

Инженерная школа природных ресурсов  
Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»  
ООП/ОПОП Химическая технология переработки нефти и газа  
Отделение химической инженерии

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Повышение эффективности использования водородсодержащего газа в производстве поверхностно-активных веществ

УДК 665.7.038.2

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Григораш Михаил Степанович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОХИ ИШПР	Ивашкина Е.Н.	д.т.н., профессор		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Т.Г.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Гуляев М.В.	к.т.н., доцент		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Мойзес О.Е.	к.т.н., доцент		

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

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

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

**ПРИКАЗ**

Инженерная школа природных ресурсов  
Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»  
Отделение химической инженерии

**УТВЕРЖДАЮ:**  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата)                      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

ВКР бакалавра
(ВКР бакалавра/ ВКР специалиста/ ВКР магистра)

Студенту:

Группа	ФИО
2Д8Б	Григораш Михаилу Степановичу

Тема работы:

Повышение эффективности использования водородсодержащего газа в производстве поверхностно-активных веществ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.01.2022, № 28-92/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Данные с установки дегидрирования ООО «КИНЕФ» за 2018-20, 2020-22 гг.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1) Провести аналитический обзор технологий получения водорода, его использования и объемов потребления; 2) Исследовать физико-химические и термодинамические особенности процесса дегидрирования <i>n</i> -парафинов, рассмотреть механизмы протекающих реакций; 3) Провести мониторинг сырьевого цикла за 2020-2022 гг.; 4) Исследовать влияние изменения технологических параметров на процесс дегидрирования;

	5) Описать закономерности протекания реакций на кислотных центрах катализатора в модели процесса дегидрирования; 6) Рассчитать режим подачи воды с использованием уточненной математической модели; 7) Выработать рекомендации по проведению процесса дегидрирования с целью обеспечения сбережения ресурса катализатора и повышению эффективности использования ВСГ.
<b>Перечень графического материала</b>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Литературный обзор	Ивашкина Елена Николаевна
Объекты и методы исследования	Ивашкина Елена Николаевна
Теоретическая часть	Ивашкина Елена Николаевна
Практическая часть	Ивашкина Елена Николаевна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность,	Гуляев Милий Всеволодович
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ивашкина Е.Н.	д.т.н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Григораш М.С.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Д8Б	Григораш Михаилу Степановичу

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Отделение химической инженерии
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Химическая технология

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

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

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Определение структуры работы. Расчет трудоемкости выполнения работ. Подсчет бюджета исследования</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Рассчитать показатели финансовой эффективности, ресурсоэффективности и эффективности исполнения</i>

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

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

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	03.03.2022
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н.,		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2Д8Б	Григораш Михаил Степанович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО		
2Д8Б	Григораш Михаилу Степановичу		
Школа	Инженерная Школа Природных Ресурсов	Отделение (НОЦ)	ОХИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ специальность	18.03.01 Химическая технология

Тема ВКР:

Повышение эффективности использования водородсодержащего газа в производстве поверхностно-активных веществ	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p>Объект исследования – установка получения олефинов; Область применения – нефтехимическая промышленность Рабочая зона: компьютерный класс, технологическая зона</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>ТК РФ, № 197-ФЗ ТК РФ, № 426-ФЗ ГОСТ 12.2.033-78 ГОСТ 12.2.032-78</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ потенциально вредных и опасных производственных факторов</li> <li>– Обоснование мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов</li> </ul>	<p>Вредные производственные факторы: 1.Производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания; 2.Повышенные уровни шума и вибрации; 3.Производственные факторы, связанные со световой средой. 4.Производственные факторы, связанные с микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего</p> <p>Опасные производственные факторы: 1.Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов; 2.Производственные факторы, связанные с электрическим током; 3.Пожаровзрывоопасность.</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: каски, наушники, противогазы.</p>

<b>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:</b>	Анализ воздействия объекта на атмосферу, гидросферу и литосферу; Решение по обеспечению экологической безопасности.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации:</b>	Возможные ЧС: при эксплуатации установки получения олефинов: производственные аварии (пожар, взрыв), стихийные бедствия, социально-военные конфликты
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Григораш Михаил Степанович		

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

Инженерная Школа Природных ресурсов  
Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»  
Уровень образования Бакалавриат  
Отделение химической инженерии  
Период выполнения весенний семестр 2021 /2022 учебного года

Форма представления работы:

<b>ВКР бакалавра</b>
----------------------

(ВКР бакалавра/ ВКР специалиста/ ВКР магистра)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающегося:

Группа	ФИО
2Д8Б	Григораш Михаила Степановича

Тема работы:

Повышение эффективности использования водородсодержащего газа в производстве поверхностно-активных веществ
--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.02.2022	Литературный обзор	20
20.03.2022	Объекты и методы исследования	10
07.04.2022	Теоретическая часть	15
01.05.2022	Практическая часть	15
30.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
07.06.2022	Социальная ответственность,	20

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ивашкина Е.Н.	д.т.н., профессор		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП/ОПОП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мойзес О.Е.	к.т.н., доцент		

**Обучающийся**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Григораш Михаил Степанович		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 109 с., 32 рис., 29 табл., 36 источников.

Ключевые слова: дегидрирование n-парафинов, водородсодержащий газ, моделирование, мониторинг работы установки, моноолефины.

Объектом исследования является промышленный процесс дегидрирования высших парафинов C<sub>9</sub>-C<sub>14</sub>.

Цель работы – повышение эффективности использования водородсодержащего газа в производстве поверхностно-активных вещества с сохранением срока службы Pt-катализатора и выхода целевых продуктов.

В ходе работы проводился мониторинг работы промышленной установки производства олефинов, выполнен анализ влияния различных технологических параметров на показатели процесса дегидрирования высших парафинов, осуществлена корректировка разработанной математической модели, проведены прогнозные расчеты с оценкой эффективности применения разработанных рекомендаций.

В результате исследования было детализировано в модели процесса влияние воды на реакции гидрокрекинга и коксообразования и определена целесообразность уменьшения мольного соотношения H<sub>2</sub>/сырье.

Степень внедрения: разработаны практические рекомендации для повышения эффективности работы промышленной установки получения олефинов.

Область применения: установка производства олефинов на заводе ООО «КИНЕФ», г. Кириши, на нефтеперерабатывающих заводах мира, производящих высшие n-олефины согласно технологии UOP.

Экономическая эффективность/значимость работы: своевременное регулирование технологических параметров процесса, поддержание оптимальных параметров процесса с целью получения качественного продукта и увеличения производительности установки при сбережении ресурса водородсодержащего газа.

## Оглавление

Введение.....	13
1. Литературный обзор .....	15
1.1 Значение процесса получения <i>n</i> -олефинов в производстве линейных алкилбензолов .....	15
1.2 Современное состояние технологий гидропереработки углеводородного сырья.....	17
1.3 Анализ производства и потребления водорода в России и мире .....	23
2 Объекты и методы исследования .....	28
2.1 Технологическая схема установки получения <i>n</i> -олефинов.....	28
2.2 Катализатор дегидрирования.....	31
2.3 Реактор дегидрирования.....	32
2.3 Мониторинг работы установки дегидрирования высших парафинов ...	34
3 Теоретическая часть.....	40
3.1 Механизм процесса дегидрирования на платиновом катализаторе .....	40
3.2 Кинетика и термодинамика процесса дегидрирования .....	40
3.3 Механизм коксообразования .....	41
3.4 Механизм гидрокрекинга .....	42
3.5 Механизм взаимодействия водорода с коксогенными структурами.....	44
3.6 Механиз действия диминерализованной воды .....	44
3.6.1 Влияние молекул воды на катализатор дегидрирования.....	45
4 Практическая часть .....	48
4.1 Кинетическая модель процесса дегидрирования с учетом реакций коксообразования и гидрокрекинга .....	48
4.2 Описание математической модели и расчеты технологических параметров процесса дегидрирования.....	50
4.3 Установление функциональной зависимости кислотной активности катализатора от расхода (концентрации) воды в системе .....	54
4.4 Эффективность экономии водородсодержащего газа в процессе производства олефинов .....	58

4.5	Прогнозирование работы катализатора.....	65
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	67
5.1	Потенциальные потребители результатов исследования .....	67
5.2	Анализ конкурентных технических решений.....	67
5.3	SWOT-анализ.....	69
5.4	Планирование работ по научно-техническому исследованию .....	73
5.4.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	73
5.5	Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	79
5.5.1	Расчет материальных затрат НТИ .....	79
5.5.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ .....	80
5.5.3	Основная заработная плата исполнителя темы .....	80
5.5.4	Расчет дополнительной заработной платы .....	83
5.5.5	Отчисления во внебюджетные фонды.....	84
5.5.6	Накладные расходы .....	85
5.5.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	85
5.6	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	86
6	Социальная ответственность .....	89
6.1	Характеристика опасных факторов объекта исследования.....	89
6.2	Производственная безопасность .....	92
6.2.1	Анализ потенциально опасных и вредных производственных факторов.....	92
6.2.2	Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов.....	93
6.3	Экологическая безопасность.....	99
6.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	100
6.5	Правовые вопросы обеспечения безопасности.....	102
	Заключение .....	103
	Список используемых источников.....	104

## **Введение**

Линейные алкилбензолы (ЛАБ) – распространённый компонент для производства синтетических моющих веществ, третью часть которых изготавливают из линейных алкилбензолов. Многочисленные исследования показали, что ЛАБ является экологически безопасен для окружающей среды. Также линейные алкилбензолы выделяются среди других компонентов поверхностно-активных веществ своей повышенной эффективностью в качестве моющих средств и низкой себестоимостью.

Производство ЛАБ основано на алкилировании бензола *n*-моноолефинами, которые образуются в результате дегидрирования высших парафинов C<sub>9</sub>-C<sub>14</sub>. Дегидрирование *n*-парафинов – эндотермический процесс, протекающий на платиновом катализаторе при температуре 465-490 °С. В ходе процесса также происходят побочные реакции гидрокрекинга и коксообразования, которые негативно влияют на катализатор дегидрирования и количество целевого продукта.

Поддержание селективности процесса и стабильного выхода моноолефинов осуществляется с помощью контроля технологических параметров: температура и давление в реакторе, расхода ВСТ и расхода деминерализованной воды. Благодаря регулированию данных параметров достигнуто стабильная работа реактора и катализатора в течение цикла их работы, который на данный момент составляет около 480 суток.

В настоящий момент проблема дезактивации катализатора решена с помощью динамической подачи воды в реактор и точного контроля температуры и расхода водорода в реактор.

Для точного прогнозирования работы установки применяется компьютерная моделирующая система, созданная на базе кафедры Химической технологии топлива и химической кибернетики Томского Политехнического Университета. Модель процесса производства моноолефинов позволяет определять значения технологических параметров,

при которых будут достигаться наибольший выход целевого продукта – олефинов.

Цель настоящей работы заключается в повышении эффективности использования водородсодержащего газа в производстве поверхностно-активных вещества с сохранением срока службы Pt-катализатора и выхода целевых продуктов. Новые рекомендации по ведению технологического режима процесса будут основаны на расчетах, выполненных с использованием моделирующей системы процесса дегидрирования высших парафинов.

## 1. Литературный обзор

### 1.1 Значение процесса получения *n*-олефинов в производстве линейных алкилбензолов

Линейные алкилбензолы (ЛАБ) – смесь ароматических углеводородов, получаемых в процессе алкилирования бензола нормальными олефинами. ЛАБ являются важным компонентом в производстве поверхностно-активных веществ (ПАВ) и синтетических моющих веществ (СМС). Всемирное использование ЛАБ обусловлено их безопасностью к окружающей среде, эффективностью при использовании в качестве моющего средства и низкой себестоимостью.

Производство ЛАБ состоит из нескольких этапов: 1) выделение фракции *n*-парафинов из керосиновой и дизельной фракций нефти, 2) дегидрирование парафинов с образованием моно- и диолефинов, при этом диолефины проходят стадию гидрирования, а непрореагировавшие парафины возвращаются в цикл процесса дегидрирования; 3) алкилирование бензола моноолефинами в присутствии катализатора HF-кислоты.

Данная Технология производства ЛАБ была предложена американской компанией Universal Oil Products (UOP) и реализована в России на Киришском НПЗ в 1996 г. вкуче с технологией сульфирования ЛАБ серным ангидридом (SO<sub>3</sub>) с получением алкилбензолсульфоновой кислоты (АБСК) и линейных алкилбензолсульфонатов.

В ООО «ПО «Киришинефтеоргсинтез» комплекс получения ЛАБ и ЛАБС состоит из связанных блоков переработки (Рисунок 1): 1) выделение парафинов на установке «Парекс»; 2) предварительное фракционирование смеси *n*-парафинов с углеводородной цепью C<sub>9</sub>-C<sub>20</sub> и дальнейшее выделение целевой фракции C<sub>10</sub>-C<sub>13</sub>; 3) дегидрирование фракции C<sub>10</sub>-C<sub>13</sub> на установке Пакол с получением смеси моно-, диолефинов и непрореагировавших парафинов, а также гидрирование диолефинов до моноолефинов на установке Дифайн; 4) алкилирование на фтороводородном катализаторе бензола моноолефинами, в результате чего образуются линейные алкилбензолы с

длиной боковой алкильной цепи от 10 до 14; 5) сульфирование серным ангидридом ЛАБ с получением алкилбензолсульфоновой кислоты и линейных алкилбензолсульфонатов.

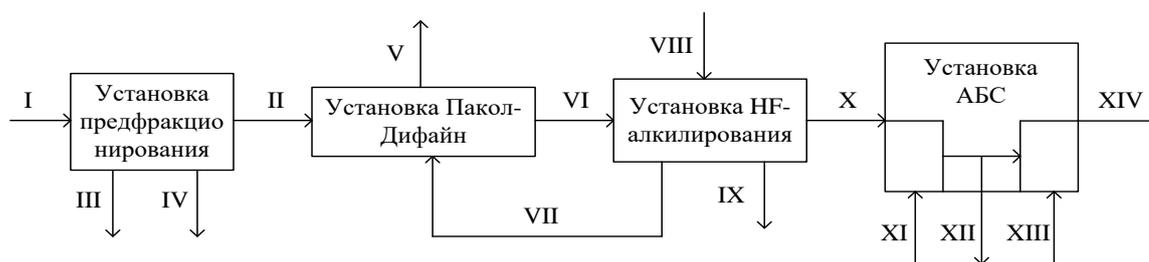


Рисунок – 1. Блок-схема потоков комплекса производства ЛАБ, ЛАБС:

I – *n*-парафины с установок «Парекс»; II – фракция *n*-парафинов C<sub>10</sub>-C<sub>13</sub>;  
 III – фракция *n*-парафинов C<sub>14</sub>-C<sub>17</sub>; IV – фракция *n*-парафинов C<sub>18</sub> и выше;  
 V – ВСГ; VI – смесь *n*-парафинов и моноолефинов; VII – рециркулирующие *n*-парафины; VIII – бензол с установки ЛГ-35-8/300Б; IX – тяжелый алкилат;  
 X – линейные алкилбензолы (ЛАБ); XI – сера с установки элементарной серы; XII – линейная алкилбензолсульфо кислота (ЛАБСК); XIII – NaOH;  
 XIV – линейный алкилбензолсульфонат натрия[4]

Катализатором дегидрирования является платиносодержащий катализатор на цеолитном носителе. Селективность образования моноолефинов поддерживается на уровне 90-95 %, а степень превращения достигает 12-13 %. В ходе данного процесса происходят как целевая реакция дегидрирования, так и побочные реакции коксообразования и гидрокрекинга *n*-парафинов с образованием легкой фракции парафинов (метан, этан, пропан, бутан, пентан и выше). Продукты побочных реакций дезактивируют катализатор: кокс адсорбируется в порах катализатора, поэтому в реактор дегидрирования впрыскивается деминерализованная вода, которая помогает поддерживать стабильную работу катализатора и уменьшать его дезактивацию.

Дальнейший процесс Дифайн предназначен для гидрирования жидких продуктов дегидрирования на алюмоникелевом катализаторе с преобразованием диолефинов в моноолефины. При попадании диолефинов в

реактор алкилирование происходит образование более тяжелого алкилата и снижение качества ЛАБ и к ухудшению качеств целевых продуктов.

Данная работа направлена на определение оптимального расхода водородсодержащего газа на стадии дегидрирования парафиновых углеводородов в технологии производства поверхностно-активных веществ с применением математической модели.

Таким образом, дегидрирование высших парафинов на Pt-катализаторах является важнейшей технологической стадией в производстве экологически безопасных компонентов поверхностно-активных веществ. Именно эта стадия определяет качество и выход таких компонентов, как ЛАБ и ЛАБС в дальнейшем.

## **1.2 Современное состояние технологий гидропереработки углеводородного сырья**

Моноолефины, пригодные для синтеза линейных алкилбензолов, получают с помощью дегидрирования узкой фракции *n*-парафинов. На этой стадии протекают реакции дегидрирования, гидрокрекинга, ароматизации и коксообразования, которые характеризуются как поглощением водорода, так и его выделением. На данный момент в этом процессе используется большое количество водорода для обеспечения стабильной работы катализатора.

Расход водорода определяется поддержанием необходимого мольного соотношения водорода к сырью. Этим технологическим параметром контролируется количество водорода в системе и его парциальное давление. Водород, входящий в состав ВСГ, способен частично гидрировать промежуточные коксогенные структуры на поверхности катализатора. Регламентом принято поддерживать соотношение водорода к сырью на уровне от 6:1 до 8:1.

Целью данной работы является повышение эффективности использования водородсодержащего газа в производстве поверхностно-активных вещества увеличение срока службы Pt-катализатора.

дегидрирования. Поставленная цель достигается с помощью регулирования расхода ВСГ и подаваемой деминерализованной воды в реактор дегидрирования. При этом одной из задач данной работы является изучение механизмов действия воды и водорода на промежуточные продукты уплотнения, являющиеся основной причиной дезактивации катализатора.

Наряду с технологией дегидрирования в нефтеперерабатывающей отрасли используются следующие гидрогенизационные процессы:

- каталитический риформинг бензинов;
- паровой риформинг;
- гидроочистка нефтяных фракций;
- гидрокрекинг.

#### *Каталитический риформинг*

Процесс каталитического риформинга предназначен для повышения детонационной стойкости бензинов и получения индивидуальных ароматических углеводородов, главным образом бензола, толуола и ксилола [1].

Также в процессе риформинга получают дешевый водородсодержащий газ для использования в других гидрокаталитических процессах.

Сырьем каталитического риформинга являются бензиновые фракции, выкипающие при температуре 60-63 °С. В процессе риформинга происходят 5 основных реакций:

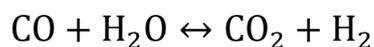
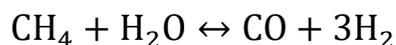
1. Дегидрирование шестичленных нафтендов до ароматических соединений.
2. Дегидроциклизация парафинов.
3. Дегидроизомеризация алкилциклопентанов.
4. Изомеризация парафинов.
5. Гидрокрекинг парафинов.

Практически в каждой из этих реакций происходит образование водорода. В то же время, часть водорода, смешанного с углеводородами,

возвращается в систему. Циркуляция водорода в системе необходима для поддержания стабильности работы катализатора. Соотношение водорода к углеводородам поддерживается на уровне от 4 до 6 моль/моль. Увеличение отношения  $H_2$ /углеводороды вызывает повышение парциального давления водорода, при этом происходит снижение коксообразования на катализаторе, что увеличивает срок его службы. Понижение отношения водород/углеводороды приводит к увеличению коксообразования на катализаторе и, соответственно, скорости его дезактивации. При дальнейшем снижении резко уменьшается активность катализатора [2]. Установки каталитического риформинга снабжают ВСГ практически все установки гидроочистки топлив, входящие в структуру любого НПЗ.

### *Паровой риформинг*

Процесс парового риформинга – это взаимодействие углеводородов с водяным паром, в результате которой образуются смеси водорода и оксидов углерода:



Данный процесс реализуется в трубчатых печах с реакционными трубами, наполненными катализатором на основе никеля. Реакции парового риформинга – эндотермические реакции, требующие подвода тепла, температура на выходе из печи достигает 860-880 °С.

Паровой риформинг природного газа является эффективным, экономичным и широко используемым процессом производства водорода, а также обеспечивает краткосрочную и среднесрочную энергетическую безопасность, и экологические выгоды. Эффективность процесса парового риформинга составляет от 65 до 75%, что является одним из самых высоких в настоящее время коммерчески доступных способов производства водорода. Природный газ – это удобное, простое в обращении углеводородное сырье с высоким соотношением водорода и углерода [3].

## *Дегидрирование углеводородов*

Процесс дегидрирования высших парафинов нормального строения протекает на металлических центрах модифицированного алюмоплатинового катализатора под давлением водорода и при температуре 450-500 °С. Выход олефинов в данном процессе ограничен термодинамическим равновесием и составляет 7-15 %.

Сырьем процесса является фракция *n*-парафинов C<sub>10</sub>-C<sub>14</sub>, при этом смесь сырья может состоять только из углеводородов с разницей в 4 углеродных атома, например, C<sub>10</sub>-C<sub>13</sub> или C<sub>11</sub>-C<sub>14</sub>, так как при переработке фракции C<sub>10</sub>-C<sub>14</sub> количество побочных реакций гидрокрекинга значительно возрастает.

Помимо реакций дегидрирования в реакторе протекают побочные реакции (гидрокрекинг, реакции поликонденсации и уплотнения, приводящие к образованию кокса).

В процессе дегидрирования парафинов степень их превращения увеличивается с подъемом температуры, но при этом происходит дезактивация катализатора и уменьшение его срока работы. Для обеспечения оптимальных степени превращения и срока работы катализатора в систему подается водородсодержащий газ (ВСГ), смешанный с сырьем в нормированном мольном соотношении. Наиболее оптимальным соотношением является 7:1. Понижение этого соотношения при постоянном давлении в реакторе ведет к увеличению превращения *n*-алканов, при этом снижается нагрузка на компрессор [4]. Однако снижение парциального давления водорода ведет к увеличению отложения кокса на катализаторе и снижению гарантированного срока службы. В течение всего цикла работы катализатора соотношение не меняется.

Водородсодержащий газ препятствует образованию коксогенных структур [4]:



Поддержание мольного соотношения водород/сырье обеспечивает стабильную работу катализатора и уменьшает скорость его дезактивации.

### *Гидрокрекинг*

Гидрокрекинг – каталитический процесс переработки нефтяных дистиллятов и остатков при умеренных температурах и повышенных давлениях водорода на полифункциональных катализаторах, обладающих гидрирующими и кислотными свойствами.

Гидрокрекинг позволяет получать с высокими выходами широкий набор высококачественных нефтепродуктов практически из любого нефтяного сырья путем подбора соответствующих катализаторов и технологических условий, является одним из экономически эффективных, гибких и наиболее углубляющих нефтепереработку процессов.

Гидрокрекинг представляет собой совокупность процессов гидрогенолиза, то есть разрыв связей C–S, C–N и C–O, дегидро-гидрирования и крекинга, то есть разрушения углеродного скелета, но без коксообразования, с получением продуктов более низкомолекулярных соединений, очищенных от гетероатомов, не содержащих олефинов, но менее ароматизированных, чем при каталитическом крекинге [1].

На кислотных и бифункциональных катализаторах парафины подвергаются крекингу и изомеризации по гетерокаталитическому механизму. Вначале на активных центрах гидрирования – дегидрирования происходит дегидрирование УВ с образованием олефинов. Олефины далее легко превращаются в карб-катионы (промежуточные углеводородные соединения, обладающие зарядом) на кислотных центрах катализатора и инициируют цепной карбкатионный процесс [5].

В процессе гидрокрекинга используется ВСГ, образующийся при риформинге бензинов. ВСГ подается при повышенных давлениях в систему. Он обеспечивает конверсию углеводородного сырья, а также защищает кислотные центры катализатора от образований на них кокса.

### *Гидроочистка нефтяных фракций*

Гидроочистка – процесс удаления примесей из нефтяных фракций, что улучшает эксплуатационные свойства и облагораживает топливо. Получаемые

продукты гидроочистки теряют коррозионную активность и удаляет гетероатомы (S, N, O и др.) для уменьшения количества вредных выбросов. Удаление этих атомов предотвращает отравление катализаторов дальнейших процессов.

Реакции удаления гетероатомов – реакции гидрогенолиза, то есть разрыв связей C-X, где C – атом углерода и X – атом серы, азота или кислорода. Продуктами этих превращений – газообразные продукты: пар, аммиак и сероводород [1], [7].

Гидрогенолиз в процессе гидроочистки проводят при более мягких условиях, чем в других процессах, где задействован гидрогенолиз, поэтому в реакции учувствуют только гетероорганические компоненты. Характерные реакции гидроочистки [8]:

1. гидрирование (насыщение) непредельных и ароматических соединений;
2. крекинг парафинов и нафтендов;
3. деалкилирование алкилбензолов;
4. гидроизомеризация парафинов
5. гидрогенолиз сернистых соединений (меркаптанов, сульфидов, дисульфидов, тиофенов, бициклических сульфидов и тиофенов).

Большинство из этих реакций осуществляется за счет присоединения водорода к углеродному скелету или замещения гетероатомов водородом. Таким образом, водород крайне необходим для процесса гидроочистки в больших количествах.

Водородсодержащий газ циркулирует в схеме гидроочистки под высоким давлением (до 9-10 МПа) и высоким расходе[9]. Контролирующим параметром является соотношение водорода к сырью, которое можно изменять, регулируя расход и давление для более глубокой очистки сырья от примесей. Как и в других процессах, катализатор гидроочистки подвергается действию серы и коксообразованию, что неблагоприятно влияет на катализатор, отравляя его и дезактивируя. Поэтому водород необходим не

только для осуществления основных реакций, но и для предотвращения отложения серы и кокса на активных центрах катализатора.

На данный момент основным источником водородсодержащего газа являются процессы парового и каталитического риформинга, а основными потребителями – гидроочистка, гидрокрекинг. Процесс дегидрирования позволяет как получать водород, так и расходует его в ходе эксплуатации катализатора. В данных процессах ВСГ используется как циркулирующий газ для осуществления основных реакций, а также для предотвращения дезактивации катализаторов.

### 1.3 Анализ производства и потребления водорода в России и мире

Мировой рынок водорода рос со среднегодовым темпом 2,9 % за период 1990-2020 гг. (Рисунок 2).

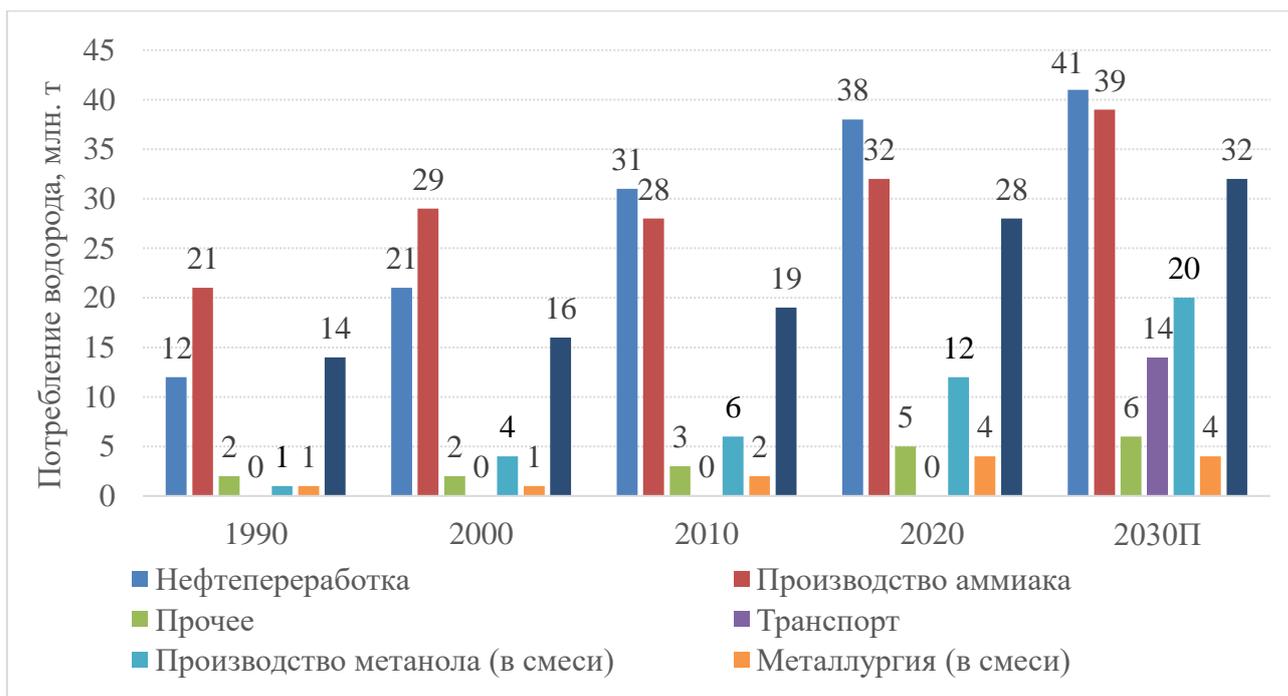


Рисунок 2 – Динамика потребления водорода в мире по сегментам производства, млн. т [10]

Основными направлениями использования водорода в мире являются нефтепереработка (гидрокрекинг, гидроочистка) и химическая промышленность (производство аммиака и метанола) (Рисунок 3). Объем производства водорода в мире на 2021 г. составляет 55-70 млн. т.

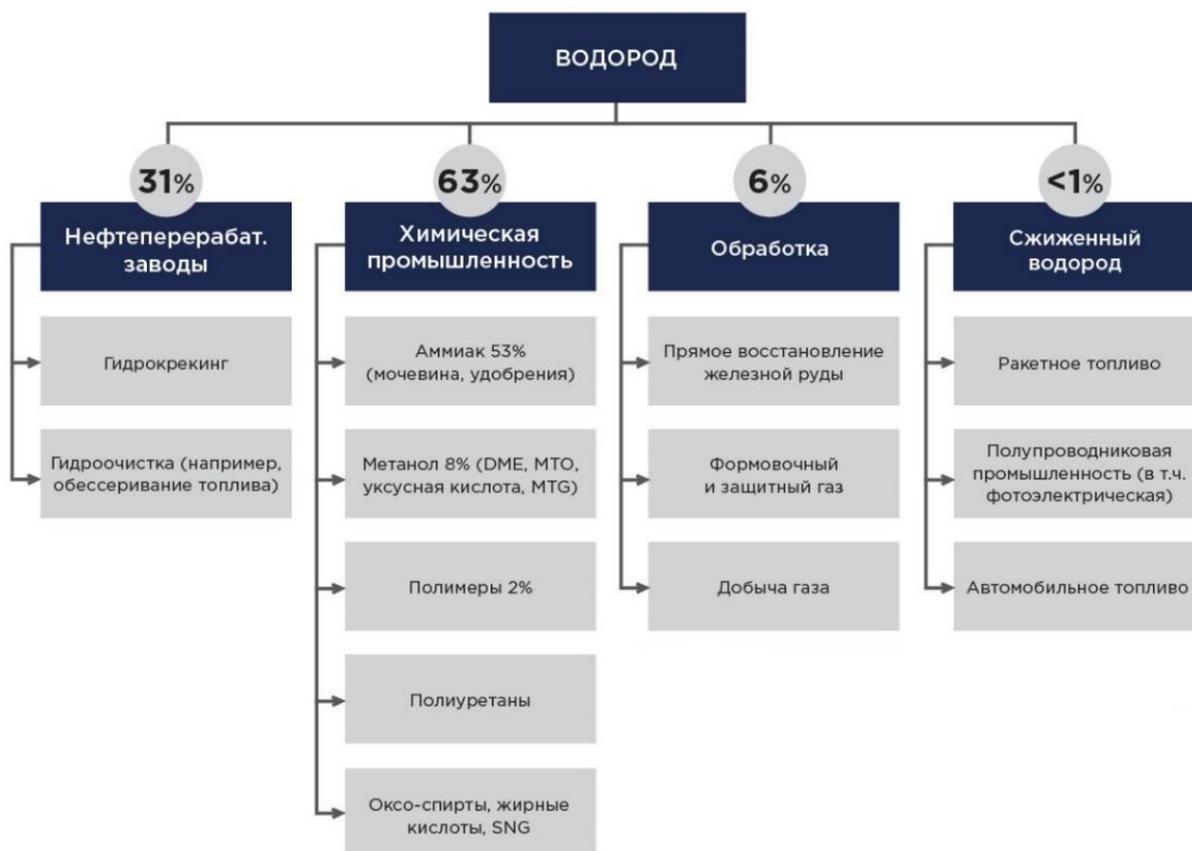


Рисунок 3 – Структура потребления водорода [11]

Среднегодовой темп роста потребления водорода в мире 2000-2020 гг. составляет 1,6 %. В России спрос на водород для производства аммиака и метанола в 2020 г. составлял 2,8 млн. т и 700 тыс. т соответственно. При этом ожидается, что в этих отраслях потребление водорода к 2030 году возрастет до 4,4 млн. т.

В 2020 г. в России было переработано около 270 млн. т нефти, что составляет 6% мировой нефтепереработки, для этого было использовано около 2,2 млн т водорода. К 2030 г. спрос на нефтепродукты и соответственно на водород возрастет в этом сегменте на 8% (Рисунок 4).

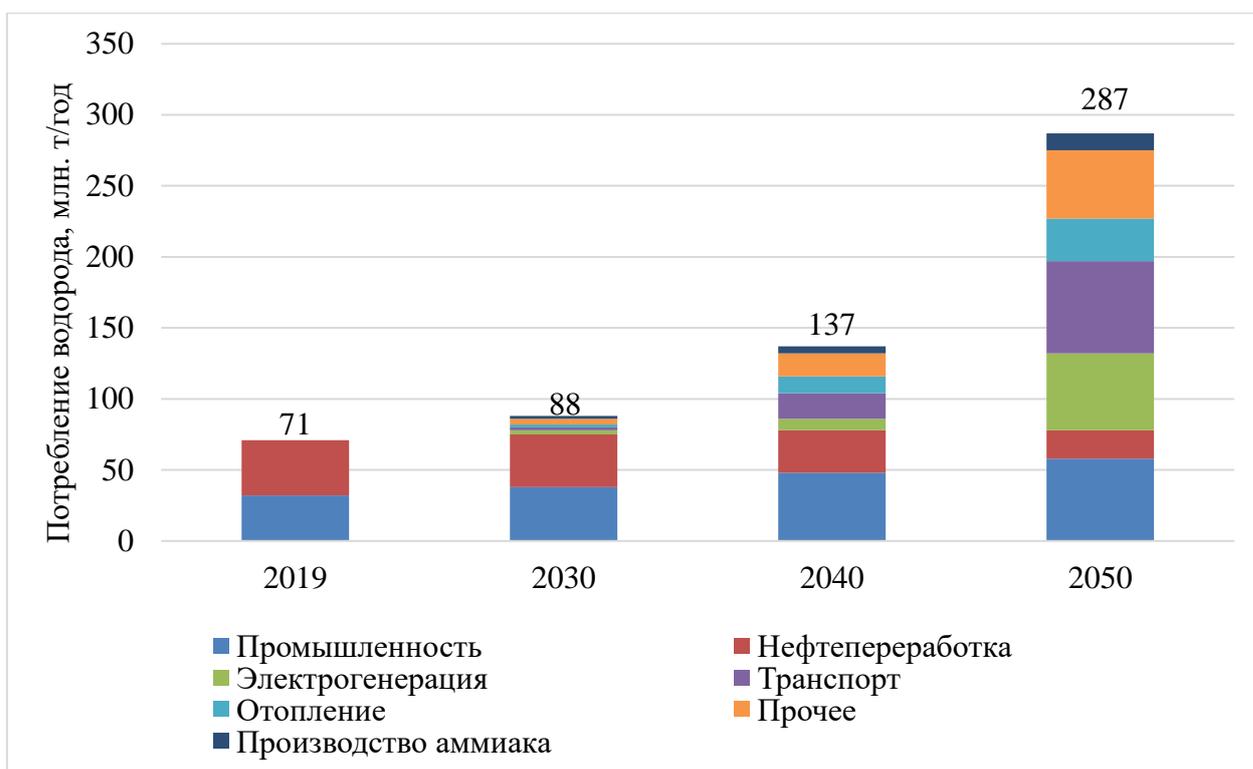


Рисунок 4 – Прогноз потребления водорода по сегментам экономики в мире, млн. т/год [10]

Сырьем для производства водорода являются, от общих объемов в %:

- природный газ – 68 %;
- нефть – 16%;
- уголь – 11 %;
- электролиз воды – 5 %.

Это объясняется сравнительной дешевизной производства из углеводородов – по различным оценкам, себестоимость водорода из природного газа пока в 2-5 раз ниже, чем при электролизе [10].

На данный момент наиболее распространёнными способами производства водорода являются:

- 1) паровой риформинг (конверсия) метана
- 2) риформинг нефтяного сырья
- 3) газификация угля
- 4) электролиз воды
- 5) улавливание, использование и хранение углерода (CCUS).

Последняя технология является перспективным способом повышения эффективности парового риформинга за счет экологичного и эффективного удаления CO<sub>2</sub> в процессе производства водорода.

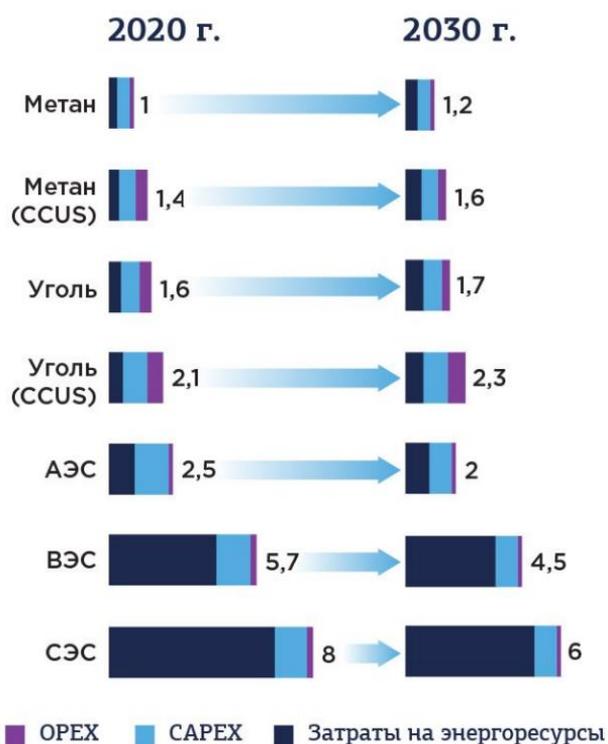


Рисунок 5 – Стоимость производства водорода в России в зависимости от технологии долл./кг (OPEX – операционные затраты, CAPEX – капитальные затраты) [10]

Паровой риформинг (конверсия) метана остается самой распространенной и дешевой технологией получения концентрированного водорода (не менее 99,98 %). Простота технологии и технологического оборудования позволяет российской промышленности за низкую цену производить водород из природного газа, что делает технологию самой дешевой, по прогнозам Всемирного банка цена природного газа возрастет на 50 % к 2030 г, что повысит затраты на 20 % (Рисунок 5)

Газификация угля более дорогая технология из-за необходимости дополнительной очистки водорода на сложных и дорогостоящих системах очистки. К 2030 г. цена угля возрастет на 20 %, что также повысит издержки производства на 6 %.

Электролиз – технология с дорогостоящим оборудованием, цена которого увеличивается из года в год и к 2030 г. поднимется на 30-40 %, но реализация технологии на атомных электростанциях (АЭС) позволит в перспективе обеспечить наиболее экологичное производство водорода при относительно невысокой цене. Снижение цены реализации альтернативных источников энергии (СЭС и ВЭС) более чем на 20 % может стать перспективной технологией, но эти технологии производства водорода останутся в 2-3 раза дороже конверсии или газификации угля.

CCUS – улавливание и хранение водорода, данная технология в комбинации с паровой конверсией метана позволит уменьшить количество выбросов вредных веществ в атмосферу, что сделает конверсию наиболее экологичной и экономически эффективной технологией производства водорода в России.

Паровой риформинг можно модернизировать с помощью добавления модуля поглощения углерода CCUS, которая уменьшит выбросы углекислого газа в атмосферу. Также нужно отметить, что с появлением дешевой атомной электроэнергии, электролиз воды тоже может стать эффективным и экономичным способом получения водорода. На предприятиях переработки нефти более предпочтительным способом получения водорода остается каталитический риформинг, который крайне необходим на любом НПЗ для риформинга нефтяных фракций.

Так как глубина переработки нефти с каждым годом увеличивается, потребность в ВСТ увеличивается. Поэтому необходимо оптимизировать процессы для повышения эффективности использования водорода на предприятиях. Процесс получения олефинов основан на реакции дегидрирования на платиновом катализаторе. При этом эксплуатация катализатора сопровождается его дезактивацией коксом. Водород циркулирует в реакторе для предотвращения данной побочной реакции, но также для этой цели в реактор вводят деминерализованную воду.

## **2 Объекты и методы исследования**

Дегидрирование парафинов важный процесс в нефтехимической промышленности, с его помощью получают наиболее экологичные поверхностно-активные вещества на данный момент. Для повышения ресурсоэффективности производства линейных алкилбензолов при различном составе сырья и динамичном технологическом режиме применяется моделирующая система для прогнозирования выхода продукта и мониторинга технологического режима установки.

Корректирование данной модели может позволить наиболее точно прогнозировать выход олефинов, а также изменить технологический режим в пользу экономии водородсодержащего газа, который необходим в процессе получения моноолефинов.

### **2.1 Технологическая схема установки получения *n*-олефинов**

Производство олефинов включает в себя две стадии: дегидрирование парафинов и селективное гидрирование побочных продуктов – диолефинов (Рисунок 6).

Рециркулирующая смесь *n*-парафинов с установки алкилирования проходит очистку от фторидов в R-302 А/В, перед адсорбцией смесь нагревается в теплообменнике E-307. Очищенный рециркулят охлаждается в теплообменнике E-303, нагревая продукты Пакол-процесса, которые направляются в блок Дифайн, и смешивается со свежим сырьем (фракцией C<sub>10</sub>-C<sub>13</sub>) в емкости V-301. Смешанное сырье насосами P-306 А/В смешивается с ВСГ, которые подается с компрессора K-301, в теплообменнике E-301. Из теплообменника газосырьевая смесь подается в печь F-301 до температуры реакции (465-490 °С), после чего подвергается селективному дегидрированию в реакторах R-301 А/В. Деминерализованная вода подается в реакторы насосами P-307 А/В из емкости V-307 в линии перед печью F-301.

Вторая печь F-302 предназначена для попеременного нагревания ВСГ для каждого из реакторов для осуществления медленного снижения температуры катализатора перед его выгрузкой

Поток из реактора охлаждается в воздушном конденсаторе А-301 и поступает на разделение в сепаратор V-303, в котором смесь разделяется на ВСГ и жидкость. Основная часть ВСГ через компрессор К-301 возвращается на смешение с сырьем установки Пакол. Жидкие продукты из сепаратора V-303 нагреваются в теплообменниках Е-303 и Е-1405 и направляются в реактор Дефайн R-1401 для селективного гидрирования диолефинов. Перед теплообменником Е-1405 жидкие продукты смешиваются с ВСГ, который нагнетается трехступенчатыми компрессорами К-1401 А/В.

После реактора гидрирования смесь олефинов, n-парафинов и остатки дифолефинов подается в отпарную колонну С-301 для удаления растворенных газов и легких углеводородов. Верхний продукт колонны конденсируется в водяном холодильнике Е-305 и собирается в рефлюксной емкости V-305. Газовая фаза из этой емкости направляется на сжигание, а жидкая возвращается в колонну С-301 в качестве орошения.

Нижний продукт колонны через теплообменник Е-307 откачивается насосами Р-303 А/В в блок алкилирования для получения ЛАБ.

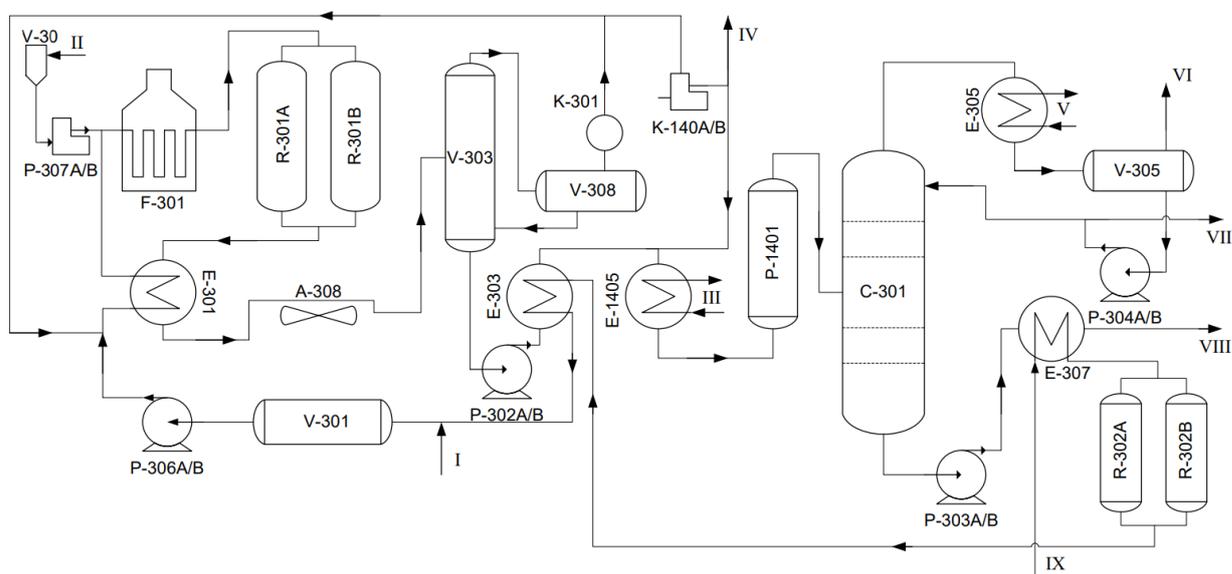


Рисунок 6 – Технологическая схема блока Пакол-Дефайн:

I – парафины; II – вода; III, V – хладагент; IV, VI – отдувочные газы; VII – УВ-газы; VIII – олефины; IX – парафины с установки алкилирования; V-30 – резервуар с водой; V-301 – резервуар с парафинами; V-303, V-305, V-308 -

сепараторы; P-307A/B – дозатор; P-302A/B, P-303A/B, P-304A/B, P-306A/B – насосы; F-301 – печь; R-301A/B – реакторы дегидрирования; P-1401 – реактор гидрирования; E-301, A-308, E-303, E-1401, E-305, E-307 – теплообменники; R302A/B – адсорберы; K-301, K-140A/B – фильтры; C-301 – отпарная колонна

Процесс дегидрирования зависит от температуры в реакторе, т.к. при повышении температуры термодинамически становится возможным отщепление молекулы водорода от углеводородной молекулы. Процесс проводят в узком температурном интервале. При пониженных температурах (менее 465°C) снижается выход целевого продукта (концентрация олефинов в продуктовом потоке не более 7,5 % масс). При температурах выше 490°C наблюдается ускорение реакций коксообразования, что вызывает быструю дезактивацию катализатора.

Рабочие диапазоны значений параметров технологического режима установки получения олефинов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Рабочие значения параметров процесса дегидрирования

Параметр	Диапазон значений	Размерность
Температура	465 – 490	°C
Давление	0,18 – 0,22	МПа
Расход парафинов	55 – 80	м <sup>3</sup> /ч
Расход ВСГ	50000 – 65600	нм <sup>3</sup> /ч
Мольное соотношение водород/сырье	6/1 – 8/1	–
Расход воды в реактор	4,0 – 16,0	л/ч

Проведение процесса при оптимальных значениях параметров обеспечивает не только увеличение производительности реактора, но и сохранение активности катализатора дегидрирования.

## 2.2 Катализатор дегидрирования

Процесс дегидрирования является эндотермическим и характеризуется невысокой степенью превращения парафинов при высоких температурах в пределах 15 %. Для достижения высокой скорости протекания целевых реакций при меньших температурах процесс проводят в присутствии катализатора.

Дегидрирование парафинов проходит на новых платиновых катализаторах на различных носителях. Катализатор представлял собой платину, промотированная оловом или калием, на цеолитном носителе  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  в реакторе с неподвижным или движущимся слоем катализатора, где необходима циркуляция ВСГ.

Промотированные катализаторы  $\text{Pt-Sn/Al}_2\text{O}_3$  позволили повысить селективность, чем монометаллические катализаторы. Назначение промоторов олова Sn или калия K – подавление особо сильных центров адсорбции парафинов. Такие катализаторы отличаются повышенной активностью проведения реакции дегидрирования, а также предотвращение отложений кокса на активных центрах катализатора. Это позволило работать с данным катализатором в жестких условиях, при этом срок работы катализатора не уменьшился.

Основной проблемой является дезактивация катализатора в процессе работы из-за коксообразования на его поверхности. Кокс отлагается на активных центрах катализатора, отвечающих за протекание реакций дегидрирования, блокируя эти центры. Для решения этой проблемы дегидрирование проводят в среде ВСГ, который гидрирует коксообразные структуры. Также для предотвращения отложений кокса применяется технология поддержания необходимой степени влажности в реакторе дегидрирования. Определение этих условий протекания процесса дегидрирования помогает увеличить длительность работы катализатора.

Таким образом, определение и поддержание условий стабильной работы катализатора является основными средствами оптимизации процесса дегидрирования.

### 3.3 Реактор дегидрирования

Для процесса дегидрирования высших парафинов используют адиабатический реактор радиального типа с неподвижным слоем катализатора. В работе [17] предложен реактор, содержащий цилиндрический корпус и коаксиально установленную корзину с катализатором (Рисунок 7). Такой реактор обеспечивает повышение эффективности работы реактора, снижение трудоемкости изготовления, сборки и ремонта, а также уменьшение металлоемкости реактора. Благодаря размещению теплоподводящих элементов – полых перегородок (труб) – внутри слоя катализатора позволяет увеличить эффективность реактора за счет осуществления изотермического и повышающегося профиля температур [17].

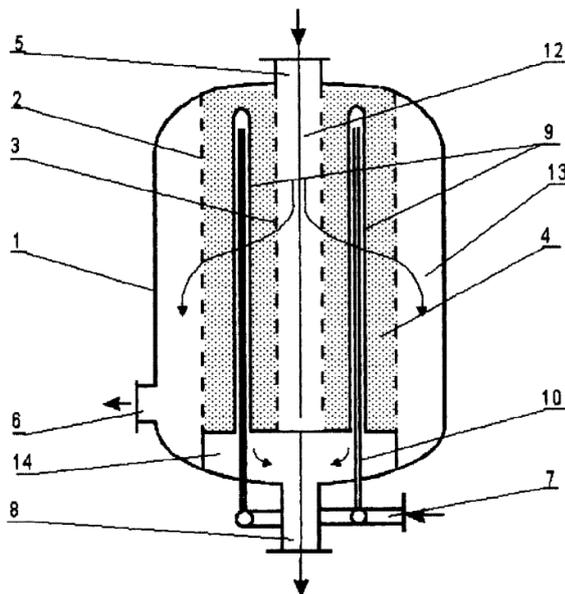


Рисунок 7–Реактор для каталитического дегидрирования углеводородов:  
1 – цилиндрический корпус, 2,3 – внешняя и внутренняя перфорированные обечайки, 4 – слой катализатора, 5,6 – патрубки для входа и выхода реакционной смеси, 7,8 – патрубки для подвода и отвода теплоносителя, 9 – теплообменные трубы, 10 – внутренняя труба, 12, 13 – раздающий и

собирающие коллекторы, 14,16 – собирающие камеры, 15 – раздающая камера

Модернизация конструкций реакторов радиального типа позволяет увеличить выход целевых продуктов, улучшить их качество, а также сократить расходы на катализатор и затраты на обслуживание реакторов. В работе [18] предложен реактор, содержащий цилиндрический корпус, коаксиально установленную кольцевую корзину с катализатором и обтекатель в виде конусообразного тела вращения (Рисунок 8). Задача обтекателя – равномерное распределение потока реакционной смеси по всему объему катализатора, загруженного в кольцевую корзину.

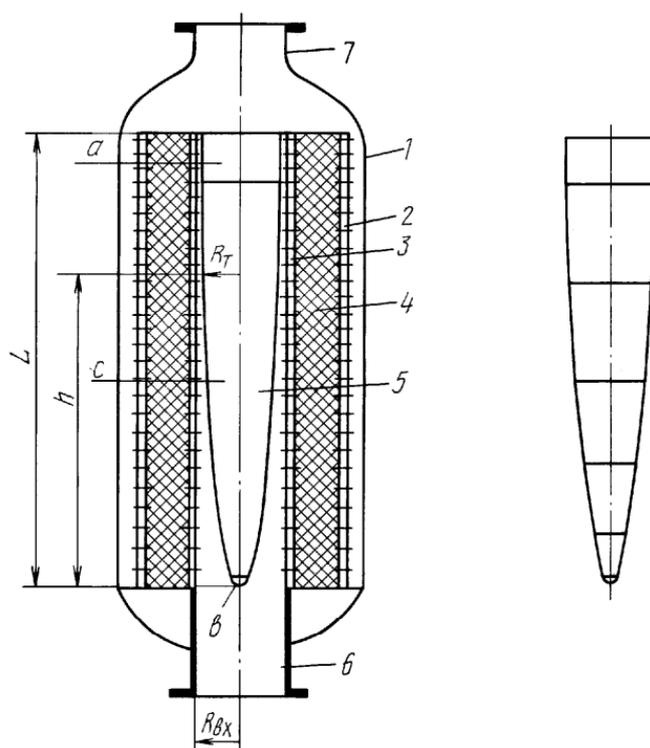


Рисунок 8 – Реактор дегидрирования углеводородов:

1 – цилиндрический корпус, 2 – внешний перфорированный цилиндр, 3 – внутренний перфорированный цилиндр, 4 – слой катализатора, 5 – обтекатель (а – цилиндрическая часть, б – полусфера, с – усеченный конус), 6, 7 – штуцера ввода и вывода реакционной смеси

Таким образом, создание и улучшение конструкций реакторов, которые могут обеспечить увеличение выхода целевого продукта дегидрирование, а

также повышение его качества совместно с уменьшением затрат на энергопотребление. Совместно с улучшением качеств катализатора, модернизация производства моноолефинов приведет к повышению мощности установки и количества целевого продукта. Проверку целесообразности применения новых реакторов можно провести, в том числе, с помощью метода математического моделирования.

Благодаря методу математического моделирования можно испытать реактор и катализатор, без создания физической модели, и определить, насколько эффективно применять данные технологии.

### **2.3 Мониторинг работы установки дегидрирования высших парафинов**

Следующим шагом работы является анализ работы реальной установки производства олефинов, а именно влияние технологических параметров реактора дегидрирования парафинов (температуры, мольного соотношения  $H_2$ /сырье и расхода деминерализованной воды) на выход олефинов и расход продуктов крекинга – легкой фракции углеводородов  $C_1$ - $C_4$  на выходе из отпарной колонны С-301.

Ключевыми параметрами, с помощью которых управляют технологическим режимом реактора дегидрирования парафинов, являются:

- температура сырья на входе в реактор;
- мольное соотношение водорода к сырью;
- расход деминерализованной воды, которую впрыскивают в сырье.

Технологические нормы данных параметров определяют количество производимых олефинов на установке. Помимо целевого продукта – олефинов – в реакторе образуются продукты побочных реакций: коксообразования (коксообразные структуры) и гидрокрекинга (легкая фракция парафинов  $C_1$ - $C_4$ ). Как целевая реакция, так и побочные реакции протекают на катализаторе, который в результате побочных реакций дезактивируется, поэтому в течение цикла работы катализатора повышают температуру на входе в реактор и

расход воды для уменьшения степени дезактивации и продления срока работы катализатора. Механизмы действия этих параметров будут рассмотрены ниже. При этом количество производимых олефинов должно поддерживаться на уровне 8-10 %.

В данном случае рассматривается период (цикл) работы катализатора с 10.21 по 02.22 гг, цикл составил 481 день. Анализ влияния технологических параметров показана на рисунках 8-14.

Влияние температуры на процесс дегидрирования парафинов показан на рисунках 9-10.

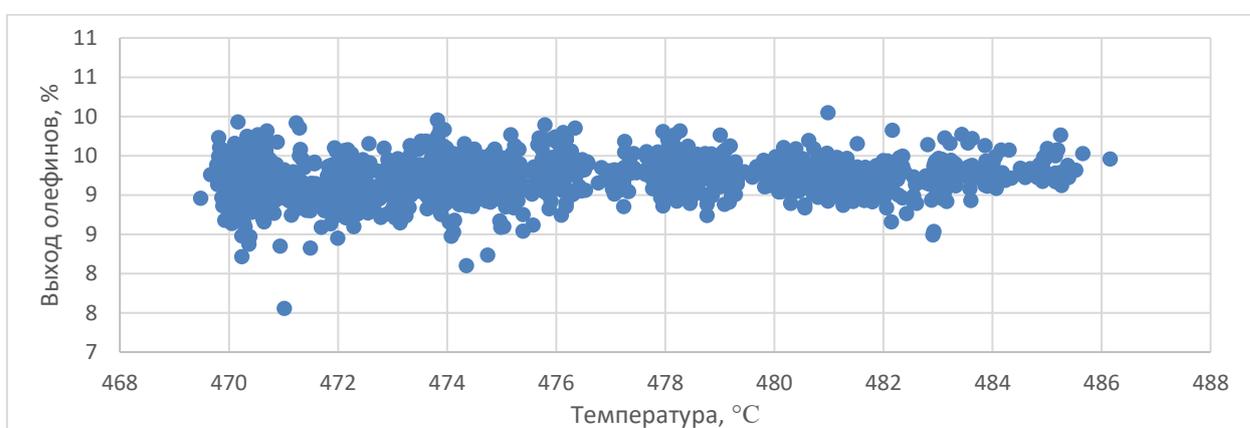


Рисунок 9 – Изменение выхода олефинов с увеличением температуры в течение цикла работы

Для поддержания необходимого уровня выхода олефинов необходимо увеличивать температуру с 465 до 490 °C (Рисунок 9). С увеличением температуры увеличивается степень превращения парафинов, однако преждевременное повышение температуры приводит к снижению селективности катализатора и уменьшению выхода олефинов.

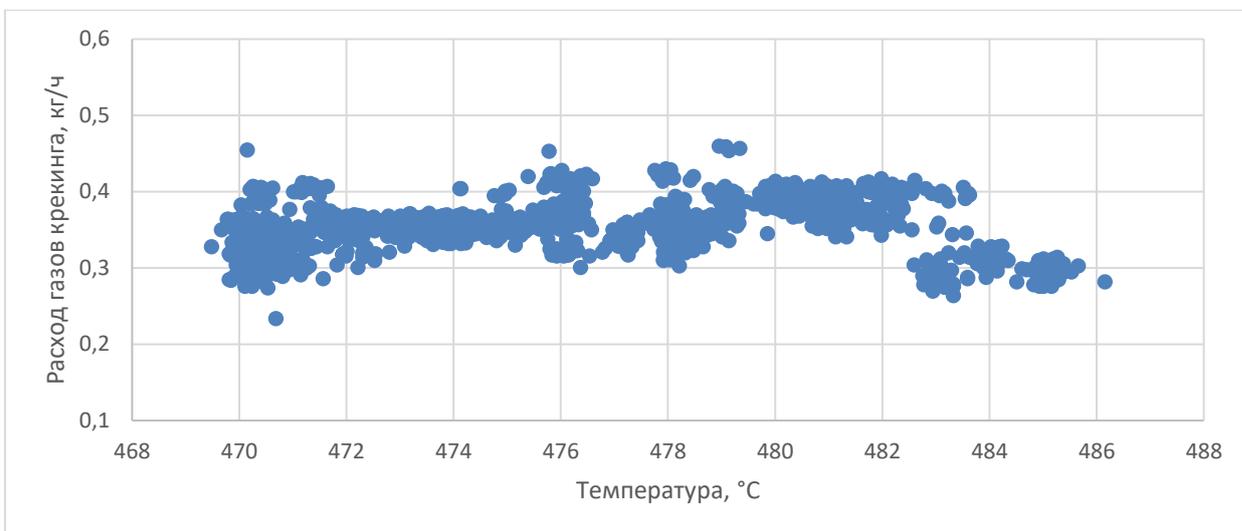


Рисунок 10 – Изменение расхода легких УВ с увеличением температуры в течение цикла работы

Повышение температуры приводит к повышению конверсии парафинов и увеличению выхода легких фракций, и образованию катализатора, а также к усилению закоксовывания катализатора. На рисунке 10 видно, что при температуре выше 480 °C снижается выход легких фракций, что скорее всего, обусловлено повышением образования кокса.

Влияние температуры на процесс дегидрирования парафинов показан на рисунках 11-12.

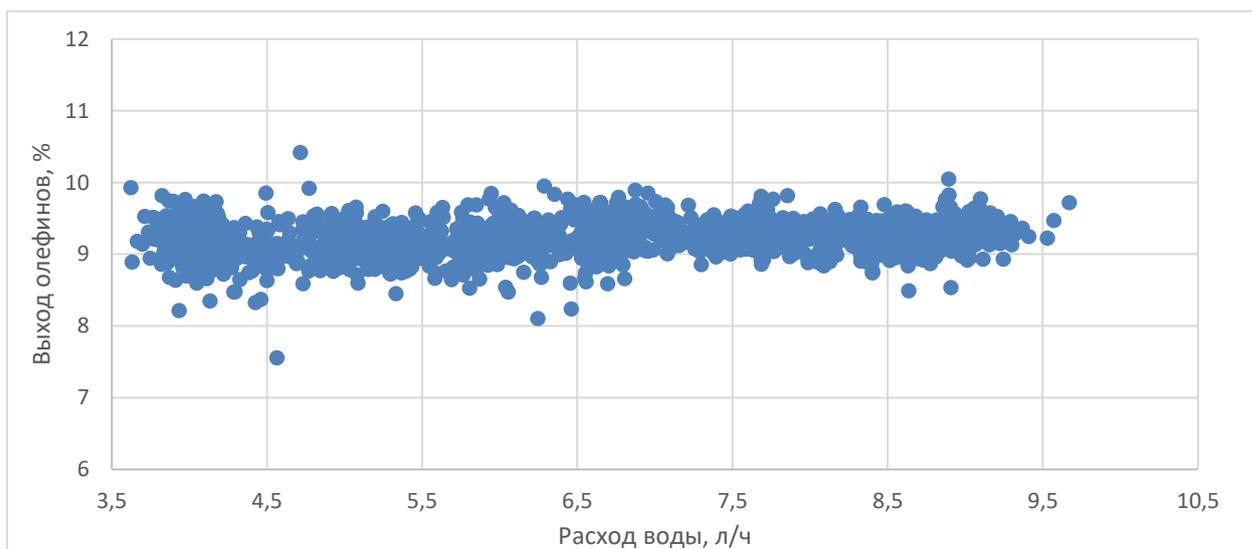


Рисунок 11 – Изменение выхода олефинов с увеличением расхода воды в течение цикла работы

Присутствие деминерализованной воды необходимо для эффективной и стабильной работы катализатора: для уменьшения скорости отложения кокса на катализаторе и продления срока его службы.

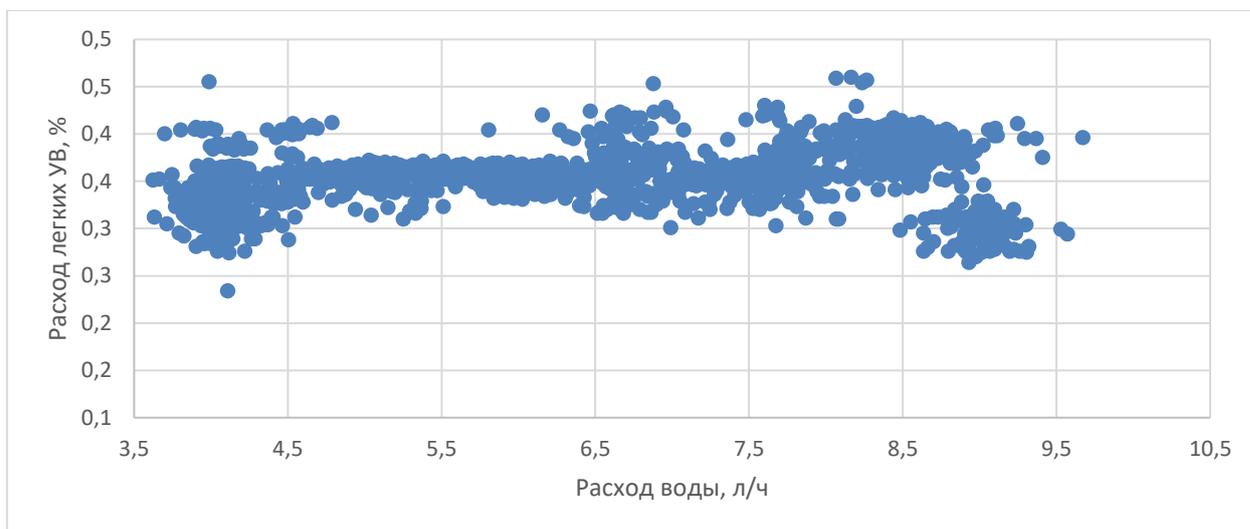


Рисунок 12 – Изменение расхода легких УВ с увеличением расхода воды в течение цикла работы

Недостаток влаги в системе приводит к уменьшению выхода олефинов и увеличению побочных реакций и преждевременному закоксовыванию катализатора. Избыток влаги может приводить к снижению активности катализатора, за счет снижения каталитической активности катализатора (адсорбция молекул воды на активных центрах катализатора), и повышения выхода легких углеводородов.

Дегидрирование парафинов в олефины — обратимая реакция, поэтому для поддержания химического и термодинамического равновесия необходимо присутствие в системе ВСГ. Количество ВСГ определяется мольным соотношением водорода в ВСГ к углеводородам сырья. Также благодаря циркуляции ВСГ в системе, часть образующегося кокса в реакторе не откладывается на поверхности, тем самым увеличивая срок службы катализатора. Влияние величины мольного соотношения на выход олефинов и легких УВ показан на рисунках 13, 14.

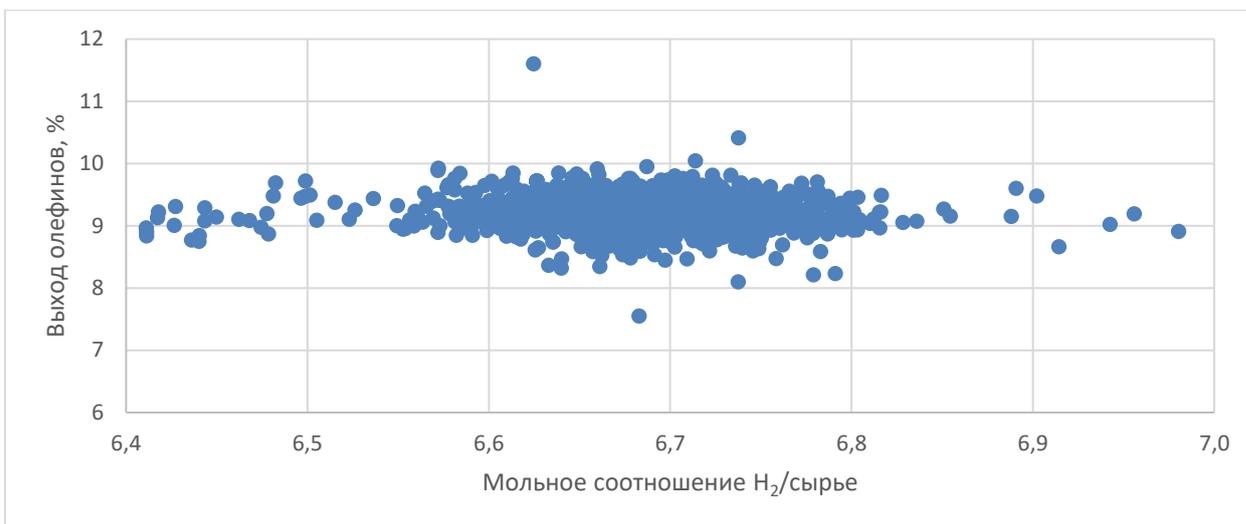


Рисунок 13 - Изменение выхода олефинов с увеличением мольного соотношения H<sub>2</sub>/сырье в течение цикла работы

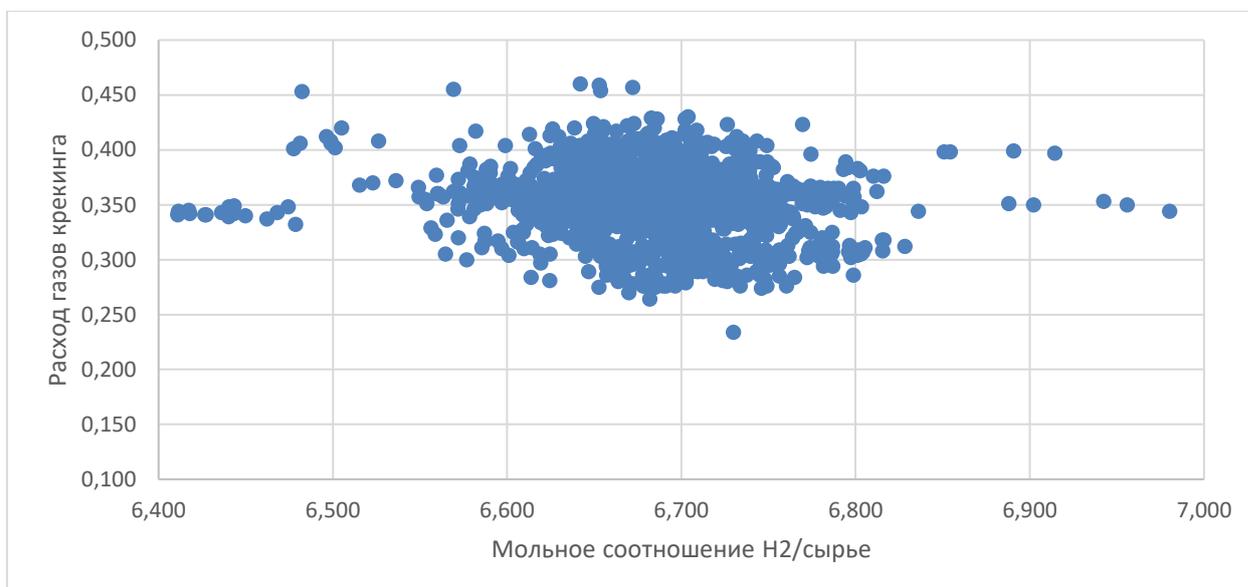


Рисунок 14 – Изменение расхода легких УВ с увеличением мольного соотношения H<sub>2</sub>/сырье в течение цикла работы

Как видно на рисунках 13 и 14, наиболее эффективно используется соотношение 6,6÷6,8/1 водорода к сырью, при котором обеспечивается химическое равновесие и необходимый уровень выхода олефинов.

Анализ работы установки и экспериментальных данных показал, что в течение цикла необходимо увеличивать температуру из-за отложений кокса и дезактивации катализатора. Нужно отметить, чтобы предотвратить снижение

активности катализатора также увеличивают расход деминерализованной воды, чтобы снизить количество кокса.

Для создания оптимальной влажности в системе, перед входом в реактор впрыскивается деминерализованная вода. Молекулы воды могут занимать активные центры катализатора, тем самым активируя кислотные центры, что приводит к реакциям гидрокрекинга, потому избыток влажности в системе недопустим. Как было отмечено, цеолит при высоких температурах подвергаются отщеплению  $-OH$ , что также приводит к появлению сильных кислотных центров, поэтому недостаток влажности также нежелателен.

Температура в реакторе и расход воды также значительно влияют на содержание углеводородов  $C_1-C_4$ , которые являются продуктами гидрокрекинга. Из графика видно, что при повышении технологических параметров значительно повышается выход углеводородов.

Анализ сырья показал, что в нем преимущественно содержится парафины  $C_{10}-C_{13}$ , в большей степени  $C_{11}-C_{12}$  (около 30 % масс.). Это также означает, что продуктами реакций гидрокрекинга будут газы  $C_3-C_4$  (около 80-90 %). Согласно термодинамическим расчетам, с увеличением температуры, реакции вероятность реакций гидрокрекинга будет увеличиваться. Согласно расчетам, газов  $C_3-C_4$  будет больше, чем  $C_1-C_2$ .

### 3 Теоретическая часть

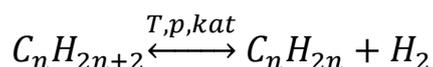
#### 3.1 Механизм процесса дегидрирования на платиновом катализаторе

Реакция дегидрирования парафинов протекает в 3 стадии:

1. Парафин  $C_nH_{2n+2}$  сорбируется на активном центре катализатора, происходит разрыв С-Н-связи и образуется два радикала  $C_nH_{2n+1}$  и H;
2. Отщепление второго атома водорода с образованием двойной связи, образуется олефин  $C_nH_{2n}$ ;
3. Десорбция молекул водорода и олефина с поверхности катализатора.

#### 3.2 Кинетика и термодинамика процесса дегидрирования

Дегидрирование – химическая реакция отщепления водорода от углеводородов:



Сырьем процесса является фракция *n*-парафинов C10-C14, при этом смесь сырья преимущественно должна состоять только из углеводородов с разницей в 4 углеродный атома, например, C<sub>10</sub>-C<sub>13</sub> или C<sub>11</sub>-C<sub>14</sub>, так как при переработке фракции C<sub>10</sub>-C<sub>14</sub> количество побочных реакций гидрокрекинга значительно возрастает.

Помимо реакций дегидрирования в реакторе протекают побочные реакции (гидрокрекинг, реакции поликонденсации и уплотнения, образующие кокс). Схема превращения представлена на рисунке 15.

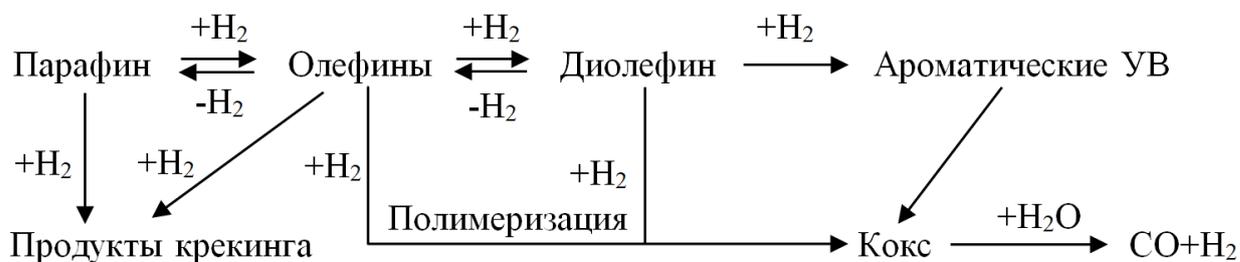


Рисунок 15 – Схема превращения парафинов в процессе дегидрирования

Вероятность реакций определяется значением термодинамического потенциала. Наиболее вероятные реакции, протекающие в процессе дегидрирования, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Средние значения термодинамических параметров реакций в процессе дегидрирования углеводородов  $C_9-C_{14}$  (при 753 К,  $P=0,2$  МПа)[12]

Реакция	$\Delta G_r$ , кДж/моль	$\Delta H_r$ , кДж/моль	$\Delta S$ , кДж/(моль·К)
1. Парафин $\rightleftharpoons$ Олефин-2(n) + $H_2$	-70,34	33,04	0,14
2. Олефин-2(n) $\rightleftharpoons$ Диолефин (сопр)+ $H_2$	-69,26	32,49	0,14
3. Парафин $\rightarrow$ арен + 4 $H_2$	-331,21	-58,68	0,36
4. Олефин $\rightarrow$ арен + 3 $H_2$	-289,29	-90,07	0,27
5. Диолефин $\rightarrow$ арен + 2 $H_2$	-251,07	-137,45	0,15
6. Парафин $\rightarrow$ продукты крекинга	-137,77	84,03	1,05
7. Олефин $\rightarrow$ продукты крекинга	-137,76	84,05	0,14
8. Арены $\rightarrow$ продукты коксообразования	-510,66	-425,15	0,56
9. Олефины $\rightarrow$ продукты коксообразования	-508,64	-423,12	0,56
10. Диолефины $\rightarrow$ продукты коксообразования	-509,35	-424,17	0,56

На рисунке показана схема реакций процесса дегидрирования парафинов с образованием *n*-моноолефинов. Помимо целевой реакции, также протекают побочные реакции: гидрокрекинга парафинов и олефинов с образованием легких углеводородов, коксообразование в результате реакций полимеризации олефинов, диолефинов и ароматики, последние образуются в результате реакций дегидроциклизации.

Коксообразование приводит к закоксовыванию катализатора и снижению его активности, поэтому в системе присутствует вода, которая окисляет кокс до CO и  $H_2$ .

### 3.3 Механизм коксообразования

Деактивация катализатора происходит главным образом из-за отложений кокса на его поверхности. Коксообразование происходит по

механизму поликонденсации и глубокому уплотнению с постоянным уменьшением содержания водорода.

Коксообразование происходит в следующей последовательности:

**Парафины → Олефины → Высокомолекулярные олефины и циклопарафины → Арены → Высокомолекулярные конденсированные углеводороды → Асфальтеноподобные конденсированные системы → Карбоиды → Кокс**

Процесс коксообразования можно характеризовать 2 стадиями: 1 стадия – протекание промежуточных реакций дегидрирования, изомеризации, дегидроциклизации и прочих; 2 стадия – реакции поликонденсации и полимеризации с образованием высокомолекулярных продуктов. Результатом коксообразования является образование высокомолекулярных ароматических углеводородов, которые откладываются на поверхности катализатора.

Коксообразование олефинов происходит в результате образования ароматических углеводородов, которые в дальнейшем присоединяются друг к другу, что вызывает рост полимера и образование самого кокса.

Отложение кокса с повышением температуры и с течением времени сопровождается уплотнением данных структур, то есть рост молекулярного веса, степени ароматичности и отношения атомов углерода к водороду в молекуле кокса. Это приводит к дальнейшей поликонденсации и полное закоксовывание поры катализатора.

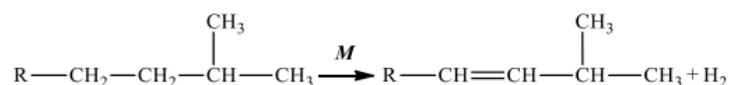
### **3.4 Механизм гидрокрекинга**

Реакции гидрокрекинга, происходящие в процессе дегидрирования на катализаторе, являются побочными реакция процесса и приводят к образованию легких углеводородов C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>.

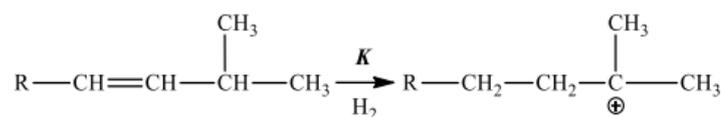
Данные реакции происходят, как правило, на кислотных центрах катализатора по следующему механизму: дегидрирование парафинов с образованием олефинов, которые в дальнейшем превращаются в карбокатионы (промежуточные углеводородные соединения, обладающее зарядом)

на кислотных центрах катализатора и инициируют цепной карбкатионный процесс [13]:

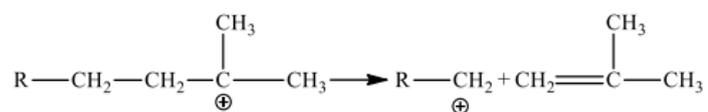
1) Образование олефина:



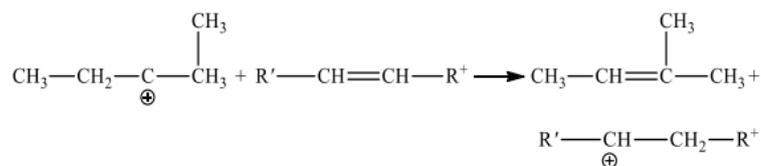
2) Образование третичного карбкатиона:



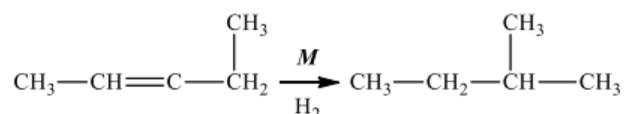
3) Крекинг на кислотном центре:



4) карбкатион реагирует с олефином:



5) Гидрирование олефина:



M – металлический центр; K – кислотный центр.

Олефиновые УВ, присутствующие в сырье и образующиеся в результате разложения, насыщаются  $\text{H}_2$ , молекулы которого активируются на поверхности катализатора, превращаясь в протон  $\text{H}^+$ . Олефины на кислотных центрах катализатора превращаются в карбкатионы и вступают в реакции, характерные для этих частиц.

Таким образом, главной причиной реакций гидрокрекинга является активность кислотных центров.

Вероятные реакции образования углеводородов  $\text{C}_1$ - $\text{C}_4$  в реакциях гидрокрекинга:

1. Парафины +  $\text{H}_2 \rightarrow$  продукты гидрокрекинга

2. Олефины + H<sub>2</sub> → продукты гидрокрекинга

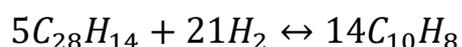
3. Диолефины + H<sub>2</sub> → продукты гидрокрекинга

Протекание данных реакций будет зависеть от значений термодинамических параметров ΔG<sub>r</sub>, ΔH, ΔS.

### **3.5 Механизм взаимодействия водорода с коксогенными структурами**

В процессе дегидрирования парафинов степень их превращения увеличивается с ростом температуры, но при этом происходит дезактивация катализатора и уменьшение его срока работы. Для обеспечения оптимальных значений степени превращения и срока работы катализатора в систему подается водородсодержащий газ (ВСГ), смешанный с сырьем в нормированном мольном соотношении. Наиболее оптимальным соотношением является 6÷7:1. Снижение этого соотношения при постоянном давлении в реакторе ведет к увеличению превращения *n*-алканов, при этом снижается нагрузка на компрессор. Однако снижение парциального давления водорода ведет к увеличению отложения кокса на катализаторе и снижению гарантированного срока службы. В течение всего цикла работы катализатора соотношение не меняется.

Водородсодержащий газ не дает образовываться коксообразным структурам в объеме реактора, уменьшает скорость коксообразования и способен частично гидрировать эти структуры на поверхности катализатора:



Поддержание мольного соотношения водород/сырье может обеспечить стабильную работу катализатора и уменьшить скорость его дезактивации.

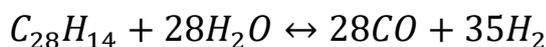
### **3.6 Механиз действия диминерализованной воды**

Существенным фактором для обеспечения эффективной работы катализатора является поддержание необходимой степени влажности газосырьевой смеси, входящей в реактор дегидрирования. Впрыскивание

деминерализованной воды производится для управления активностью катализатора и сроком его службы.

Благодаря присутствию молекул воды в смеси сырья, молекулы н-парафинов, адсорбировавшиеся и прореагировавшие на поверхности катализатора, вытесняются молекулами воды, тем самым предотвращая дальнейшее превращение парафинов в диолефины и ароматику.

Однако вода двояко влияет на катализатор, основные цели использования этой технологии – понижение интенсивности коксообразования и частичная деструкция образовавшегося кокса на поверхности катализатора:



Также вода может выступать как кислотный промотор, усиливающий кислотную активность каталитических центров, на которых происходят побочные реакции процесса дегидрирования.

### **3.6.1 Влияние молекул воды на катализатор дегидрирования**

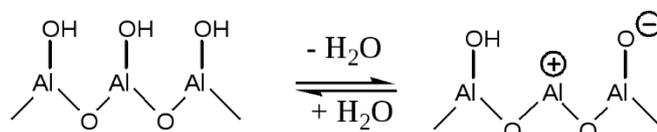
В производстве применяются платиновые катализаторы, которые в качестве носителя используют цеолит. Кислота Бренстеда – вещество, способное отдавать протон. Кислота Льюиса – вещество, способное принять пару электронов. В платиновом катализаторе льюисовским кислотным центром (ЛКЦ) является цеолит, а бренстедовским (БКЦ) – непосредственно платина. Вода же представляет собой молекулу, состоящую из  $H^+$  – ЛКЦ, и  $OH^-$  – БКЦ. Вода в данном случае является кислотным промотором, которая усиливает кислотные центры.

В процессе дегидрирования на платиновом катализаторе реакции протекают на активных центрах катализатора: побочные реакции протекают на кислотных центрах (гидрокрекинг, коксообразование), целевая и другие реакции (дальнейшее дегидрирование, дегидроциклизация). Из-за этих реакций катализатор должен быть подвергнут обработке: отравление

кислотных центров и селективное подавление особоактивных металлических центров.

Цеолитсодержащие катализаторы обладают высокой крекирующей активностью, обусловленной кислотностью цеолитов. По существующим данным, наблюдается, что за реакции крекинга отвечают в основном кислотные центры, то есть активные центры носителя – цеолита.

При температуре процесса дегидрирования 400 °С и выше молекулы цеолита  $\text{Al}_2\text{O}_3$  происходит дегидрокселирование, то есть гидроксильная группа  $-\text{OH}$  высвобождается с образованием молекул воды. Эта реакция приводит к образованию особо сильного кислотного центра [14]:



Для обеспечения селективного дегидрирования *n*-парафинов до *n*-моноолефинов необходимо регулировать силу и кислотность катализатора. Льюисовские центры катализатора могут отвечать за деструкцию алканов и реакции полимеризации олефинов до коксообразных структур.

Действие промоторов (элементы подгрупп меди, цинка, германия, фосфора, серы, галлия), как правило, связано с электронным модифицированием платины с целью повышения степени энергетической однородности ее поверхности и подавления наиболее сильных центров адсорбции ненасыщенных углеводородов [15]. Так, например, в исследовании [16] показано, что добавление щелочных и щелочноземельных металлов (K, Mg, In) вызывает увеличение срока службы катализатора и понижение отложений кокса, соответственно: 30 дней и 8 мас. % для Pt-Sn-Li /  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 37 дней и 7,9 мас. % для Pt-Sn-In-Fe /  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и 72 дня и 3,8 мас. % для катализатора Pt-Sn-K-Mg /  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

Таким образом, вода участвует в работе катализатора как агент, вытесняющий молекулы прореагировавших олефинов с поверхности катализатора, также помогает деструктировать образующийся кокс. Но также

молекулы воды могут занимать активные центры катализатора, тем самым активируя кислотные центры, что приводит к реакциям гидрокрекинга, потому избыток влажности в системе недопустим. Как было отмечено, цеолит при высоких температурах подвергаются отщеплению  $-OH$ , что также приводит к появлению сильных кислотных центров, поэтому недостаток влажности также нежелателен.

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Разработка НИ производится группой работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Данная выпускная квалификационная работа заключается в оптимизации режимов работы установки получения олефинов для уменьшения расхода водородсодержащего газа (ВСГ) и повышения производительности установки путем регулирования расхода воды с использованием математической модели.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности НИ, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки НИ;
2. Осуществить планирование этапов выполнения исследования;
3. Рассчитать бюджет затрат на исследования;
4. Произвести оценку научно-технического уровня исследования и оценку рисков.

### **5.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. Для данного проекта целевым рынком являются предприятия нефтехимической отрасли.

### **5.2 Анализ конкурентных технических решений**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку

сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>Е</sub>	К <sub>И</sub>	К <sub>В</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
2. Простота эксплуатации	0,08	5	5	4	0,4	0,4	0,32
3. Точность измерения	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
4. Универсальность метода	0,04	4	3	3	0,16	0,12	0,12
5. Энергоэкономичность	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
6. Надежность	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
7. Безопасность	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
8. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Цена	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
2. Конкурентоспособность	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>44</b>	<b>41</b>	<b>40</b>	<b>4,36</b>	<b>4,14</b>	<b>4,06</b>

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \times B_i \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность вида;

V<sub>i</sub>– вес критерия (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

### **5.3 SWOT-анализ**

SWOT представляет собой комплексный анализ инженерного проекта. SWOT-анализ применяют для того, чтобы перед организацией появилась отчетливая картина, состоящая из лучшей возможной информации и данных, а также сложилось понимание внешних сил, тенденций и подводных камней, в условиях которых научно-исследовательский проект будет реализовываться.

Сильные стороны – это факторы, которые положительно сказываются на развитии проекта. Сюда обычно включают все, что превращает функционирование в успешную и конкурентную работу.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта: тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

На первом этапе SWOT анализа в таблице 13 были описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы реализации НИ.

Таблица 13 – Матрица SWOT анализа

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1. Экономичность С2. Мобильность рабочего места С3. Экологичность технологии	В1. Использование математической модели для модернизации технологии дегидрирования парафинов В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт научных исследований В3. Переход нефтеперерабатывающей отрасли на ресурсосберегающие технологии
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1. Процесс долгого внедрения технологии в реализацию Сл2. Длительный анализ	У1. Введение дополнительных государственных требований к сертификации технологии У2. Переход на альтернативное топливо У3. Исчерпание природных ресурсов

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлена в табл. 14.

Таблица 14 - Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и возможностей

Возможности проекта	Сильные стороны			Слабые стороны	
		C1	C2	C3	Сл1
B1	0	0	+	+	0
B2	+	+	+	+	0
B3	+	-	+	+	+

Таблица 15 - Интерактивная матрица сильных сторон и слабых сторон и угроз

Угрозы проекта	Сильные стороны			Слабые стороны	
		C1	C2	C3	Сл1
У1	+	-	-	+	-
У2	+	-	-	+	+
У3	+	-	-	+	-

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей или слабых сторон и возможностей:

- B2B3C1; B1C2; B1B2B3C3

- B1B2B3Сл1; B3Сл2

- У1У2У3С1

- У1У2У3Сл1; У2Сл2

Наиболее значимой угрозой для проекта является повсеместный переход на альтернативное топливо, что приведет к оттоку финансирования и инвестирования в проекты по увеличению глубины переработки нефти.

Слабой стороной проекта является долгое осуществление оптимизации процесса дегидрирования парафинов, что влечет уменьшение мощности установки и уменьшение выхода целевого продукта.

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 15.

Таблица 15 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Экономичность С2. Мобильность рабочего места С3. Экологичность технологии	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Процесс долгого внедрения технологии в реализацию Сл2. Длительный анализ
Возможности: В1. Использование математической модели для модернизации технологии дегидрирования парафинов В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт научных исследований В3. Переход нефтеперерабатывающей отрасли на ресурсосберегающие технологии	Оптимизация процесса дегидрирования парафинов позволит уменьшить затраты на ВСГ, что способствует более широкому распространению технологии получения поверхностно-активных веществ на основе линейных алкилбензолов, которые являются наиболее экологичным сырьем	Изменение технологических параметров промышленных установок влечет возможные потери мощностей производства, а также результаты НИ проекта могут негативно сказаться с течением времени на установку получения олефинов
Угрозы: У1. Введение дополнительных государственных требований к сертификации технологии У2. Переход на альтернативное топливо У3. Исчерпание природных ресурсов	Экономичность и экологичность разработки обеспечивают необходимый уровень конкурентоспособности данного продукта	Временное снижение мощности производства негативно отражается на конкурентоспособности НИ проекта и внедрении технологии в повсеместную практику. Анализ, который будет производиться в течении года (продолжительность цикла работы установки), негативно отразится на актуальность проекта и релевантность проекта.

## **5.4 Планирование работ по научно-техническому исследованию**

### **5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Выбор темы ВКР	Руководитель, Бакалавр
Выбор направления исследований	2	Составление и утверждение плана работ	Руководитель
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, Бакалавр
	5	Календарное планирование работ	Руководитель, Бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Литературный обзор	Бакалавр
	7	Работа с моделью технологического процесса	Бакалавр
	8	Анализ экспериментальных данных	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	9	Обсуждение результатов и оценка эффективности проведенных исследований	Руководитель, Бакалавр
Разработка технической документации и проектирование	10	Написание раздела «Финансовый менеджмент»	Бакалавр
	11	Написание раздела «Социальная ответственность»	Бакалавр
Оформление отчета по НИР	12	Составление пояснительной записки	Бакалавр

#### 4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, который

зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.2)$$

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

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

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i}, \quad (4.3)$$

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

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

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

#### 4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

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

Для удобства построение графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.4)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})}, \quad (4.5)$$

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

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

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

Расчет коэффициента календарности:

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

Составлен план научного исследования, в котором разработан календарный план выполнения работ. Для построения таблицы временных показателей проведения НИ был рассчитан коэффициент календарности. С помощью показателей в табл. 18 был разработан календарный план-график проведения НИ по теме. Для иллюстрации календарного плана была использована диаграмма Ганта, указывающая на целесообразность проведения данного исследования.

 – научный руководитель  
 – студент

Таблица 17 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях, $T_{ki}$
	$T_{min}$ , чел–дни	$T_{max}$ , чел–дни	$T_{ож}$ , чел– дни			
Выбор темы ВКР	1	2	1,4	Студент, научный руководитель	1	1
Составление и утверждение плана работ	1	2	1,4	Научный руководитель	1	1
Подбор и изучение материалов по теме	2	3	2,4	Студент	2	3
Выбор направления исследования	1	2	1,4	Студент, научный руководитель	1	1
Календарное планирование работ	1	3	1,8	Студент, научный руководитель	1	1
Литературный обзор	20	25	22	Студент	22	33
Работа с моделью технологического процесса	24	28	25,6	Студент	26	38
Анализ экспериментальных данных	10	12	10,8	Студент	11	16
Обсуждение результатов и оценка эффективности проведенных исследований	8	10	8,8	Студент, научный руководитель	4	6
Написание раздела «Финансовый менеджмент»	4	6	4,8	Студент	5	7
Написание раздела «Социальная ответственность»	2	3	2,4	Студент	2	3
Оформление ВКР	10	14	11,6	Студент	12	18

Таблица 18 – Календарный план-график проведения научного исследования

№	Вид работ	Исполнители	Т <sub>кi</sub> , кал. дней	Продолжительность выполнения работ													
				январь			февраль			март			апрель			май	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Выбор темы ВКР	Ст, НР	1	■													
2	Составление и утверждение плана работ	НР	1		■												
3	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	3		■	■											
4	Выбор направления исследования	Ст, НР	1			■											
5	Календарное планирование работ	Ст, НР	1			■											
6	Литературный обзор	Ст	33				■	■	■	■	■	■	■	■	■		
7	Работа с моделью технологического процесса	Ст	38							■	■	■	■	■	■		
8	Анализ экспериментальных данных	Ст	16										■	■	■	■	
9	Обсуждение результатов и оценка эффективности проведенных исследований	Ст, НР	6													■	■
10	Написание раздела «Финансовый менеджмент»	Ст	5														■
11	Написание раздела «Социальная ответственность»	Ст	1														■
12	Оформление ВКР	Ст	5														

## 5.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

1. Материальные затраты.
2. Затраты на спецоборудование
3. Основная и дополнительная ЗП.
4. Социальные отчисления.
4. Прямые затраты.
5. Накладные расходы.

### 5.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

При планировании бюджета научно-техническое исследование должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (4.6)$$

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

$N_{\text{расх}i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 19 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З <sub>М</sub> ), руб.
Электроэнергия	кВт*ч	250	3,85	962,5
Итого, руб.				962,5

Общие материальные затраты составили 962,5 руб.

### 5.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Расчет затрат по данной статье представлен в таблице 20.

Таблица 20 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., тыс. руб.	Затраты на материалы, (Зм), тыс. руб.
Ноутбук для работ в моделирующей программе, описывающей процесс дегидрирования высших парафинов	Шт.	1	40	60
Итого:				60

### 5.5.3 Основная заработная плата исполнителя темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приводится в таблице 21.

Таблица 21 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудовое количество, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел-дн.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Выбор темы ВКР	Ст, НР	1	5,1	5,1
2	Составление и утверждение плана работ	НР	1	3,1	3,1
3	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	2	2	4
4	Выбор направления исследования	Ст, НР	1	5,1	5,1
5	Календарное планирование работ	Ст, НР	1	5,1	5,1
6	Литературный обзор	Ст	22	2	44
7	Работа с моделью технологического процесса	Ст	26	2	52
8	Анализ экспериментальных данных	Ст	11	2	22
9	Обсуждение результатов и оценка эффективности проведенных исследований	Ст, НР	4	5,1	20,4
10	Написание раздела «Финансовый менеджмент»	Ст	5	2	10
11	Написание раздела «Социальная ответственность»	Ст	2	2	4
12	Оформление ВКР	Ст	12	2	24
Итого					198,8

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату и рассчитывается по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.7)$$

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

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

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (4.8)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (4.9)$$

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 22 – Баланс рабочего времени

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

Месячный должностной оклад работника (руководителя):

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (4.10)$$

где  $Z_{TC}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 процентов от  $Z_{TC}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

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

Тарифная заработная плата  $Z_{TC}$  находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда  $Tc_1 = 600$  руб. на тарифный коэффициент  $k_T$  и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке.

Тарифный коэффициент для НР = 1,866; для С = 1,407.

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 23.

Таблица 23 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	$k_T$	$Z_{TC}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_M$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Научный руководитель	Профессор	1,866	34000	0,3	0,4	1,3	75140	3927	8	31416
Студент	Инженер	1,407	2000	0,3	0,2	1,3	4420	263	80	23144
Итого										54290

#### 5.5.4 Расчет дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата учитывает величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением

гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (4.11)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый на стадии проектирования за 0,15.

### 5.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (4.12)$$

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	31416	4712,4
Студент	23144	3471,6
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302	
Итого	18867,15	

### 5.5.6 Накладные расходы

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

$$Z_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{\text{нр}} \quad (4.13)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Накладные расходы составили:

$$Z_{\text{накл}} = (962,5 + 60000 + 31416 + 23144 + 4712,4 + 3417,6 + 18867,5) \cdot 0,16 = 22803,14 \text{ руб.}$$

### 5.5.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 25.

Таблица 25 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	962,5	Пункт 4.5.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	60000	Пункт 4.5.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	54560	Пункт 4.5.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	8130	Пункт 4.5.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	18867,15	Пункт 4.5.5
6. Затраты на научные и производственные командировки	–	Отсутствуют
7. Контрагентские расходы	–	Отсутствуют
8. Накладные расходы	22803,14	Пункт 4.5.6
9. Бюджет затрат НИИ	165322,79	

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (4.14)$$

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

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$\text{Для нашей разработки: } I_{\text{фин.р}}^{\text{исп1}} = \frac{165322,79}{201920,20} = 0,819;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп2}} = \frac{185451,10}{201920,20} = 0,918;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп3}} = \frac{201920,20}{201920,20} = 1$$

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

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i \quad (4.15)$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

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

$n$  – число параметров сравнения.

Таблица 26 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Повышение производительности труда пользователя	0,2	4	4	4
2. Простота эксплуатации	0,08	5	5	3
3. Точность измерения	0,08	5	4	5
4. Универсальность метода	0,04	4	3	4
5. Энергоэкономичность	0,1	5	4	4
6. Надежность	0,1	4	3	3
7. Безопасность	0,1	4	4	5
8. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,1	3	4	4
9. Цена	0,1	5	5	4
10. Конкурентоспособность	0,1	5	4	5
Итого	1	4,36	4,04	4,1

$$I_{p-исп1} = 0,2 \cdot 4 + 0,08 \cdot 5 + 0,08 \cdot 5 + 0,04 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 = 4,36;$$

$$I_{p-исп2} = 0,2 \cdot 4 + 0,08 \cdot 5 + 0,08 \cdot 4 + 0,04 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 = 4,04;$$

$$I_{p-исп3} = 0,2 \cdot 4 + 0,08 \cdot 3 + 0,08 \cdot 5 + 0,04 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,1.$$

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

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{фин.р}^{исп1}} = \frac{4,36}{0,819} = 5,32$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{фин.р}^{исп2}} = \frac{4,04}{0,918} = 4,4;$$

$$I_{исп3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{фин.р}^{исп3}} = \frac{4,1}{1} = 4,1.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

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

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп1}}} \quad (4.16)$$

Таблица 27 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,819	0,918	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,36	4,04	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	5,32	4,4	4,1
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,827	0,771

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

## 6 Социальная ответственность

### 6.1 Характеристика опасных факторов объекта исследования

Постоянные рабочие места установки должны соответствовать требованиям действующих федеральных санитарных правил, норм и гигиеническим нормативам.

#### Химические факторы производственной среды

Основные характеристики взрыво-, пожароопасных и токсических свойств сырья, материалов и продуктов производства олефинов представлены в табл.28 [20].

Таблица 28 – Характеристика свойств сырья, материалов и продуктов

Наименование сырья, материалов, реагентов, катализаторов, полуфабрикатов, готовой продукции, отходов производства	Класс опасности (ГОСТ 12.1.007)	Агрегатное состояние при нормальных условиях	Температура, °С			ПДК в воздухе рабочей зоны производственных помещений ГН 2.2.5.1313-03, мг/м <sup>3</sup>	Характеристика токсичности (воздействие на организм человека)
			кипения	плавления	самовоспламенения		
Фракция <i>n</i> -парафинов С10-С13, рециркулирующие парафины	4	Жидкость	150-260	-	228	900/300 (по алифатическим предельным углеводородам С1 -С10 (в пересчёте на С за исключение метана)).	Оказывает наркотическое действие. Вызывает раздражение слизистой оболочки верхних дыхательных путей, оболочки глаз, кожных покровов; возможны потеря обоняния, аппетита.
Моноолефины в смеси с <i>n</i> -парафинами	4	Жидкость	-	-	228		
Лёгкая фракция Пакол	4	Жидкость	-	-	237		
Алюмоплатиновый катализатор	3	Твердое	-	-	-	1,5	Наиболее выражен сенсibilизирующий эффект (астматическое дыхание с одышкой, кашель, светобоязнь, насморк, покраснение и шелушение кожи).
ВСГ	-	Газ	минус 252,8 (по Н2)	-	510	900/300 (по бутану)	При высоких концентрациях вызывает удушье вследствие недостатка кислорода

## **Физические факторы производственной среды**

Уровень шума на рабочих местах должен соответствовать требованиям ГОСТ 2.1.003-83 и санитарным нормам СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых общественных зданий и на территории жилой застройки". Эквивалентный уровень звука не должен превышать: операторная – 65 дБА; насосные, аппаратный двор – 80 дБА; помещение для размещения шумных агрегатов вычислительных машин – 75 дБА.

Вибрация, воздействующая на человека при переработке нефти, не должна превышать норм согласно требованиям ГОСТ 12.1.012-2004 и СН 2.2.4/2.1.8.566-96 "Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и производственных зданий". Предельно-допустимые значения уровня вибрации рабочих мест составляет 92 дБ.

Для исключения возможности возникновения взрывов, пожаров, ожогов, отравлений или удушья персонала, загрязнения окружающей среды необходимо:

- соблюдение норм технологического режима;
- соблюдение требований промышленной безопасности при подготовке и проведению предупредительного и планового ремонта оборудования;
- обеспечение исправного состояния и бесперебойной работы контрольно-измерительных приборов, систем автоматизации, сигнализации и блокировок;
- системы производственной вентиляции и противопожарной защиты;
- обеспечение герметичности оборудования, трубопроводов, арматуры;
- наличие заземления электрооборудования, аппаратов и трубопроводов;
- осуществление ежесменного контроля над состоянием оборудования и трубопроводов.

## Средства защиты

Процессы, протекающие на установке, связаны с переработкой нефтепродуктов и относятся к процессам с вредными условиями для здоровья обслуживающего персонала

Для предотвращения несчастных случаев, заболеваний и отравлений, связанных с производством, весь обслуживающий персонал обеспечивается следующими средствами защиты:

- защитная рабочая одежда и обувь;
- не промокающие перчатки для нефтепродуктов;
- защитные очки и маски;
- защитные шлем-маски;
- средства для защиты дыхательных органов: фильтрующие противогазы марки "БКФ".

Кроме того, установка комплектуется шланговыми противогазами с комплектом масок, спасательными поясами и веревкой, медицинской аптечкой с необходимым набором медикаментов для оказания первой помощи.

В целях коллективной защиты работающих от воздействия опасных и вредных производственных факторов проектом предусмотрена комплексная автоматизация процесса с выносом на щит всех параметров, характеризующих безопасную работу оборудования. Все объекты предприятия оснащены автоматической системой звукового оповещения в случае возникновения внештатных ситуаций.

Также на предприятии, кроме охраны жизни и здоровья персонала, предусмотрены мероприятия по охране окружающей среды. Так, например, на каждом объекте проводится контроль содержания в воздухе паров вредных веществ и их соответствия ПДК. Проводятся мероприятия по предупреждению ситуаций, которые могут повлечь за собой выбросы вредных веществ в атмосферу [21].

## 6.2 Производственная безопасность

Эксплуатация объекта исследования осуществляется инженерами в производственном помещении. Перечень опасных и вредных факторов, присутствующих при выполнении исследования, представлен в таблице 5.1. Факторы идентифицировали ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

### 6.2.1 Анализ потенциально опасных и вредных производственных факторов

Рассматриваемый процесс подразумевает использование различных установок, таких как реакторы трубчатого и колонного типов, сепараторы, испаритель. С точки зрения социальной ответственности целесообразно рассмотреть вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при работе на данном производстве.

Таблица 29 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания		+	+	ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
2. Повышенные уровни шума и вибрации		+	+	ГОСТ 12.1.003-2014. Система безопасности труда. Шум. Общие требования ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования
3. Производственные факторы, связанные со световой средой	+	+	+	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение
4. Производственные факторы, связанные с микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего	+	+	+	СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания

## Продолжение таблицы 29

5. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов		+	+	ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
6. Производственные факторы, связанные с электрическим током		+	+	ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность Общие требования и номенклатура видов защиты.
7.Пожаровзрыво-опасность		+	+	ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.010-76. Взрывобезопасность. Общие требования.

### **6.2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов**

При работе на химическом производстве основным источником потенциально вредных и опасных факторов производства являются аппараты химической технологии.

#### **1 Производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания**

При работе компьютера основным источником шумов является системный блок. Длительное воздействие шума снижает остроту слуха и зрения, повышает кровяное давление, утомляет центральную нервную систему, в результате чего ослабляется внимание, увеличивается количество ошибок в действиях рабочего, снижается производительность труда. Воздействие шума приводит к появлению профессиональных заболеваний и может явиться причиной несчастного случая.

Органы слуха человека воспринимают звуковые колебания с частотой 16–25000 Гц. Колебания с частотой ниже 20 Гц (инфразвук) и выше 20000 Гц (ультразвук) не вызывают слуховых ощущений, но оказывают биологическое воздействие на организм. Гигиенические нормативы шума определены [22, 23].

Для снижения шума в помещениях проводятся следующие основные мероприятия:

- уменьшение уровня шума в источнике его возникновения;
- звукопоглощение и звукоизоляция;
- установка глушителей шума;
- рациональное размещение оборудования.

Дополнительными факторами риска для работающих за компьютером являются напряжение опорно-двигательной системы, это создает большую статическую нагрузку на позвоночник и некоторые группы мышц, а также приводит к нарушениям нормального кровообращения в конечностях и области таза.

Поскольку основным каналом получения информации от ПК является монитор, то неизбежно увеличивается нагрузка на зрительную систему.

Ведущими компонентами трудового процесса при работе на компьютере служат однообразные многократно повторяющиеся нагрузки на верхние конечности и постоянное зрительное напряжение, особенно при необходимости моторно-зрительной координации, а также нервно-эмоциональное напряжение, стрессы, связанные с ответственностью за решение выполняемых задач.

## **2 Повышенные уровни шума и вибраций**

Уровень шума на рабочих местах должен соответствовать требованиям ГОСТ 2.1.003-83 и санитарным нормам СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых общественных зданий и на территории жилой застройки". Эквивалентный уровень звука не должен превышать: операторная – 68 дБА; насосные, аппаратный двор – 80 дБА; помещение для размещения шумных агрегатов вычислительных машин – 75 дБА.

Вибрация, воздействующая на человека при переработке нефти, не должна превышать норм согласно требованиям ГОСТ 12.1.012-2004 и СН 2.2.4/2.1.8.566-96 "Производственная вибрация, вибрация в помещениях

жилых и производственных зданий". Предельно-допустимые значения уровня вибрации рабочих мест составляет 92 дБ.

### **3 Производственные факторы, связанные со световой средой**

Плохое освещение негативно воздействует на зрение, приводит к быстрому утомлению, снижает работоспособность, вызывает дискомфорт, является причиной головной боли и бессонницы

В производственном помещении используется совмещенное освещение рабочей зоны, представляющее собой совокупность естественного и искусственного освещения. При работе наряду с общим искусственным освещением использовалось местное освещение. Естественное освещение – одностороннее боковое; искусственное – общее равномерное. Источники света – люминесцентные лампы. Нормирование искусственного освещения производится в единицах освещённости – люксах (лк)

Для работ на производстве, не требующих высокого зрительного напряжения, а лишь общего наблюдения, освещенность составляет  $[20 \div 50]$  лк. Для работ в лаборатории потребуется  $[150 \div 200]$  лк. Рекомендуемая освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа, а также при работе на персональном компьютере, составляет  $[300 \div 500]$  лк. При недостаточности общего освещения допускается установка светильников местного освещения для подсвета документов. Условия труда по световому фактору соответствуют СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.

### **4 Производственные факторы, связанные с микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего**

Микроклимат производственных помещений – это метеорологические условия внутренней среды этих помещений, определяющиеся такими факторами, как температура, влажность и скорость движения воздуха, температура окружающих поверхностей.

Влияние на человека неблагоприятных метеорологических условий в течение длительного времени в резкой форме ухудшают его состояние здоровья, снижают продуктивность и приводят к болезням. Повышенная температура воздуха приводит к скорой утомляемости служащего, также приводит к перегреву организма, тепловому удару или профзаболеванию. Пониженная температура окружающей среды работника может вызвать охлаждение организма, вызвать простуду или обморожение [24].

Влажность воздуха сильно воздействует на терморегуляцию организма человека. Повышенная влажность и повышенная температура воздуха приводит к перегреванию организма, а при пониженной температуре повышенная влажность увеличивает теплопередачу с поверхности кожи, что приводит к переохлаждению организма. Пониженная влажность способствует пересыханию слизистых оболочек служащего.

Согласно [25] рабочее помещение для категории тяжести работ 1а (энергозатраты до 139 Вт) температура воздуха должна быть в холодный период года не более 22-24 °С, в теплый период года 20-25 °С. Относительная влажность должна составлять 40-60 %, скорость движения воздуха — 0,1 м/с. Для поддержания оптимальных значений микроклимата используется система отопления и кондиционирования воздуха. Для повышения влажности воздуха в помещении применяются увлажнители воздуха с дистиллированной или кипяченой питьевой водой.

Ионный состав воздуха должен содержать следующее количество отрицательных и положительных аэроионов; минимально необходимый уровень 600 и 400 ионов в 1 см<sup>3</sup> воздуха; оптимальный уровень 3000-5000 и 1500-3000 ионов в 1 см<sup>3</sup> воздуха; максимально допустимый – 50000 ионов в 1 см<sup>3</sup> воздуха [27].

## **5 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов**

Для защиты персонала от нагретых частей производства предусмотрены средства коллективной защиты (СКЗ) и средства индивидуальной защиты (СИЗ).

Основные мероприятия, направленные на защиту персонала: обеспечение недоступности нагреваемых поверхностей, теплоизоляция рабочих поверхностей от источников теплового излучения, экранирование источников или рабочих мест.

Средства защиты от термического воздействия должны обеспечивать тепловую облучённость на рабочих местах не более  $0,35 \text{ кВт/м}^2$ , температуру поверхности оборудования не более  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  при температуре внутри источника тепла до  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $45 \text{ }^\circ\text{C}$  при температуре внутри источника тепла более  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В качестве средств индивидуальной защиты используется теплозащитная одежда из хлопчатобумажной, льняной и грубой ткани. Для работы в экстремальных условиях (тушение пожаров и др.) используются костюмы с повышенными теплозащитными свойствами.

## **6 Производственные факторы, связанные с электрическим током**

Основными непосредственными причинами электротравматизма являются использование электроустановок, непринятых в эксплуатацию; несвоевременная замена неисправного или устаревшего оборудования, несоблюдение технических мероприятий безопасности при эксплуатации электроустановок, невыполнение или неправильное выполнение организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность производства работ; допуск к работе лиц, имеющих медицинские противопоказания; игнорирование правил безопасности квалифицированным персоналом.

Основными техническими средствами защиты являются изолирующие штанги, электроизмерительные клещи, указатели напряжения, диэлектрические перчатки, инструменты с изолирующим покрытием,

диэлектрическая обувь, сигнализаторы напряжения, плакаты и знаки безопасности.

Электробезопасность на предприятии регулируется по ГОСТ Р 12.1.019-2017 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

На производстве большинство строений и оборудования состоят из железных конструкций, для предотвращения чрезвычайных происшествий, выполняем ряд мероприятий, а именно:

- прямых ударов молний, корпуса аппаратов, установок и трубопроводов обеспечиваются строжневыми и тросовыми молниеотводами;
- от электростатической индукции и статического электричества осуществляется путем заземления.
- оградить место выполнения работ и указать его плакатами безопасности, обозначить места, приближение к которым несет угрозу воздействия электричеством.

Одним из факторов электробезопасности является соблюдение целостности изоляции проводов, используемых для работы датчиков автоматического контроля

Условия труда по электробезопасности соответствуют ГОСТ Р 12.1.019-2017 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

## **7 Пожаровзрывобезопасность**

По пожарной и взрывопожарной опасности помещения производственного и складского назначения независимо от их функционального назначения подразделяются на следующие категории:

- повышенная взрывопожароопасность (А);
- взрывопожароопасность (Б);
- пожароопасность (В1 - В4);
- умеренная пожароопасность (Г);

– пониженная пожароопасность (Д).

Служебные, складские, вспомогательные здания и складские помещения и прилегающая территория должна содержаться в чистоте.

Все служебные, складские, вспомогательные здания и складские помещения, производственные помещения должны обеспечиваться первичными средствами пожаротушения (огнетушители, асбестовые полотнища, песок) в соответствии с «Правилами пожарной безопасности при эксплуатации предприятий химической промышленности».

В других помещениях предусматриваются тушение пожара с помощью противопожарного гидранта. Обеспечение систем пожаротушения пеной и водой производится из насосной пожаротушения и запас воды в резервуарах.

Для данной работы помещение является взрывопожароопасным (категория Б). К категории Б относятся помещения, в которых находятся (обращаются) горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 градусов Цельсия, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 килопаскалей. Условия труда по взрывопожароопасности являются допустимыми по ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.010-76. Взрывобезопасность. Общие требования.

### **6.3 Экологическая безопасность**

Работа установки связана с образованием и выбросом загрязняющих веществ в атмосферу. Выбросы установки делятся на организованные и неорганизованные. К организованным выбросам относятся выбросы от дымовой трубы и факела. К неорганизованным выбросам относятся выбросы через неплотности аппаратов, запорной, регулирующей и предохранительной арматуры, фланцевых соединений, уплотнений и т.д.

Установка располагается на открытой площадке, где основным источником атмосферных выбросов являются печи (оксиды и диоксиды

углерода, азота, серы, метан и др.) К неорганизованным выбросам относят смеси предельных углеводородов  $C_1-C_5$ ,  $C_6-C_{10}$  и  $C_{12}-C_{19}$ .

Твердым отходом установки является отработанный платиносодержащий катализатор дегидрирования. Его отгружают в бочки ( $V=200$  л) и направляют на переработку для извлечения платины.

Основными средствами защиты природной среды от вредных воздействий является строгое соблюдение технологических регламентов, технологической дисциплины, герметизация оборудования, применение эффективных уплотнений для насосов и фланцевых соединений [28].

#### **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

К чрезвычайным ситуациям, которые может инициировать объект исследования, относят:

- производственные аварии (пожары, взрывы, выбросы вредных веществ);
- стихийные бедствия (наводнения, землетрясения, эпидемии и т.п.);
- социальные конфликты (терроризм, применение оружия массового поражения).

К наиболее частым и типичным авариям на предприятиях, классифицируемым как техногенные ЧС, относятся пожары, взрывы ёмкостей с горючими газами или жидкостями, разрушение и взрывы технологического оборудования, обрушение строительных конструкций, прорывы трубопроводов с газом, нефтью, ХОВ и другими продуктами, разрушение гидротехнических сооружений.

Для ликвидации аварии разрабатываются планы, в которых предусматриваются мероприятия, направленные на спасение людей, ликвидации аварий.

Важнейшими профилактическими мероприятиями являются:

- систематическая диагностика оборудования;
- обслуживание и ремонт вентиляции и осветительных приборов;
- наличие современных сигнализаций и приборов контроля

- систематический инструктаж персонала;
- планы поддержания рабочего состояния производственного помещения после чрезвычайной ситуации или катастрофы.

- запрещение курения и разведения огня в пожароопасных и взрывоопасных помещениях.

В случае возникновения пожара на территории предприятия действия всех работников должны быть направлены на немедленное сообщение о нем в пожарную охрану, обеспечение безопасности людей и их эвакуации, а также тушение возникшего пожара. Для оповещения людей о пожаре должны использоваться тревожные или звуковые сигналы.

Каждый работник, обнаруживший пожар обязан:

- немедленно сообщить об этом по телефону «01» в пожарную охрану;
- дать сигнал тревоги добровольной пожарной дружине, сообщить руководителю (генеральному директору, начальнику цеха, заведующей магазином и т.п.) или его заместителю о пожаре;
- принять меры по организации эвакуации людей (эвакуацию начинать из помещения, где возник пожар, а также из помещений, которым угрожает опасность распространения огня и дыма);
- одновременно с эвакуацией людей, приступить к тушению пожара своими силами и имеющимися средствами пожаротушения (огнетушители, вода, песок и т.п.);
- в случае угрозы жизни людей организовать их спасение;
- при необходимости отключить электроэнергию, остановить работу транспортирующих устройств и агрегатов, выполнить другие мероприятия, способствующие предотвращению развития пожара и задымления помещений здания;
- прекратить все работы в здании, кроме работ, связанных с мероприятиями по ликвидации пожара;
- удалить за пределы опасной зоны всех посетителей и работников, не участвующих в тушении пожара;

- обеспечить соблюдение требований безопасности работниками, участвующими в тушении пожара, от возможных обрушений конструкций, поражения электрическим током, отравления дымом, ожогов;
- одновременно с тушением пожара организовать эвакуацию и защиту материальных ценностей.

### **6.5 Правовые вопросы обеспечения безопасности**

При выполнении научно-исследовательской работы необходимо следовать требованиям трудового кодекса РФ. Трудовой кодекс РФ предусматривает обеспечение права каждого работника на справедливые условия труда, в том числе на условия труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены, права на отдых, включая ограничение рабочего времени, предоставление ежедневного отдыха, выходных и нерабочих праздничных дней, оплачиваемого ежегодного отпуска [34,35].

Согласно [36], необходимо проводить обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические медицинские осмотры (обследования) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

Согласно [37] необходимо использовать средства индивидуальной защиты. Во избежание несчастных случаев, следует проводить обучение и проверять знания работников.

## Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе была оценена целесообразности снижения мольного соотношения водорода к сырью с целью экономии водорода для его дальнейшего использования в качестве товарного продукта. Для этого были проведены расчеты с помощью математической модели процесса получения олефинов, проведены термодинамические расчеты параметров реакций гидрокрекинга и выполнена корректировка математической модели процесса дегидрирования n-парафинов.

Также был проведен мониторинг промышленной установки получения олефинов на нефтеперерабатывающем заводе ООО «КИНЕФ», который показал нынешние тенденции влияния технологических параметров на выход олефинов и на процесс коксообразования.

На основе решения обратной кинетической задачи были уточнены константы скоростей химических реакций; детализировано описание влияния воды на активные центры катализатора кислотного типа, а также на реакции коксообразования.

После проверки адекватности измененной модели, были проведены прогнозныe расчеты по уменьшению расхода водорода и увеличению расхода воды с целью определения эффективности экономии водорода. Согласно данным расчетам, уменьшение мольного соотношения  $H_2$ /сырье можно добиться увеличения выхода олефинов на 7 %, а объем сэкономленного водорода может достигать 500 тыс. м<sup>3</sup> за весь цикл работы катализатора.

Прогнозирование работы катализатора при мольном соотношении водорода к сырью 6,3:1 и увеличенным расходом воды показал, что срок работы катализатора будет составлять 280 суток при постоянном поддержании выхода олефинов 9,2 %.

## Список используемых источников

1. Ахметов С.А. Технология переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов / С.А. Ахметов. – Уфа: Гилем, 2012. 672 с
2. Мейерс Р.А. (ред.) Основные процессы нефтепереработки. Справочник: пер. с англ. 3-го изд. [Электронный ресурс] / Р.А. Мейерс и др. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2011. – 944 с.
3. Sheet H. F. Hydrogen Production–Steam Methane Reforming (SMR) //New York State Energy Res. Dev. Authority New York. – 2005.
4. Ивашкина Е.Н. Создание и применение моделирующих систем многостадийных нефтехимических процессов в промышленных реакторах // Диссертация на соискание уч. степени доктора технических наук: 05.17.08 // Е.Н.Ивашкина. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск. – 2012. – 408 с.
5. Гайле А.А., Богомолов А.И., Громова В.В. Химия нефти и газа: учеб. пособие для вузов. СПб: Химия, 1995. 446 с.
6. Азев В.С. Влияние соединений серы на противоизносные свойства дизельных топлив / В.С. Азев, А.В. Середа. – Москва: Изд-во ТУМА ГРУПП, 2009. – с.23-27.
7. Орочко Д.И. Гидрогенизационные процессы в нефтепереработке / Д.И. Орочко, А.Д. Сулим, Л.Н. Осипов. - Москва: Изд-во Химия, 1971. – 352с.
8. Попов С.Н. Химия нефти и газа / С.Н. Попов. – Львов: Изд-во Львовского университета, 1960. – 376с.
9. Баннов П.Г. Технология переработки нефти / П.Г. Баннов. – Москва: Издво ЦНИИТЭнефтехим, 2000. – 224с
10. Развитие водородной энергетики в России: новая энергополитика // Деловой профиль. URL:<https://delprof.ru/press-center/open-analytics/razvitiye-vodorodnoy-energetiki-v-rossii-novaya-energopolitika/> (Дата обращения: 13.03.2022).

11. Митрова Т. и др. Водородная экономика-путь к низкоуглеродному развитию // Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО. Июнь. – 2019.
12. Францина Е.В. Прогнозирование работы промышленного реактора дегидрирования высших алканов с использованием нестационарной кинетической модели // Диссертация на соискание уч. степени кандидата химических наук: 02.00.13 // Е.В. Францина. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск. – 2011. – 155 с.
13. Белинская Н.С. Совершенствование работы сопряженной системы «реактор – колонна стабилизации» процесса каталитической депарафинизации дизельных фракций нефти методом математического моделирования: дисс. ...канд. техн. наук. – Томск, 2015. – 170 с.
14. Кислотные и основные катализаторы // Лекции по ОХТ РХТУ им. Д.И. Менделеева. URL: <https://studfile.net/preview/584714/> (Дата обращения: 15.03.2022).
15. Кравцов А. В. и др. IT-технологии в решении проблем промышленного процесса дегидрирования высших парафинов // Томск: СТТ. – 2008. – Т. 230.
16. Заявка ФРГ №2541831
17. Пат. 2243028 (RU) Реактор для каталитического дегидрирования углеводородов / Котельников Г.Р.; Комаров С.М.; Сиднев В.Б.; Марушак Г.М.; Горшков В.К.; 2004.
18. Пат. 2188069 (RU) Реактор для каталитического дегидрирования углеводородов / Котельников Г.Р.; Марушак Г.М.; Кузьменко В.В.; Горшков В.К.; Комаров С.М.; Сиднев В.Б., 2002.
19. Ивашкина Е. Н. Моделирование процесса получения Н-моноолефинов путем дегидрирования высших парафинов С9-С14 на промышленной установке : дис. – 2007.

20. ГН 2.2.5.686-98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы.
21. Крепша Н.В., Свиридов Ю.Ф. Безопасность жизнедеятельности: Учеб.– метод. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. - 144 с.
22. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
23. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
24. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
25. СанПиН 2.2.2.542-96. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
26. СанПиН 2.2.4.1294-03. Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений.
27. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
28. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
29. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий.
30. ГОСТ 12.1.019-79. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
31. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности № 123-ФЗ.
32. ГОСТ Р 22.0.02 – 94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.
33. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.12.2015).
34. Генеральное соглашение между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации на 2014 – 2016 годы.
35. Приказ от 12 апреля 2011 г. N 302.

36. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.