащенных компьютерной техникой являются принтеры, МФУ и кондиционеры, а в самих компьютерах – вентиляторы охлаждения и трансформаторы блока питания. Меры защиты от шума заключаются в использовании малошумного оборудования и применении звукопоглощающих устройств. В данных условиях шум, как правило, не превышает допустимых пределов, поскольку в компьютерной технике нет вращающихся узлов и механизмов [43].

***Электробезопасность.*** Рабочее помещение, оснащенное ЭВМ и компьютерной техникой относится к помещениям с повышенной опасностью [44]. В такого рода помещениях обязательным является:

1. Защитное заземление.
2. Изоляция, ограждение и обеспечение недоступности токоведущих частей.

3. Применение малого напряжения и двойной изоляции.

При длительной работе за компьютером необходимо выполнять ряд требований, касающихся режима труда и отдыха:

4. По возможности, время работы за компьютером необходимо ограничить до минимума.

5. Каждый час рекомендуется делать перерыв длительностью не менее 15 минут. Во время перерыва надо встать, потянуться, походить, сделать несложные лечебные гимнастические упражнения (наклоны и повороты головы, упражнения для кистей рук, потягивания), по возможности выйти на свежий воздух.

6. Во время работы за компьютером каждые 10-15 минут необходимо менять позу, двигать плечами, ногами, головой.

7. После работы необходимо в течение 1-2 ч отдохнуть в спокойной обстановке и в дальнейшем использовать любую возможность для отдыха.

8. В помещениях с компьютерами необходимо как можно чаще делать влажную уборку и проветривание.

9. Размеры помещения для работы с компьютерами должны соответствовать количеству работников и размещаемому в них комплексу технических средств. Высота помещения до подвесного потолка должна быть не менее 3-3,5 м, а расстояние между подвесным и основным потолком должно быть не более 0,8 м.

10. Применение дерева в отделке интерьера должно быть ограничено или сведено до минимума, а при использовании пропитано огнеупорными составами.

11. Помещения должны быть оснащены стационарными системами автоматического пожаротушения и пожарными извещателями.

12. Помещение, где эксплуатируются компьютеры и периферические устройства должно быть удалено от посторонних источников электромагнитных излучений.

### **4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация (ЧС) есть состояние, при котором в результате возникновения источника чрезвычайной ситуации на объекте, определённой территории или акватории, нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей. Понятие чрезвычайной ситуации основано на том, что источником чрезвычайной ситуации является опасное происшествие, в результате которого создаются поражающие факторы прямого или косвенного воздействия на человека. Основные источники техногенных чрезвычайных ситуаций, их классификация и номенклатура поражающих факторов описаны в соответствии с [45].

*Производственная авария* – это опасное техногенное происшествие, создавшее на объекте (определённой территории или акватории) угрозу здоровью людей, повлекшее частичное разрушение зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушение производственного процесса, а также наносящего ущерб окружающей природной среде

Причинами возникновения аварий могут быть стихийные бедствия, нарушение технологического регламента, правил эксплуатации машин, оборудования и установленных мер безопасности.

*Стихийные бедствия* - это различные явления природы, вызывающие внезапные нарушения нормальной жизнедеятельности населения, а также разрушения и уничтожение материальных ценностей. Они нередко оказывают отрицательное воздействие на окружающую природу.

К стихийным бедствиям обычно относятся землетрясения, наводнения, селевые потоки, оползни, снежные заносы, извержения вулканов, обвалы, засухи. К таким бедствиям в ряде случаев могут быть отнесены также пожары, особенно массовые лесные и торфяные.

Опасными бедствиями являются, кроме того, производственные аварии. Особую опасность представляют аварии на предприятиях нефтяной, газовой и химической промышленности.

#### **4.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

##### **4.4.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Одной из особенностей трудового законодательства, применимо к данному проекту является прохождение обязательных медосмотров. Согласно приказу о прохождении медосмотров при наличии вредных факторов, людям, работающим за компьютером и подвергающимся вышеперечисленным вредным воздействиям необходимо проходить обследования в соответствии с таблицей, приведённой в приложении Б [46].

Также не мало важной темой является производственное освещение. Сохранение зрения человека, состояния его центральной нервной системы и безопасность на производстве в значительной мере зависят от условий освещения. От освещения зависят также производительность труда и качество выпускаемой продукции. Нормы естественного освещения сводятся к нормированию коэффициента естественного освещения и определяется [47].

##### **4.4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя**

В соответствии с [48] рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего. Площадь на одно рабочее место для взрослых пользователей должна составлять не менее 6 м<sup>2</sup>, а объем не менее 20 м<sup>3</sup>. Для внутренней отделки помещений должны использоваться диффузно отражающие материалы с коэффициентом отражения: 0,7-0,8 (для потолка), 0,5-0,6 (для стен) и 0,3-0,5 (для пола). Поверхность пола должна быть ровной, без выбоин, нескользкой, удобной для очистки, уборки, обладать антистатическими свойствами. Особое внимание необходимо уделять пожарной безопасности,

поскольку пожары в помещениях с компьютерной техникой сопряжены с опасностью для жизни людей и большими материальными потерями.

Для организации и рационализации рабочего места (рабочего пространства), может быть использован один из инструментов бережливого производства – система 5С. Целью данной системы является снижение несчастных случаев, связанных с беспорядком на рабочем месте, повышение уровня качества продукта, снижение количества дефектов и ошибок, создание комфортного психологического климата, а также стимулирование желания работать. Данная систематизация и оптимизация рабочего места может привести к порядку и чистоте на рабочем месте, вследствие чего к повышению производительности труда.

## **Выводы**

1. Была разработана математическая модель процесса изомеризации гептановой фракции. По результатам проверки адекватности модель показывает низкие отклонения расчётных значений от экспериментальных.
2. Изучена технологическая схема изомеризации C7-C8 фракции с рециркуляцией неразветвленных гептанов. Найдены оптимальные режимы работы блоков.
3. Проведено исследование влияния технологических параметров и состава сырья на выход изомеризата.
4. С использованием разработанной математической модели были разработаны улучшенные рецептуры бензинов, которые могли бы получиться при внедрении модели в производство.
5. Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило определить, что существующий вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является наиболее приемлемым.

## Список публикаций

1. Гурина (Юрина) К. В., Чузлов В. А. Прогнозирование влияния технологических режимов и состава перерабатываемого сырья на эффективность работы промышленной установки изомеризации с использованием метода математического моделирования // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина, Томск, 3-7 Апреля 2017. - Томск: ТПУ, 2017 - Т. 2 - С. 370-371

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Chekantsev N.V. Mathematical modeling of light naphtha (C5, C6) isomerization process // Chemical Engineering Journal, 2014 / September 5, 2013.
2. Kuznetsova L. I. The Catalytic Properties of Tungstated Zirconia in Heptane Isomerization // Institute of Chemistry and Chemical Technology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia - Neftekhimiya, 2012, Vol. 52, No. 2, pp. 104–108.
3. Laura O. A. Industrial Application of Catalytic Systems for n-Heptane Isomerization // Molecules 2011, 16, 5916-5927; doi:10.3390/molecules16075916 / Published: 14 July 2011;
4. Ancheyta J. Modeling and simulation of catalytic reactors for petroleum refining / Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, published simultaneously in Canada, 2011;
8. Fatah N.A. N-Heptane isomerization over mesostructured silica nanoparticles (MSN): Dissociative-adsorption of molecular hydrogen on Pt and Mo sites, Applied Catalysis A, General <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcata.2016.02.026>.
9. Suyao Liu, Jie Ren, Huaikang Zhang, Enjing Lv, Yong Yang, Yong-Wang Li. Synthesis, characterization and isomerization performance of micro/mesoporous materials based on H-ZSM-22 zeolite. Journal of Catalysis, Volume 335, March 2016, Pages 11-23.
10. Honeywell UOP : офиц. сайт. – режим доступа : WWW. URL:<http://www.uop.com/products/catalysts/isomerization/#isomerization-catalyst>. – 0.09.14.
14. Graeme, S. Advanced Solutions for Paraffins Isomerization / S. Graeme, J. Ross //National Petrochemical & Refiners Association. - Annual Meeting. – March 21-23, 2004. – Marriott Rivercenter Hotel. – San Antonio.
15. Фирма Олкат : офиц. сайт. - режим доступа [WWW.URL:http://www.olkat.ru/sip](http://www.olkat.ru/sip). - 01.10.14.
16. ОАО "НПП Нефтехим". <http://www.nefthim.ru>.

17. Способ изомеризации легких бензиновых фракций, содержащих С7-С8 парафиновые углеводороды : патент Рос. Федерация № 0002408659, заявл. 20.07.2009; опубл. 20.02. 2011;
18. N. Parsafard. N-Heptane isomerization on a new kind of micro/mesoporous catalyst: Pt supported on HZSM-5/HMS, Microporous and Mesoporous Materials 200 (2014) 190–198;
19. Ekaterina S. Chernyakova. Heavy naphtha fractions 85-155°C recycling in the catalytic reforming industrial unit // 16th International Scientific Conference “Chemistry and Chemical Engineering in XXI century” dedicated to Professor L.P. Kulyov, CCE 2015 / National research Tomsk polytechnic university, 30 Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation;
20. Hussien A. Elsayed. Optimization of the reaction parameters of heavy naphtha reforming process using Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst system // Egyptian Petroleum Research Institute, Egyptian Journal of Petroleum (2017) 26, 885–893;
21. Gholamreza Zahedi. Dynamic Modeling and Simulation of Industrial Naphta Reforming Reactor // World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Chemical and Molecular Engineering / Vol:6, No:7, 2012;
22. A. Aitani. Catalytic naphtha reforming, in: Encyclopedia of Chemical Processing, 2006, pp. 397–406;
23. G.B. Marin. Reforming of C<sub>6</sub> hydrocarbons on a Pt-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst, Chem. Eng. Sci. 37 (5) (1982) 759–773;
24. W. Christian. Kinetic studies on alkane hydroisomerization over bifunctional catalysts // University of Naturwissenschaften, 2005;
25. J.T. Matthew. Mechanistic Investigations of Alkane Activation and Reaction on Zeolitic Catalysts // North Carolina State University, 2008;
26. H. Maha. Kinetic Study of Catalytic Hexane Isomerization // College of Engineering, Baghdad University Chemical Engineering Department, 2007;
27. G.J. Antos. Catalytic Naphtha Reforming (2nd ed.) // Marcel Dekker Inc., New York (1995);

28. H. Lu. Manual of Petrochemical Industry Fundamental Data // Chemical Industry Press, Beijing, China (1982);
29. Miguel A. Rodríguez. Detailed description of kinetic and reactor modeling for naphtha catalytic reforming // Fuel 90 (2011) 3492–3508;
30. Ono Y. A survey of the mechanism in catalytic isomerization of alkanes // Catal. Today. 2003: 81: 3-16;
31. C.H. Bartholomew. Mechanisms of catalyst deactivation. Applied Catalysis A: General 212: 17-60, 2001;
32. R. Perry. Perry-s chemical engineers- handbook. 6th ed., New York: McGraw Hill, 1984;
33. D. S. G. Jones. Handbook of petroleum processing // Springer (2006);
34. Агабеков В.Е. Каталитическая изомеризация легких парафиновых углеводородов // Катализ в промышленности. - 2006. - № 5. - С. 31-41;
35. Конституция Российской Федерации [Электронный ресурс]. - Режим доступа www. URL: <http://www.consultant.ru/popular/cons>;
36. Кодекс об административных нарушениях [Электронный ресурс]. - Режим доступа www. URL: <http://www.consultant.ru/popular/koap>;
37. Уголовный кодекс РФ [Глава 19, статья 143] [Электронный ресурс]. - Режим доступа www. URL: <http://www.zakonrf.info/uk/143>;
38. Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 28.12.2013) ;
39. Генеральное соглашение между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации на 2014 - 2016 годы от 25 декабря 2013 г. [Электронный ресурс]: - Режим доступа www.URL: <http://www.rg.ru/2013/12/30/a904631-dok.html>;
40. Федеральный закон Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» ;

41. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;
42. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» ;
43. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» ;
44. СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»;
45. ГОСТ Р 22.0.07-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров;
46. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 12 апреля 2011 г. № 302н;
47. СНиП 23-05-2010 "Естественное и искусственное освещение" (утверждён приказом Минрегиона России от 2011 г.) ;
48. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
49. Леонов С.Б. Переработка природного и техногенного сырья / Изд-во ИРНТУ, 2016 г., с.: 237-245;
50. Горбачев В.М. Вариант модернизации комбинированной переработки фракции НК-180°С / Современные наукоемкие технологии, № 9, 2014, с. 22-26;
51. Маликов И.В. Каталитическая изомеризация углеводородов в присутствии носителей, модифицированных ионными жидкостями / Астраханский государственный технический университет].- Астрахань, 2015.- 142 с.;
52. Ясакова Е.А. Тенденции развития процесса изомеризации в России и за рубежом / Уфимский государственный нефтяной технический университет; Нефтегазовое дело, 2010. – 19 с.;

53. Кравцов А.В. Математическое моделирование многокомпонентных химических процессов / 2-е издание, Издат. Томского политехнического университета 2015. – 108 с.;

54. Воевода Н.В. Повышение октановых чисел бензинов / Информационно-аналитический обзор. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2001. – 114 с.;

55. Покровский С. Новые зарубежные технологии нефтепереработки / Нефтегазовая вертикаль. – 2002. – № 7. – с. 68-71.;

56. Домерг Б. Передовые решения для процессов изомеризации парафинов / Нефтепереработка и нефтехимия – 2003. – № 7. – с. 3-9.;

57. Ежов В.В. Интенсификация работы установки низкотемпературной изомеризации легкой бензиновой фракции ООО «РН-Комсомольский НПЗ» / Нефтепереработка – 2006. – № 9. – с. 76-79.

