

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

Институт природных ресурсов

Направление подготовки – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Кафедра – Химической технологии топлива и химической кибернетики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Оптимизация режимов работы промышленной установки получения олефинов УДК 661.715.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К21	Фефелова Ксения Олеговна		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечина А.А.	Доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ахмеджанов Р.Р.	д.б.н., профессор		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Е.М.	к.т.н., доцент		

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



Институт природных ресурсов
Направление подготовки – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
Кафедра – Химической технологии топлива и химической кибернетики

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ХТТ и ХК, к.т.н., доцент
_____ Юрьев Е.М.

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
2К21	Фефеловой Ксении Олеговне

Тема работы:

Оптимизация режимов работы промышленной установки получения олефинов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1) Данные с установки дегидрирования ООО «КИНЕФ» за 2014-15, 2015-16 (текущий) сырьевые циклы; 2) Отчеты начальника установки за 2014-15 гг. с установки по производству олефинов (УПО); 3) Результаты исследований катализатора дегидрирования (дериватограммы) при НАЦ ТПУ; 4) Требования к качеству получаемого продукта производства олефинов и ЛАБ.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) Провести аналитический обзор технологий получения олефинов, пути повышения эффективности процесса; 2) Исследовать физико-химические и термодинамические особенности процесса дегидрирования, рассмотреть механизмы протекающих реакций; 3) Провести сравнительный мониторинг сырьевых циклов; 4) Исследовать влияние изменения давления на процесс дегидрирования; 5) Подобрать оптимальный режим подачи воды в реактор, определить верхний предел подачи воды, оценить влияние деминерализованной воды на реакции коксообразования; 6) Оценить сущность метода математического моделирования и выработать рекомендации по ведению процесса дегидрирования с целью обеспечения сбережения ресурса катализатора.
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Литературный обзор	Ивашкина Елена Николаевна
Методы и объекты исследования	Ивашкина Елена Николаевна
Оптимизация режимов работы промышленной установки получения олефинов	Ивашкина Елена Николаевна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Сечина Ася Александровна
Социальная ответственность	Ахмеджанов Рафик Равильевич
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К21	Фефелова К.О.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2К21	Фефеловой Ксении Олеговне

Институт	ИПР	Кафедра	Химическая технология топлива и химической кибернетики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально – технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>
	<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>
	<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>
Перечень графического материала:	
<i>1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения и бюджет НИ 4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	05.05.2016 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечина А.А.	Доцент		05.05.2016 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К21	Фефелова Ксения Олеговна		05.05.2016 г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2K21	Фефеловой Ксении Олеговне

Институт	ИПР	Кафедра	Химическая технология топлива и химической кибернетики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – установка получения олефинов; Метод исследования – математическое моделирование; Рабочая зона – компьютерный класс, технологическая зона; Область применения – нефтехимическая промышленность.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность: 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).	1.1. Выявление опасных и вредных факторов при эксплуатации объекта исследования: - вредные вещества, производственный шум, вибрация; - физико-химическая природа вредности веществ и их связь с разрабатываемой темой; - действие вредных веществ на организм (парафины, олефины, ВСГ, платиносодержащий катализатор); - предлагаемые средства защиты для работы на установке получения олефинов: (коллективная защита – шумоизолирующие конструкции, индивидуальные средства защиты – костюм, ботинки, перчатки, каска, очки защитные, маска) 1.2 Выявление опасных и вредных факторов при разработке научного исследования: - Анализ микроклимата в помещении; - Анализ освещенности рабочей зоны; - Анализ электробезопасности на рабочем месте; - Анализ пожаровзрывобезопасности рабочего места. 1.3 СанПиН 2.2.4.548-96, ГОСТ 12.1.013-78, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03, СанПиН 2.2.4.1191-03, СанПиН 2.6.1.1015-01, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96, ГОСТ 12.1.002–84, ГОСТ 12.2.032-78, Инструкция по охране труда при работе на ПК, СНиП 21–01–97.
---	--

2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны; – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	2.1. Анализ негативного воздействия на окружающую среду работы установки получения олефинов: - влияние на атмосферу (выбросы оксидов и диоксидов углерода, серы и кислорода, непредельные углеводороды) - влияние на литосферу (отработанный катализатор); 2.2 Анализ негативного воздействия на окружающую среду при работе за ПЭВМ; 2.3 Анализ решений по обеспечению экологической безопасности.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	3.1. Перечень возможных ЧС при эксплуатации установки получения олефинов – производственные аварии (пожар, взрыв), стихийные бедствия, социально-военные конфликты; 3.2. Анализ действий работников при возникновении ЧС; 3.3. Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Анализ законодательно-правовой базы в области обеспечения безопасности: 4.1. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.12.2015) 4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, проветривание, полная изоляция от производственных источников шума и вибрации.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	05.05.2016 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ахмеджанов Р.Р.	д.б.н., профессор		05.05.2016 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К21	Фефелова Ксения Олеговна		05.05.2016 г.

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



Институт природных ресурсов
Направление подготовки – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
Уровень образования – Бакалавриат
Кафедра –Химической технологии топлива и химической кибернетики
Период выполнения – весенний семестр 2014/2015 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.03.16	Литературный обзор	20
07.04.16	Методы и объекты исследования	15
30.04.16	Оптимизация режимов работы промышленной установки получения олефинов	25
11.05.16	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
24.05.16	Социальная ответственность	20

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Е.М.	к.т.н., доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 93 с., 35 рис., 18 табл., 45 источников, 5 прил.

Ключевые слова: дегидрирование высших парафинов, олефины, оптимизация, моделирование, мольное соотношение водород/сырье, деминерализованная вода.

Объектом исследования являются реактор дегидрирования высших парафинов C_9-C_{14} нефтеперерабатывающего завода ООО «КИНЕФ» в г.Кириши, Ленинградской области.

Цель работы – оптимизация режимов работы промышленной установки с целью повышения производительности промышленной установки, а также сбережения ресурса Pt-катализатора дегидрирования.

В процессе исследования проводились: анализ работы реактора при различных технологических параметрах процесса дегидрирования, оптимизация процесса, моделирование процесса при пониженном давлении в реакторе, прогнозные расчеты.

В результате исследования был определен оптимальный режим подачи воды в реактор и его верхний предел, показано, что метод математического моделирования адекватно описывает реальное производство олефинов, выработаны и представлены рекомендации по проведению процесса дегидрирования при различных технологических параметрах, обеспечивая сбережение ресурса катализатора.

Степень внедрения: результаты апробированы на производстве олефинов ООО «КИНЕФ».

Область применения: производство н-олефинов на заводе ООО «КИНЕФ», г. Кириши, на нефтеперерабатывающих заводах мира, производящих высшие н-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 Pt-катализатора.

В будущем планируется провести оптимизацию работы стадии сульфирования в технологии производства линейной алкилбензолсульфокислоты в зависимости от режимов работы реактора дегидрирования и состава перерабатываемого сырья.

Оглавление

Введение	11
1 Литературный обзор	12
1.1 Технологии получения олефинов	12
1.1.1 Процесс «Shamprogetti/Yarsintez»	12
1.1.2 Процесс «Catofin»	13
1.1.3 Процесс «Oleflex»	15
1.1.4 Процесс «STAR»	16
1.1.5 Процесс «МТО»	17
1.1.6 Процесс «МТР»	17
1.1.7 Процесс «ОСТ»	18
1.1.8 Процесс «SHOP»	19
1.1.9 Процесс «Pacol»	20
1.2 Пути повышения эффективности процесса дегидрирования	20
1.2.1 Совершенствование состава катализаторов дегидрирования	20
1.2.2 Модернизация конструкционного устройства реакторов дегидрирования	23
2 Объекты и методы исследования	28
2.1 Кинетические и термодинамические особенности процесса дегидрирования	29
2.2 Механизм процесса дегидрирования на платиновом катализаторе	32
2.3 Механизм коксообразования	32
2.4 Механизм действия воды и водорода на катализатор	34
2.5 Технологическая линия получения олефинов	35
2.6 Установка Пакол-Дифайн	36
2.7 Технологический режим работы установки	37
2.8 Характеристика сырья, катализатора и продуктов в процессе дегидрирования парафинов	38
3 Оптимизация режимов работы промышленной установки получения олефинов	40
3.1 Мониторинг работы установки получения олефинов	40
3.2 Влияние давления и мольного соотношения ВСГ/сырье на основные показатели процесса дегидрирования	45
3.3 Рекомендуемый расход подачи воды в реактор дегидрирования	51
3.4 Анализ катализатора дегидрирования	52
3.5 Прогнозирование срока службы катализатора	54
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	56

4.1	Предпроектный анализ	56
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	56
4.1.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	56
4.1.3	SWOT-анализ	56
4.1.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации	57
4.1.5	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	57
4.2	Инициация проекта	58
4.3	Планирование научно-исследовательских работ	58
4.3.1	Структура работ в рамках научного исследования	58
4.3.2	План проекта	60
4.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	61
4.4.1	Расчет материальных затрат НТИ	61
4.4.2	Расчет затрат на специальное оборудование для НТИ	61
4.4.3	Расчет заработной платы исполнителей НТИ	62
4.4.4	Отчисления во внебюджетные фонды	62
4.4.5	Накладные расходы НТИ	63
4.4.6	Формирование бюджета затрат НТИ	63
4.5	Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	64
5	Социальная ответственность	67
5.1	Характеристика опасных факторов объекта исследования	67
5.2	Характеристика опасных факторов рабочей зоны	69
5.3	Охрана окружающей среды	76
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	76
5.5	Правовые вопросы обеспечения безопасности	78
	Заключение	79
	Список публикаций студента	80
	Список используемых источников	81
	Приложение А	86
	Приложение Б	87
	Приложение В	89
	Приложение Г	91
	Приложение Д	93

Введение

Процесс дегидрирования парафинов с каждым годом становится все более востребованным в промышленности. Олефины – продукты процесса дегидрирования – нашли широкое применение в нефтехимической промышленности. Они являются сырьем для получения ряда ценных продуктов нефтехимии. Так из низших олефинов C_3 - C_5 возможно получить полиэтилен, полипропилен, синтетический каучук, МТБЭ и др. Высшие олефины C_{10} - C_{13} – это сырье для биоразлагаемых поверхностно-активных веществ (преимущественно ПАВ на основе линейных алкилбензолов – ЛАБ). Мощность отечественного производства синтетических моющих средств в 2015 году составляла 1,54 млн. т в год [1].

Дегидрирование – это реакция отщепления водорода от углеводорода под действием температуры (разрыв углерод–водородной связи) в присутствии катализатора. Направление протекания реакции зависит от параметров, влияющих на термодинамическое равновесие. Протеканию реакции в сторону образования целевых продуктов (олефинов) способствует повышение температуры и понижение давления. Кроме целевой реакции (превращение парафинов в олефины) протекает ряд побочных реакций, наибольший отрицательный эффект из которых имеют реакции коксообразования. Снижение активности катализатора происходит в результате накопления коксогенных структур на его поверхности [2].

Сбережение ресурса работы катализатора происходит путем регулирования технологических параметров процесса, расходов воды и водородсодержащего газа (ВСГ) в реакторе дегидрирования.

Целью данной работы является оптимизация режимов работы установки получения олефинов для повышения производительности установки, а также сохранение срока службы катализатора путем регулирования расхода воды и водородсодержащего газа в реактор с использованием математической модели.

1 Литературный обзор

1.1 Технологии получения олефинов

Все установки получения олефинов можно представить как совокупность двух блоков: реакторный блок и блок разделения и стабилизации продуктов.

В промышленности существует несколько вариантов технологий дегидрирования легких парафинов, отличающихся реакторным блоком.

При разработке этих технологий был сделан акцент на решение двух основных проблем:

1. Небольшая продолжительность рабочего цикла в связи с быстрой дезактивацией катализатора образующимися коксогенными структурами (протекание процесса в экстремально жестких условиях вследствие неблагоприятной термодинамики целевой реакции);
2. Интенсивный подвод тепла в зону реакции для компенсации ее эндотермического эффекта.

Рассмотрим наиболее известные технологии получения олефинов.

1.1.1 Процесс «Shamprogetti/Yarsintez»

Дегидрирование парафинов происходит при 500-600°C и 0,1-0,15 кПа в кипящем слое мелкозернистого CrO_x/Al_2O_3 катализатора, непрерывно циркулирующего между реактором и регенератором. При этом конверсия пропана достигает 40%, а селективность пропилена – 89%. Тепло в зону реакции поступает с сырьем, нагретым в теплообменнике и печи перед реактором, и с катализатором, поступающим со стадии регенерации.

Разделение образовавшейся парафин-олефиновой смеси осуществляется в процессе ректификации с получением целевого продукта – бутилена. Дымовые газы из регенератора подвергаются очистке и сбрасываются в атмосферу (рис.1) [3].

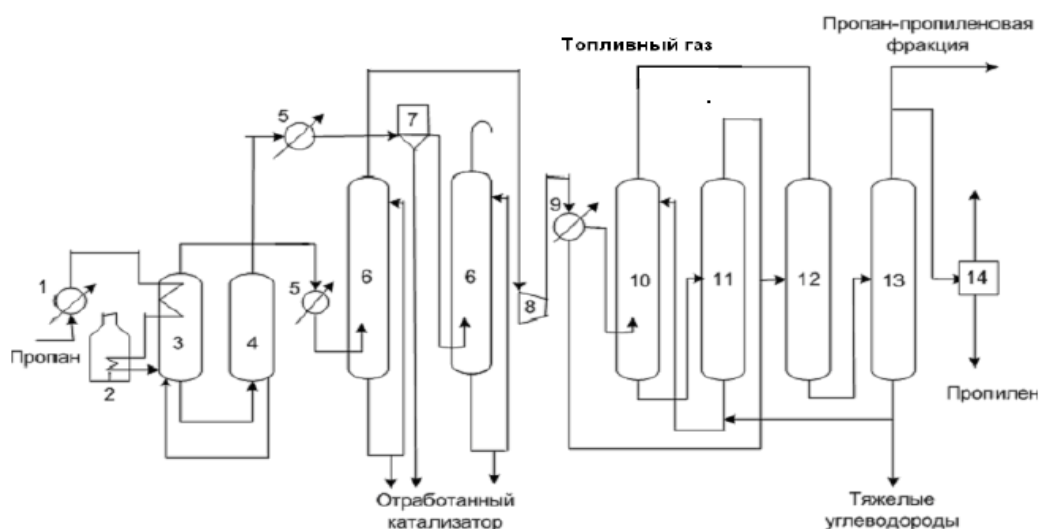


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема процесса
«Shamprogetti/Yarsintez»:

1 – теплообменник; 2 – печь; 3 – реактор; 4 – регенератор; 5- котел-утилизатор; 6 – скруббер; 7 – электрофильтр; 8 – система компримирования; 9 – система конденсации; 10 – адсорбер; 11 – десорбер; 12, 13 – ректификационные колонны; 14 – блок экстрактивной ректификации

Преимуществом процесса является поддержание изотермического режима за счет интенсивного перемешивания в реакторе с кипящим слоем. Кипящий слой значительно снижает диффузионные торможения и заметно ускоряет процессы массо- и теплопередачи. Важнейшими недостатками процесса в кипящем слое являются загрязнение окружающей среды токсичными соединениями хрома, большой расход катализатора из-за уноса катализаторной пыли и достаточно низкую селективность процесса.

В нашей стране эта технология не используется в настоящее время (применяли в основном для получения бутилена и изобутилена) [4].

1.1.2 Процесс «Catofin»

Процесс осуществляют при пониженном давлении в адиабатическом реакторе на стационарном слое $\text{Cr}_2\text{O}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ катализатора. Реактор работает в режимах реакция-регенерация. Длительность этих режимов составляет около 20-30 минут. Процесс протекает при 525-677°C и 10-70 кПа. В результате конверсия пропана варьируется в пределах 48-65%, селективность по пропилену 82-87%.

Для обеспечения непрерывности процесса используется три параллельно работающих реактора. Тепло в зону реакции поступает с сырьем, а также используется тепло полученное катализатором на стадии регенерации. Сырье, нагретое в теплообменнике и печи, поступает в один из реакторов.

После охлаждения и компримирования контактный газ поступает на блок разделения и стабилизации (рис.2). Процесс направлен на получение пропилена и изобутилена [3].

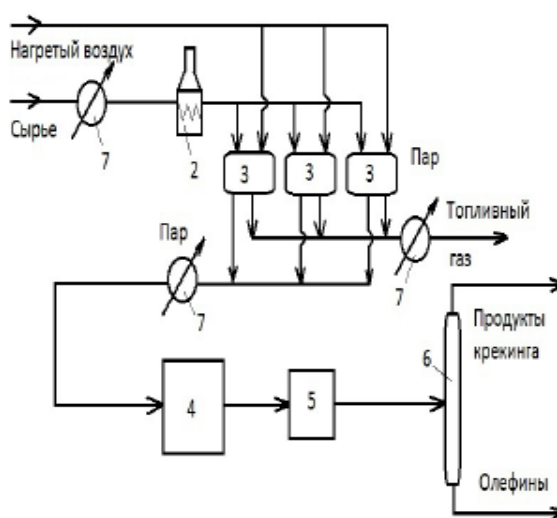


Рисунок 2 – Принципиальная технологическая схема процесса «Catofin»:

*1,7 – теплообменники; 2 – печь; 3 – реакторы; 4 – система компримирования;
5 – блок разделения; 6 – колонна стабилизации*

Преимущества процесса заключаются в его высокой конверсии и селективности, а также в использовании относительно дешевого катализатора с большим сроком службы. Отсутствие разбавления сырья водородом или водяным паром является значимым достоинством процесса с экономической точки зрения, т.к. это приводит к снижению энергозатрат и расходов по обслуживанию установки. Токсичные соединения хрома, входящие в состав катализатора, оказывают отрицательное влияние на окружающую среду.

Разработчиком этой технологии является американская компания АВВ Lummus Global. Впервые в промышленных масштабах процесс был реализован в 1986 году. Сейчас в мире функционирует несколько установок по процессу

«Catofin», на которых получают пропилен пригодный для производства полимеров [4].

1.1.3 Процесс «Oleflex»

Процесс предназначен для получения этилена, пропилена, бутилена и бутадиена. Процесс ведется при температуре 525-705°C и давлении 100-300 кПа. Конверсия пропана составляет 25-40%, селективность по пропилену 89-91%. Он протекает в последовательной системе адиабатических реакторов (2-4 реактора радиального типа) с промежуточным подогревом в печи. Так как процесс протекает в среде ВСГ, то на стадии разделения продуктов часть ВСГ возвращают на стадию дегидрирования, а избыток газа в качестве ценного побочного продукта выводят с установки. Одновременно с сырьем $Pt-Sn-K/\gamma-Al_2O_3$ катализатор перемещается из реактора в реактор, поступает в секцию регенерации и возвращается в первый реактор (рис.3). Для более легкого перемещения катализатор имеет сферическую форму [3].



Рисунок 3 – Принципиальная технологическая схема процесса «Oleflex»

Процесс имеет ряд преимуществ: высокая селективность процесса, долгий срок службы катализатора, возможность наряду с олефинами получать ВСГ. Основными же недостатками процесса являются высокие требования к носителю катализатора, сложное аппаратное оформление процесса.

Права на процесс принадлежат крупнейшей американской нефтехимической компании Universal Oil Products (UOP). Впервые процесс был реализован в Таиланде в 1990 г.

1.1.4 Процесс «STAR»

В процессе «STAR» (Steam Active Reforming) используется система трубчатых реакторов с внешним обогревом (позволяет следить и контролировать процесс повышения температуры в слое катализатора в ходе реакции). Это процесс окислительного дегидрирования, где кислород вводится в систему для смещения равновесия в сторону повышения конверсии (за счет реакции кислорода и водорода, получаемого в ходе реакции дегидрирования, с образованием воды).

Процесс протекает на неподвижном $Pt-Sn/ZnAl_2O_4$ катализаторе, размещенном в трубках реактора, в присутствии водяного пара при температуре 482-621°C и давлении 300-800 кПа. При этом конверсия пропана равна 30-40%, а селективность по пропилену достигает 80-90%. Непрерывный цикл работы установки обеспечивается поочередной работой двух параллельных реакторов. Продолжительность рабочего цикла составляет около 8 часов, из которых длительность реакционного цикла составляет 7 часов, а регенерации – 1 час. Изначально технология была разработана американской компанией Philips Petroleum Co. в 1999 г. Все права на технологию были приобретены немецкой компанией Uhde GmbH, которая модернизировала эту технологию. В результате был разработан новый процесс «UhdeSTAR», представляющий собой окислительное дегидрирование легких углеводородных газов. Процесс протекает при давлении 0,5-0,6 кПа и температуре 550-590°C. В процессе используется катализатор $Pt-Sn$ на $ZnAl_2O_4/CaAl_2O_4$ и два типа реакторов: реактор дегидрирования трубчатого типа с неподвижным слоем катализатора и окси-реактор, где дополнительно увеличивается выход целевого продукта (рис.4).

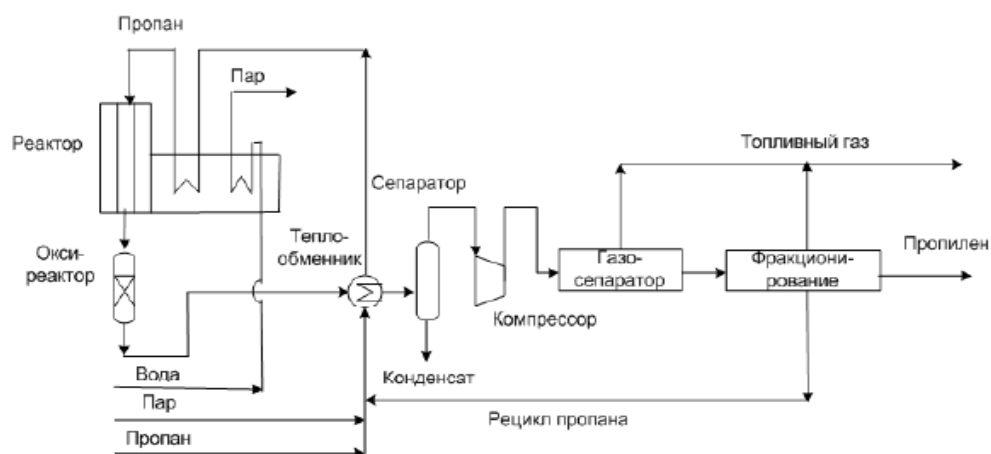


Рисунок 4 – Принципиальная технологическая схема процесса «STAR»

Основными преимуществами процесса являются большой срок службы катализатора, повышение конверсии за счет присутствия водяного пара в системе и применение окси-реактора, позволяющего увеличить выход целевого продукта.

Процесс производства пропилена из-за сложности аппаратного оформления реакторного блока долго не находил применения, однако в Египте в 2010 году впервые был возведен комплекс, позволяющий получать пропилен дегидрированием пропана.

1.1.5 Процесс «МТО»

Процесс получения этилена и пропилена на кремнийалюминийфосфатном решетчатом катализаторе из метанола разработан совместно компаниями UOP и Haldor Topsoe. Поры решетки катализатора позволяют просачиваться сквозь них только молекулам, обладающим малым весом и размером. Задержавшиеся молекулы уплотняются и подвергаются коксообразованию.

Метанол-сырец поступает в реактор и последовательно проходит все слои катализатора. Далее продуктовая смесь направляется на ректификацию для разделения ее на этилен, пропилен, метан, этан, пропан и фракции C_4 [5,6].

1.1.6 Процесс «МТР»

Процесс получения пропилена из метанола на неподвижном цеолитном катализаторе разработан компанией Lurgi. Метанол поступает в

адиабатический реактор, где преобразуется в диметилвый эфир (ДМЭ). Далее смесь непрореагировавшего метанола, образовавшегося ДМЭ и воды поступает в реакторы конверсии метанола в пропанол. В реакторе происходит конверсия исходной смеси в углеводородные продукты с высоким содержанием пропилена. Продуктовая смесь охлаждается и направляется на разделение [6].

1.1.7 Процесс «ОСТ»

Еще одним процессом получения пропилена является реакция метатезиса – химическая реакция замещения групп у двух реагентов с образованием двух новых соединений (реакция этилена и изобутиенов с образованием пропилена и бутена-1). Ранее реакция метатезиса заключалась в получении из пропиленов двух олефинов с меньшей и большей молекулярной массой – этилен и бутен. Эта реакция была реализована компанией Phillips Petroleum в 1966-1972 гг., а процесс получил название «Триолефин». Через несколько лет протекание реакции в обратном направлении (в сторону получения пропиленов) стало более выгодным. Этот процесс стал называться «ОСТ» (Olefins Conversion Technology) и в 1985 г. компанией Lyondell Petrochemical Co. был реализован в промышленном масштабе.

Сырье, поднимаясь вверх по реактору, реагирует со суспензированным катализатором, подаваемым в верхнюю часть реактора. Продуктовый поток направляется на фракционирование, где от него отделяется чистый пропилен (рис.5).

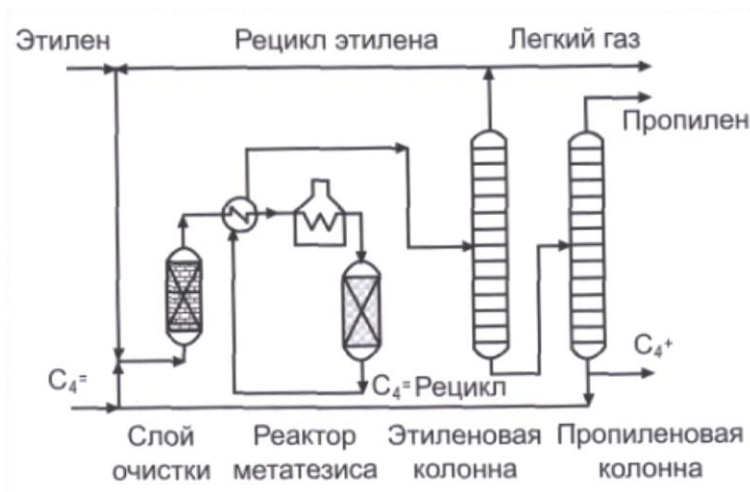


Рисунок 5 – Принципиальная технологическая схема процесса «ОСТ»

В процессе метатезиса могут использоваться катализаторы на основе оксида вольфрама (при высоких температурах 330-400 °С) и на основе оксида рения (при низких температурах 30-60 °С). Существуют также катализаторы на основе оксида молибдена, но они очень чувствительны к каталитическим ядам.

Установки метатезиса используются в совокупности с другими установками получения олефинов для повышения выхода пропилена [7].

1.1.8 Процесс «SHOP»

Высшие олефины можно получить олигомеризацией. Фирмой Shell был разработан процесс олигомеризации этилена в присутствии катализатора (каталитическая система Циглера-Натта), позволяющий получать линейные алкены с длиной цепи от 4 до 40 (SHOP–Shell Higher Olefin Process) [8].

Катализаторы растворяют в полярных растворителях, не растворяющих продукты реакции. Таким образом, реактор представляет собой трехфазную систему, состоящую из газообразной и двух взаимно нерастворимых жидких фаз. Процесс протекает в каскаде реакторов, откуда продуктовая смесь направляется в сепаратор для отделения газообразного этилена. Жидкая фаза сепаратора – раствор катализатора и олигомеры – направляется в промывочную колонну и затем на разделение [9].

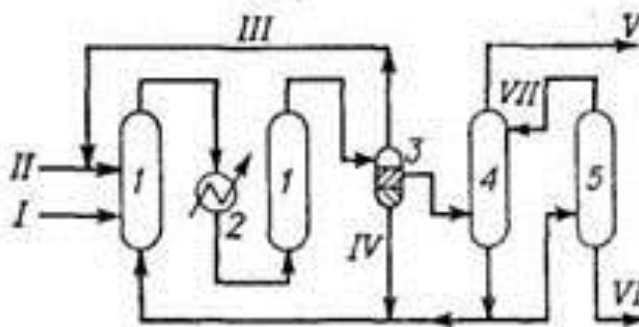


Рисунок 6 –Принципиальная схема олигомеризации этилена:

I – свежий катализатор; II – этилен; III –рециркулирующий этилен; IV – рецикловый катализатор; V – продукт олигомеризации; VI – сброс катализатора; VII – растворитель; 1 – реактор; 2 – теплообменник; 3 – фазовый сепаратор; 4 – промывная колонна; 5 – колонна отгонки растворителя.

1.1.9 Процесс «Rasol»

Основную часть высших олефинов получают в процессе «Rasol», разработанном американской компанией UOP. Основу процесса составляет реакция дегидрирования линейных парафинов C_{10} - C_{13} .

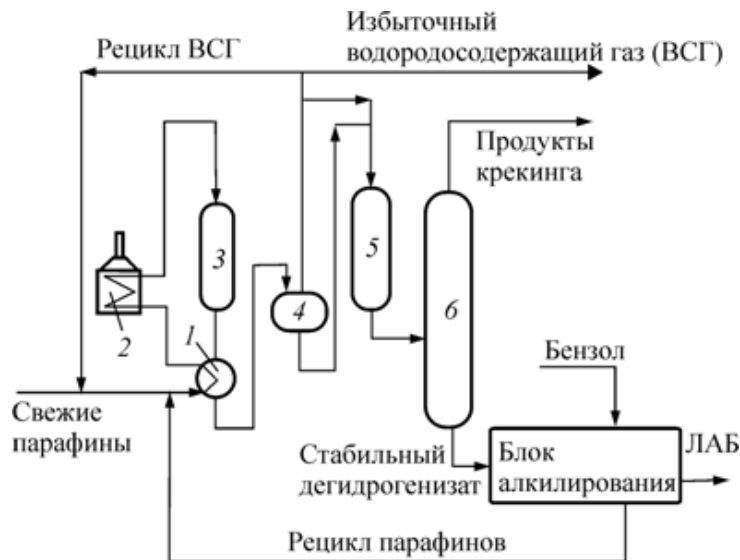


Рисунок 7 – Принципиальная технологическая схема процесса «Rasol»:

1 — теплообменник; 2 — печь подогрева; 3 — реактор дегидрирования; 4 — сепаратор; 5 — реактор селективного гидрирования; 6 — колонна стабилизации

Процесс дегидрирования протекает в адиабатическом реакторе на стационарном слое алюмоплатинового катализатора в среде ВСГ. Из реактора газопродуктовая смесь направляется в реактор гидрирования для превращения образовавшихся ди- и триолефинов до моноолефинов. Далее катализат поступает на блок разделения и стабилизации (рис. 7) [3].

1.2 Пути повышения эффективности процесса дегидрирования

1.2.1 Совершенствование состава катализаторов дегидрирования

Большинство реакций дегидрирования являются сильно эндотермическими реакциями, для которых даже при высоких температурах характерны небольшие степени превращения. Поэтому эти реакции протекают в присутствии катализаторов. Катализатор позволяет достигнуть высокой скорости процесса при меньших температурах.

Впервые катализаторы для процесса дегидрирования парафинов начали разрабатывать в 1920-х гг. [10]. Разработчики стали применять металлические катализаторы на основе Ni, Fe, Cu, Pt, Pd, которые оказались нестабильными и имели низкую селективность в реакциях дегидрирования. Затем стали использовать металлооксидные катализаторы, из которых наиболее эффективным оказался катализатор на основе оксида хрома. С 40-х годов XX века для дегидрирования легких парафинов C_3 - C_5 стали применять алюмохромовые катализаторы, позднее – алюмоплатиновые катализаторы.

Катализаторы дегидрирования парафинов можно разделить на [11]:

1. Алюмохромовые катализаторы, предназначенные для дегидрирования низших парафинов. Используются микросферические катализаторы (К-5, ИМ-22-01, АОК-73-21 и др.) для процесса, протекающего в кипящем слое, и гранулированные катализаторы фирмы Гудри для дегидрирования парафинов в стационарном слое.

2. Платиновые катализаторы, нанесенные на различные носители, для дегидрирования высших парафинов. Для дегидрирования парафинов в среде ВСТ с движущимся слоем катализатора используется промотированная оловом и калием платина, нанесенная на сферический носитель γ - Al_2O_3 . Эти катализаторы выпускаются американской фирмой UOP [12]. Для проведения процесса в среде водяного пара со стационарным слоем катализатора применяются Pt-Sn катализаторы, нанесенные на Zn- или Mg-Al шнипели.

Катализатор – это система, состоящая из активного вещества и промоторов, нанесенных на пористый носитель. В качестве носителя применяют оксид алюминия, силикагель, активированный уголь, цеолит и др.

В настоящее время ученые пытаются усовершенствовать структуру и состав носителей катализатора. Например, для повышения эффективности и прочности катализатора в кипящем слое носитель содержит оксиды кремния и свинца [13].

Катализатор дегидрирования должен интенсифицировать целевую реакцию и замедлять побочные реакции (крекинг, изомеризация, коксование).

Для дегидрирования низших парафинов эффективными являются оксидные алюмохромовые катализаторы, содержащие 10-40% оксида хрома и 2-10% оксидов щелочных металлов (натрия, калия, бериллия) [11]. В настоящее время компания ОАО НИИ «Ярсинтез» занимается выпуском различных промышленных катализаторов для процессов дегидрирования парафинов.

Процессы дегидрирования проводят с рециркуляцией непрореагировавшего сырья, т.к. обладают небольшой степенью превращения. Рециркуляция парафинов приводит к дополнительным затратам энергетических ресурсов. Для уменьшения рециркуляции парафиновых углеводородов, приводящей к экономии энергоресурсов, применяют катализаторы, содержащие в своем составе помимо оксидов хрома, алюминия и щелочного металла дополнительно оксиды циркония и бора, которые способствуют более быстрому и полному протеканию процесса [14].

Проблема коксообразования является существенным недостатком процессов дегидрирования и остается актуальной в настоящее время. Для уменьшения интенсивности реакции коксообразования был разработан ряд катализаторов. Например, катализатор, содержащий 10-30 %масс. оксида хрома, 30-45 %масс. оксида цинка и 25-60 %масс. оксида алюминия. В качестве носителя используется алюмоцинковая шнипель [15]. Также был разработан катализатор, содержащий помимо основных оксидов хрома, алюминия и олова дополнительно оксид цинка и платину. Эти компоненты входят в состав катализатора в следующем количестве, %масс.: ZnO – 30-45; Cr_2O_3 – 10-30; SnO_2 – 0,1-3,0; Al_2O_3 – остальное [16]. Известен еще один состав катализатора дегидрирования со следующим содержанием компонентов, %масс.: Cr_2O_3 – 10-30; PbO – 0,1-5,0; SiO_2 – 0,5-3,5; оксид щелочного или щелочноземельного металла Me_2O – 0,5-3,0; остальное Al_2O_3 [17].

Катализаторы процессов дегидрирования высших парафинов обладают высокой селективностью, которая снижается по мере их закоксовывания. Для снижения интенсивности реакции коксообразования процесс проводят в среде

ВСТ. Примером таких катализаторов являются платиновые катализаторы марок ДЕН (фирмы UOP) [12].

Совершенствование структуры катализаторов дегидрирования продолжается и сегодня, однако до сих пор за основу берутся нанесенные алюмохромовые и алюмоплатиновые катализаторы.

1.2.2 Модернизация конструкционного устройства реакторов дегидрирования

Конструкция реактора должна обеспечивать максимальную производительность при минимальном количестве катализатора. В промышленности существуют реакторы с различными конфигурациями слоя катализатора (неподвижный, псевдоожиженный, движущийся, восходящий и др.).

Для дегидрирования парафиновых углеводородов применяют в основном реакторы радиального типа с неподвижным слоем катализатора. Из-за того, что реакции дегидрирования являются эндотермическими, в таких реакторах возникает высокий градиент температур по слою катализатора, не позволяющий достичь высокой конверсии парафинов. Поэтому эффективнее использовать реакторную систему, состоящую из двух последовательно соединенных реакторов радиального типа с промежуточным подогревом реакционной смеси (рис.8) [18]. Реактор представляет собой цилиндрический сосуд с коаксиально расположенной кольцевой корзиной катализатора, внутри которой находится центральное тело вращения.

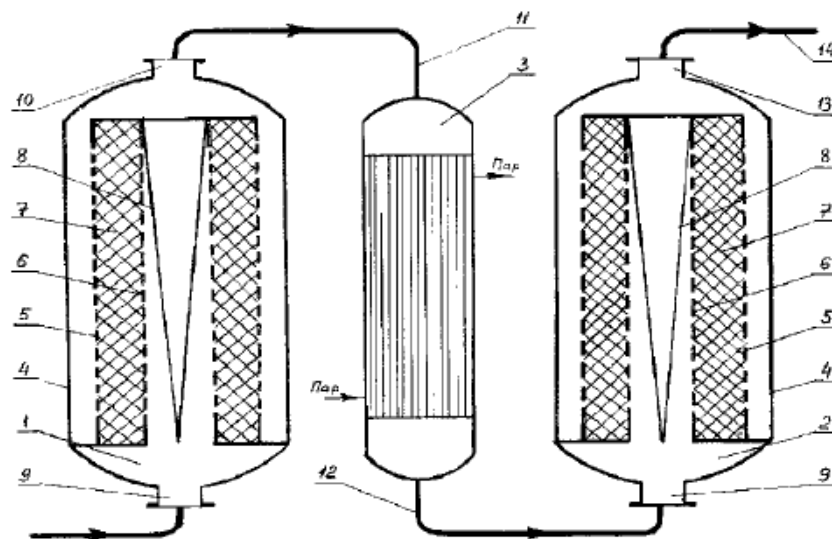


Рисунок 8 – Реакторная система для каталитического дегидрирования углеводородов:

1 – реактор первой ступени контактирования, 2 – реактор второй ступени контактирования, 3 – межступенчатый подогреватель, 4 – цилиндрический корпус, 5 – внешний перфорированный цилиндр, 6 – внутренний перфорированный цилиндр, 7 – слой катализатора, 8 – центральное тело вращения, 9,10,13 – штуцеры, 11,12,14 – трубопроводы.

Такая система позволяет равномерно распределить реакционный поток по всему объему катализатора, а также повысить эффективность процесса дегидрирования. Однако такая система имеет недостатки. В связи с одинаковой конструкцией реакторов на ступенях контактирования, возникает ситуация, вызывающая неравномерное распределение давления в проточной части реакторов, которое приводит к снижению эффективности процесса.

Существуют также конструкции реакторов дегидрирования с кипящим слоем катализатора [19]. Реактор представляет собой цилиндрический аппарат с установленными внутри секционными решетками с различным свободным сечением, возрастающим по высоте реактора (рис.9). В верхней части реактора установлены циклоны для отделения катализаторной пыли от газа. Подвод тепла в реактор осуществляется с подачей катализатора после регенератора.

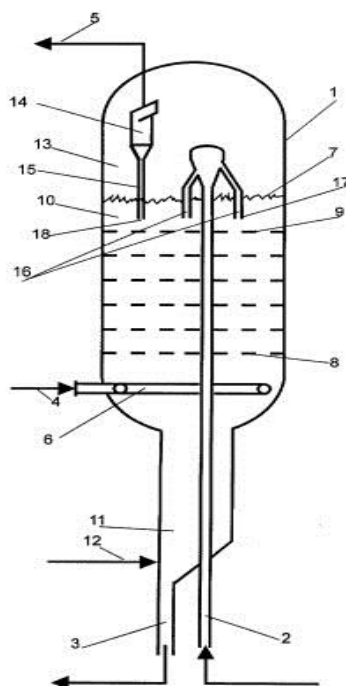


Рисунок 9 – Реактор дегидрирования парафиновых углеводородов с кипящим слоем мелкозернистого катализатора:

1 – корпус, 2 – трубопровод для ввода катализатора, 3 – трубопровод для вывода катализатора, 4 – патрубок для ввода контактного газа, 5 – патрубок для вывода контактного газа, 6 – распределитель сырья, 7 – уровень кипящего слоя катализатора, 8 – нижняя решетка, 9 – верхняя решетка, 10 – высокотемпературная зона кипящего слоя, 11 – отпарная зона, 12 – подача инертного газа, 13 – сепарационная зона, 14 – циклоны, 15 – пылеспускные стояки, 16 – патрубки, 17, 18 – выпускные торцы

Эта конструкция реактора обеспечивает более высокий выход олефинов, меньший расход катализатора, а также повышает экологичность процесса, т.к. уменьшается загрязнение атмосферы частичками унесенного катализатора.

Рассмотрим еще одну конструкцию реактора, позволяющую повысить конверсию и селективность процессов дегидрирования. Авторы [20] для проведения процессов дегидрирования предлагают применять трубчато-мембранно-щелевой реактор (рис.10). Реактор представляет собой конфигурацию «труба в трубе». Центральная трубка 1 расположена внутри трубки 2, которая является проницаемой мембраной для удаления водорода (изготавливается из нанопорошков металлов).

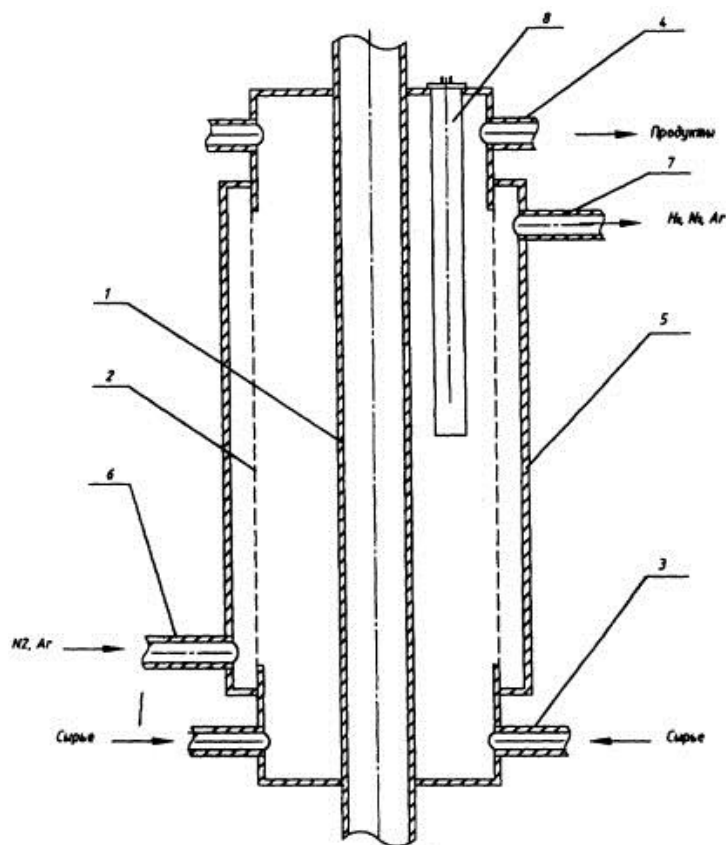


Рисунок 10 – Принципиальная конструкция трубчато-мембранно-щелевого реактора:

1 – центральная труба, 2 – внешняя труба (мембрана), 3 – патрубок для подачи сырья, 4 – патрубок отвода продуктов, 5 – корпус, 6 – патрубок для подачи продувочного газа, 7 – патрубок для вывода водорода, 8 - термомпара

Конструкции реакторов радиального типа являются наиболее перспективными для проведения процессов дегидрирования. Модернизация этих конструкций является наиболее перспективной. В работе [21] было предложено конусообразное тело вращения (обтекатель), расположенное во внутреннем перфорированном цилиндре (рис.11). Оно обеспечивает лучший контакт сырья с катализатором, что приводит к повышению эффективности процесса.

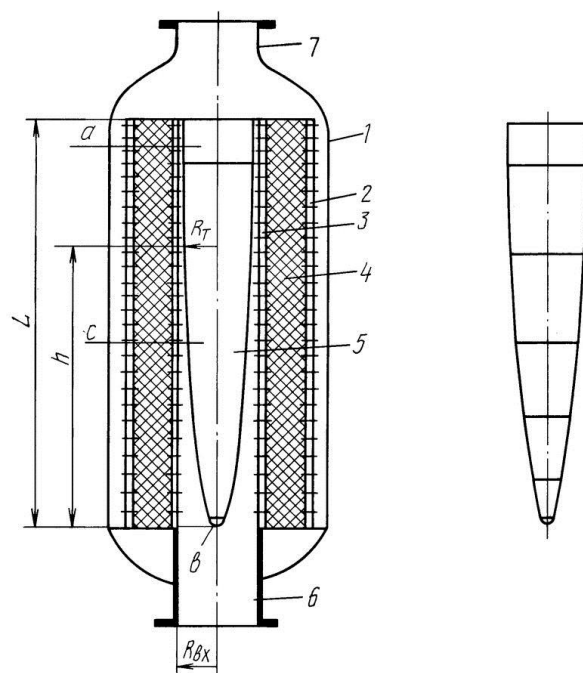


Рисунок 11 – Реактор дегидрирования углеводородов:

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

Совершенствование конструкций реакторов дегидрирования позволяет повысить выход целевых продуктов, улучшить их качество, а также сократить расходы на катализатор и энергозатраты. Для осуществления подобных задач применяют методы математического моделирования.

С применением метода математического моделирования достигаются наиболее благоприятные оптимизационные результаты, даже при изменяющихся в ходе работы установки параметрах: состав и свойства катализатора, температура проведения процесса, дефицит водородсодержащего газа.

2 Объекты и методы исследования

Объектом исследования работы является промышленная установка производства олефиновых углеводородов на заводе ООО «КИНЕФ» в г.Кириши. Установка совмещает в одну линию производства процессы дегидрирования парафинов (Pacol-процесс) с последующим гидрированием диолефинов в составе продуктов Pacol (Define-процесс).

Основным методом исследования является математическое моделирование, которое позволяет оптимизировать работу реактора дегидрирования. Проведение промышленного эксперимента позволит внести дополнения в существующую математическую модель с целью её адекватного функционирования. Интерфейс моделирующей программы представлен на рисунке 12.

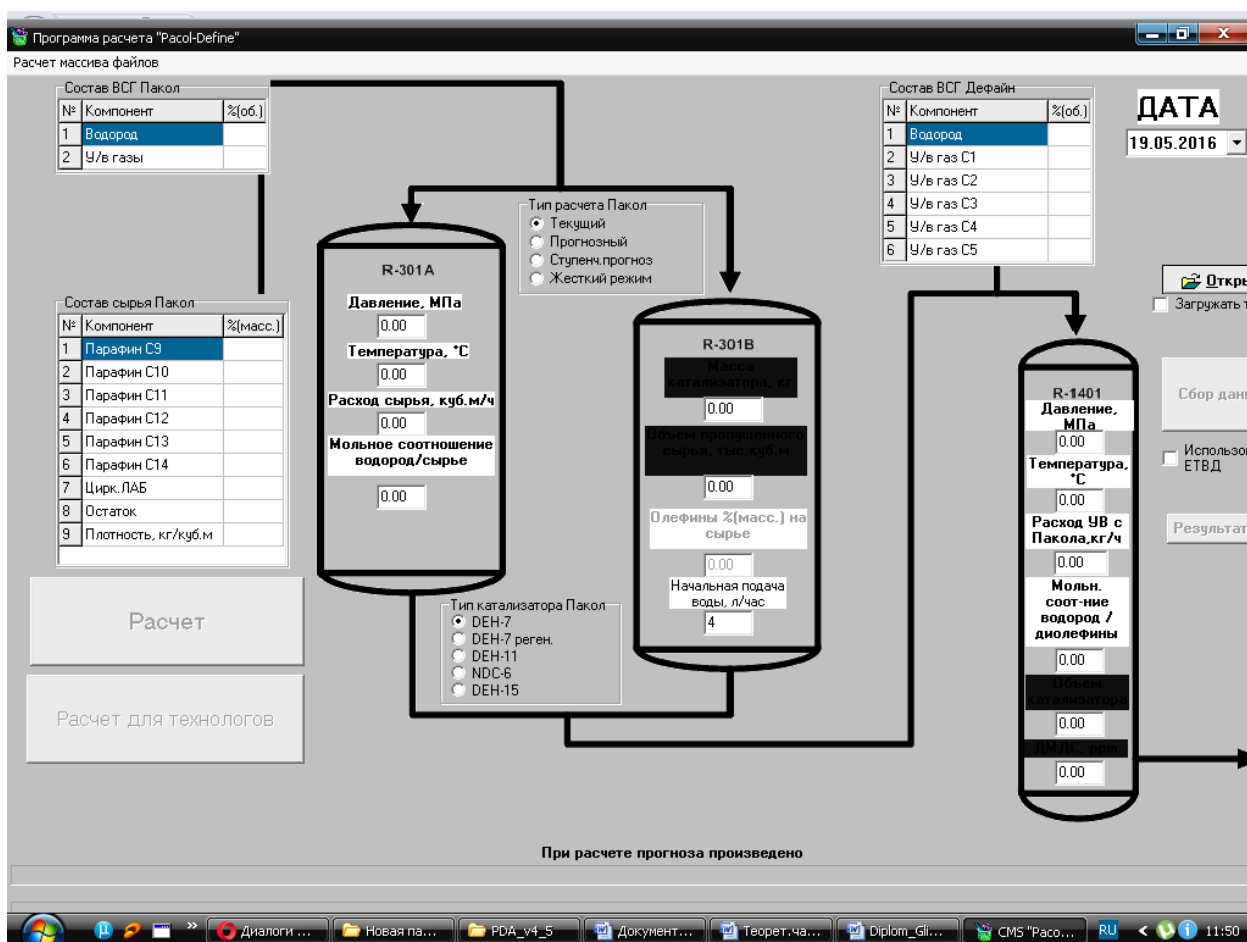
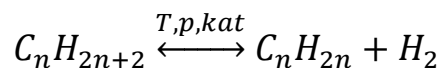


Рисунок 12 – Интерфейс программы моделирования процесса дегидрирования

Процесс дегидрирования высших парафинов нормального строения протекает на металлическом центре модифицированного алюмоплатинового катализатора под давлением водорода и при температуре 450-500°C. Выход олефинов в данном процессе ограничен термодинамическим равновесием и составляет 7-11 % [22].

2.1 Кинетические и термодинамические особенности процесса дегидрирования

Основной химической реакцией, протекающей в реакторе дегидрирования, является отщепление молекул водорода от парафиновых углеводородов при определенных условиях:



Число атомов углерода n определяется фракцией исходных n -парафинов и изменяется в интервале от 9 до 14. Кроме целевой реакции протекает ряд побочных реакций (крекинг, дегидроциклизация, реакции поликонденсации и уплотнения, приводящие к образованию кокса, и другие).

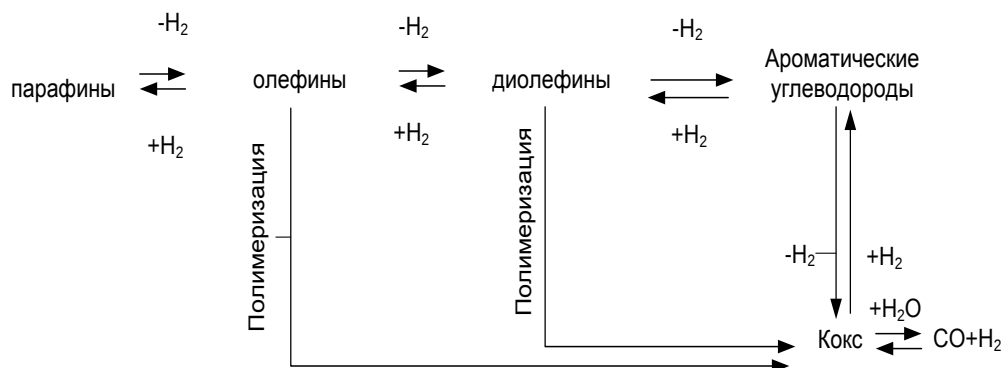


Рисунок 13 – Схема превращения парафинов

В таблице 1 представлены наиболее вероятные реакции, вероятность протекания которых оценивается значением термодинамического потенциала ΔG_r .

Таблица 1 – Средние значения термодинамических параметров реакций в процессе дегидрирования углеводородов C₉–C₁₄ (при 753 К, P=0,2 МПа) [23]

Реакция	ΔG_r , кДж/моль	ΔH_r , кДж/моль	ΔS , 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 $\rightleftharpoons$ изопарафин	3,06	2,51	0,0009
4. Парафин $\rightleftharpoons$ циклопарафин+H ₂	–64,21	–33,12	0,04
5. Парафин $\rightarrow$ арен+4H ₂	–331,21	–58,68	0,36
6. Олефин $\rightleftharpoons$ циклопарафин	–7,86	–64,51	–0,07
7. Олефин $\rightarrow$ арен+3H ₂	–289,29	–90,07	0,27
8. Циклопарафин $\rightarrow$ арен+3H ₂	–333,12	–25,52	0,36
9. Диолефин $\rightarrow$ арен+2H ₂	–251,07	–137,45	0,15
10. Парафин $\rightarrow$ продукты крекинга	–137,77	84,03	1,05
11. Олефин $\rightarrow$ продукты крекинга	–137,76	84,05	0,14
12. Диолефин $\rightarrow$ продукты крекинга	–137,22	83,26	0,17
13. Изопарафин $\rightarrow$ продукты крекинга	–138,74	84,39	0,16
14. Изоолефин $\rightarrow$ продукты крекинга	–140,03	81,69	0,16
15. Изодиолефин $\rightarrow$ продукты крекинга	–137,75	98,31	0,16
16. Арен $\rightarrow$ продукты коксообразования	–510,66	–425,15	0,56
17. Олефин $\rightarrow$ продукты коксообразования	–508,64	–423,12	0,56
18. Диолефины $\rightarrow$ продукты коксообразования	–509,35	–424,17	0,56

На основании протекающих реакций можно составить формализованную схему превращения углеводородов в процессе дегидрирования, представленную на рисунке 14.

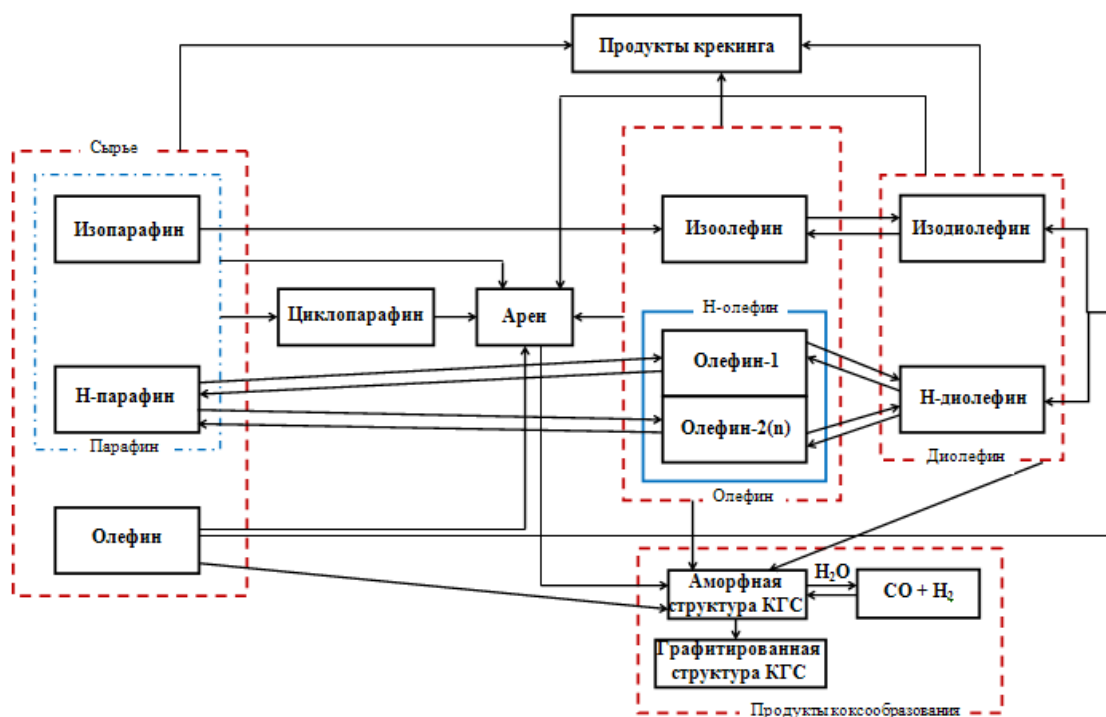


Рисунок 14 – Формализованная схема превращения углеводородов

Схема отражает процесс дегидрирования парафинов с образованием целевого продукта – моноолефинов. Кроме целевой реакции в схеме рассматривается протекание реакции дегидрирования моноолефинов до диолефинов. Процессы образования изоолефинов и изодиолефины объясняются наличием изомерных парафинов в сырье. Помимо этого образование нормальных и изомерных диолефинов обусловлено наличием в сырье олефинов, как нормального строения, так и изостроения.

В схеме также рассматривается протекание реакций крекинга парафинов, олефинов и диолефинов с образованием легких углеводородов. Парафины, олефины и диолефины подвергаются процессу циклизации (циклопарафины и арены).

Схема процесса дегидрирования также отображает реакции коксообразования. Основным источником коксогенных структур (КГС) являются олефины, ароматические углеводороды и диолефины. Коксогенная структура может быть аморфной, которую с помощью большого количества воды можно разложить до CO и H₂, и графитированной.

2.2 Механизм процесса дегидрирования на платиновом катализаторе

Механизм дегидрирования парафинов включает следующие стадии:

1. Хемосорбция парафина C_nH_{2n+2} на поверхности катализатора, с разрывом $C-H$ -связи и образованием двух радикалов $\dot{C}_nH_{2n+1}$ и $\dot{H}$, адсорбированных на поверхности катализатора;
2. Отщепление от алкильного радикала второго атома водорода и образование молекулы олефина C_nH_{2n} ;
3. Десорбция с поверхности катализатора образовавшихся молекул водорода и олефина [24].

2.3 Механизм коксообразования

Образование кокса на поверхности катализатора является главной причиной их дезактивации в процессах нефтепереработки и нефтехимии. Коксообразование происходит по сложному механизму консективных реакций (поликонденсация, полимеризация и глубокое уплотнение с постоянным уменьшением содержания водорода). Одновременно с поликонденсацией протекает деструкция, когда параллельно образуются высокомолекулярные и низкомолекулярные продукты.

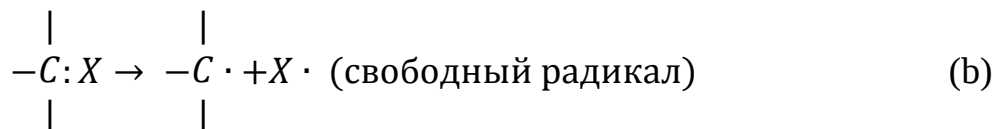
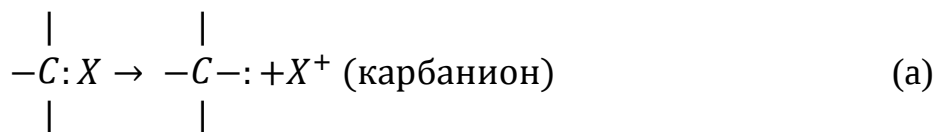
Поэтапно процесс образования кокса можно представить в виде схемы:

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

Для определения механизма коксообразования необходимо иметь представления об элементарных стадиях его образования. Для этого необходимо изучить каждую реакцию консективной схемы. Все реакции условно можно разделить на две группы: непосредственно сами реакции полимеризации и конденсации и сопутствующие им реакции дегидрирования, изомеризации, дегидроциклизации и т.д.

Рассмотрим механизмы реакций первой группы [25]. При протекании реакций органических веществ в зависимости от того, удерживает ли

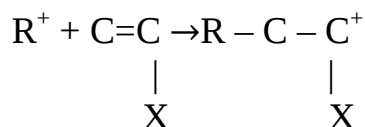
углеродный атом в месте реагирования оба (а), один (b) или ни одного (с) электрона из образующей связь электронной пары, могут образовываться три типа промежуточных соединений (активных центров):



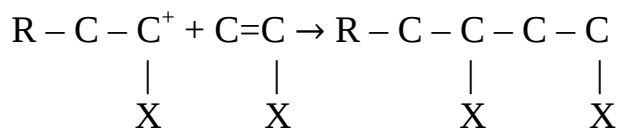
Для реакций полимеризации при коксообразовании наибольший интерес представляют теория карбоний-ионов и радикальная теория.

Карбониевые ионы рассматриваются как полярные промежуточные соединения с трехвалентным атомом углерода, содержащим только шесть электронов. Реакции полимеризации протекают по цепному механизму:

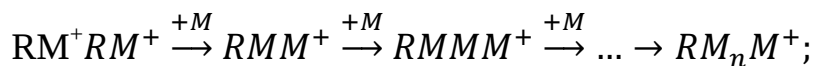
1. Лимитирующая стадия инициирования молекул углеводорода с образованием карбоний-иона:



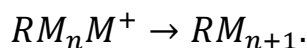
2. Рост цепи путем присоединения к карбоний-иону мономера M:



по общей схеме

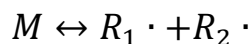


3. Обрыв цепи:



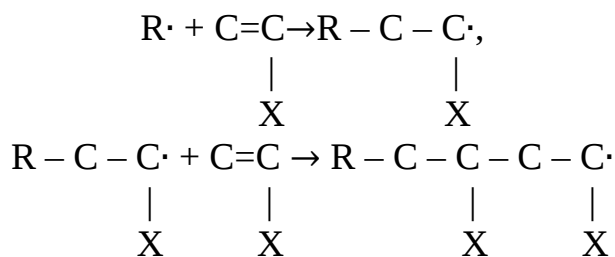
Свободные химические радикалы рассматривают как трехвалентные атомы углерода, обладающие неспаренным электроном и характеризующиеся повышенной реакционной способностью. Реакции полимеризации протекают по радикально-цепному механизму:

1. Лимитирующая стадия инициирования молекул углеводородов с образованием первичных радикалов ($R\cdot$):



Для образования радикалов необходимы высокие энергии активации (более 100 кДж/моль).

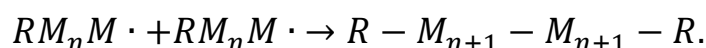
2. Рост цепи путем присоединения к радикалу мономера M :



и т.д. по схеме



3. Обрыв цепи:



2.4 Механизм действия воды и водорода на катализатор

Мольное соотношение водород/сырье и расход деминерализованной воды в реактор – это два параметра, баланс которых определяет сохранение активности катализатора и стабильную производительность реактора.

Регулируя и оптимизируя эти параметры, можно управлять активностью катализатора.

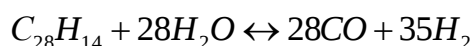
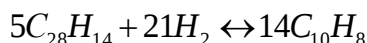
Водородсодержащий газ, или ВСГ, применяют для снижения скоростей побочных реакций, обеспечивая тем самым сохранение активности и продление срока службы платинового катализатора.

Избыток водорода в реакторе способствует частичному гидрированию коксогенных структур, образующихся на поверхности катализатора. В результате сохранения удельной поверхности катализатора обеспечивается поддержание каталитической активности на относительно постоянном уровне, позволяя увеличить межрегенерационный период работы катализатора [26].

Процесс проводят при повышении температуры и постоянном мольном соотношении водород/сырье. При таких условиях в реакторе будут возрастать

скорости реакций коксообразования. Понизить интенсивность этих реакций и частично деструктурировать образовавшийся на поверхности катализатора кокс возможно подачей в реактор деминерализованной воды.

Реакции воздействия водорода и деминерализованной воды на образовавшийся на поверхности катализатора кокс можно представить:



Таким образом, обеспечивая постоянный расход водорода (в составе ВСТ) и повышая подачу деминерализованной воды в реактор, можно обеспечить стабильную работу катализатора и уменьшить скорость его дезактивации.

2.5 Технологическая линия получения олефинов

Олефины ряда C_{10} - C_{13} используются в качестве сырья в сложном многостадийном комплексе получения ЛАБ и ЛАБС (рис.15).

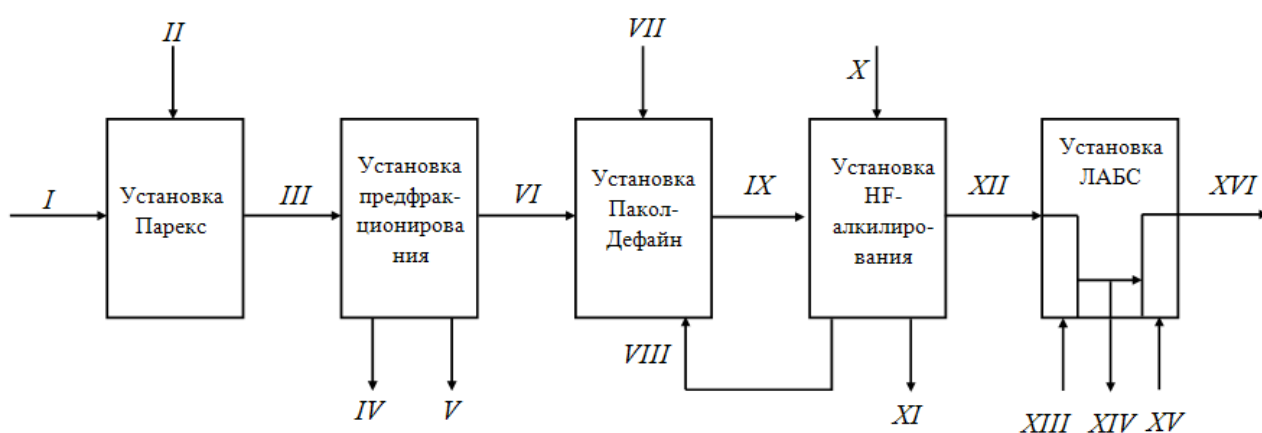


Рисунок 15 – Блок-схема потоков комплекса производства ЛАБ, ЛАБС.

Потоки: I – гидроочищенная фракция 180-310°C; II, VII – ВСТ; III – n-парафины C_9 - C_{21} ; IV – фракция n-парафинов C_{14} - C_{17} ; V – фракция n-парафинов C_{18} и выше; VI – фракция n-парафинов C_{10} - C_{13} ; VIII – рециркулирующие n-парафины; IX – смесь n-парафинов и моноолефинов; X – бензол с установки ЛГ-35-8/300Б; XI – тяжелый алкилат; XII – линейные алкилбензолы (ЛАБ); XIII – сера с установки элементарной серы; XIV – линейная алкилбензолсульфокислота (ЛАБСК); XV – щелочь NaOH; XVI – линейный алкилбензолсульфонат натрия (ЛАБСNa).

Их получают на установке получения олефинов (УПО) из соответствующих парафинов, поступающих с установки предфракционирования. На этой установке происходит разделения парафинов нормального строения ряда C_9 - C_{21} на легкие углеводороды (C_9 и ниже), ключевую фракцию C_{10} - C_{13} и на тяжелую фракцию C_{14} и выше. Сырье для установок предфракционирования получают из прямогонной гидроочищенной фракции 180-310°C на установке «Парекс» адсорбцией (с последующей десорбцией), разделяя ее при этом на жидкие н-парафины C_9 - C_{21} и депарафинизированную фракцию (компонент дизельного топлива).

2.6 Установка Пакол-Дифайн

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

Технологическая схема производства олефинов на заводе в г. Кириши представлена на рисунке 16 [27].

Сырье (узкая фракция парафинов C_{10} - C_{13}) смешивается с рециркулятом, предварительно очищенным от фторидов в адсорберах R-302A/B (с блока алкилирования), и поступает в сырьевую емкость V-301. После смешения с рециркулирующим ВСГ и поступает в теплообменник E-301, где нагревается продуктами процесса до температуры $\leq 420^\circ\text{C}$, и в печь F-301 (до 460-510°C). Нагретая газо-сырьевая смесь поступает в реактор R-301A/B, где происходит дегидрогенизация линейных парафинов. Реакторы работают поочередно до потери активности катализатора. Далее газо-продуктовая смесь в теплообменник E-301, где охлаждается до $\leq 152^\circ\text{C}$, и в воздушном холодильнике A-301 до температуры $\leq 49^\circ\text{C}$. Далее в сепаратор V-303, где происходит отделение ВСГ от жидкой фазы – смеси н-парафинов, олефинов и диолефинов.

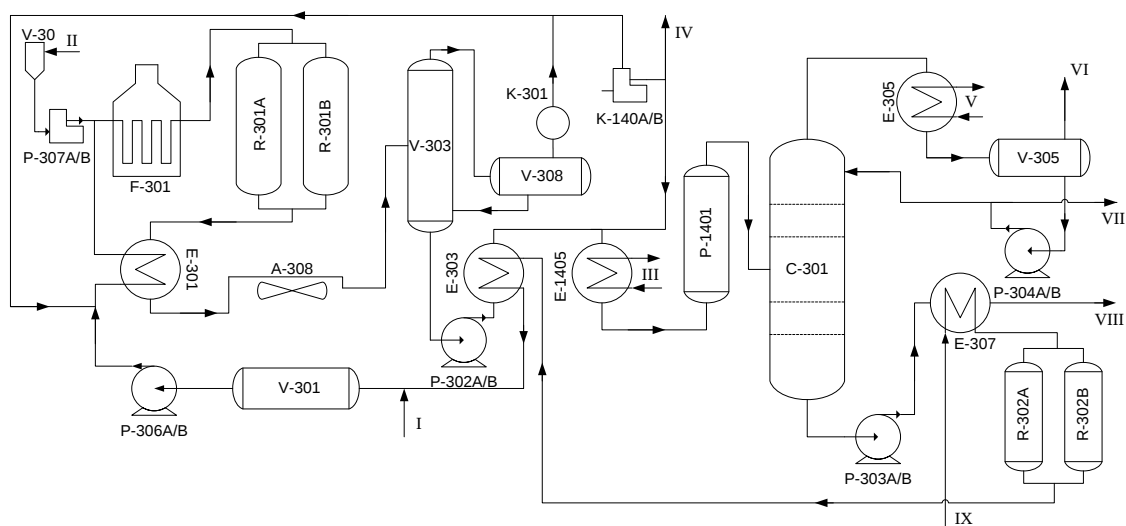


Рисунок 16 – Технологическая схема блока Пакол-Дифайн

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; R-302A/B – адсорберы; K-301, K-140A/B – фильтры; C-301 – отпарная колонна.

На данном этапе производства, на заводе в г. Кириши осуществляется однопоточная схема производства олефинов, представленная на рисунке 16. Ввиду сложности в оптимизации данной схемы производства в настоящее время инженерами и технологами производства рассматриваются и обсуждаются вопросы по переходу к независимой двухпоточной схеме.

Двухпоточная схема позволит увеличить качество получаемого продукта на стадии гидрирования, поскольку после более глубокого гидрирования диолефинов достигается снижение концентрации высокомолекулярных тяжелых ароматических углеводородов (ТАР) в продуктах блока алкилирования.

2.7 Технологический режим работы установки

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 2.

Таблица 2 – Рабочие значения параметров процесса дегидрирования

Параметр	Диапазон значений	Размерность
Температура	469 – 486	°C
Давление	0,18 – 0,22	МПа
Расход парафинов	65 – 85	м ³ /ч
Расход ВСТ	49200 – 65600	нм ³ /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.

2.8 Характеристика сырья, катализатора и продуктов процесса дегидрирования парафинов

В качестве сырья установки получения олефинов используют узкую фракцию парафиновых углеводородов C₉–C₁₄.

Катализатор процесса дегидрирования парафинов состоит из активных металлических центров и прочного кислотного носителя. В качестве активных центров используются металлы платиновой группы: Pt, Pd, Rh. Применение платины в качестве активного центра катализатора позволяет достичь высокую степень превращения парафинов в олефины. В качестве носителя используется оксид алюминия в гамма-модификации. Для дегидрирования парафинов широко используются катализаторы фирмы UOP [10].

Для дегидрирования высших парафинов применяют катализаторы, обладающие высокой удельной поверхностью платины на поверхности носителя. Катализатор обеспечивает высокую производительность установки с

высоким качеством целевого продукта, а промотирующие добавки Sn, Mg, ионы щелочных металлов обеспечивают высокую селективность процесса и малую скорость дезактивации катализатора коксом.

В настоящее время для дегидрирования парафиновых углеводородов используется платиносодержащий катализатор (содержание Pt = 0,88 – 0,92 % масс.), его ресурс работы составляет на данный момент около года (загружен 27 июля 2015 года). При этом концентрация олефинов составляет 9,4 – 9,6 % (масс.) в продуктовом потоке реактора.

Продукты дегидрирования – олефины нормального строения – являются сырьем для производства линейных алкилбензолов (ЛАБ), которые, в свою очередь, нашли применение в качестве ключевого компонента в производстве поверхностно-активных веществ (ПАВ). Кроме целевого продукта в ходе реакции образуются диолефины, продукты крекинга, изомеризации, циклизации, ароматизации и коксообразования.

3 Оптимизация режимов работы промышленной установки получения олефинов

В настоящее время на установке можно получать олефины с концентрацией 8,8-9,3% масс. в продуктовом потоке реактора дегидрирования. Оптимизация технологических параметров (давление, мольное соотношение, расход воды и др.) позволит повысить выход олефинов. При оптимальном режиме работы промышленной установки возможно сохранение активности катализатора и продление срока его службы. При выборе оптимального режима необходимо учитывать влияния теплообменного и реакторного оборудования.

3.1 Мониторинг работы установки получения олефинов

Длительность сырьевого цикла работы катализатора определяется большим количеством параметров: температура, давление, мольное соотношение водород/сырье, выход целевых и побочных продуктов, содержание кокса на поверхности катализатора и др. В ходе исследования были проанализированы основные параметры сырьевых циклов предыдущих лет, представленные в приложение А.

Для определения характера влияния перечисленных выше параметров с помощью модели был произведен сравнительный анализ двух последних сырьевых циклов работы катализатора (предыдущий цикл 2014-2015 гг. и текущий цикл 2015-2016 гг.). Сравнение циклов работы катализатора проводилось по следующим параметрам:

- давление и температура в реакторе (рис.17-18);
- мольное соотношение водород/сырье (рис.19);
- состав сырья (рис.20-21);
- концентрация олефинов и диолефинов (рис.22-23);
- содержание кокса на катализаторе (рис.24);
- расход воды в реактор (рис.25).



Рисунок 17 – Зависимость давления в реакторе от суток работы катализатора в двух сырьевых циклах

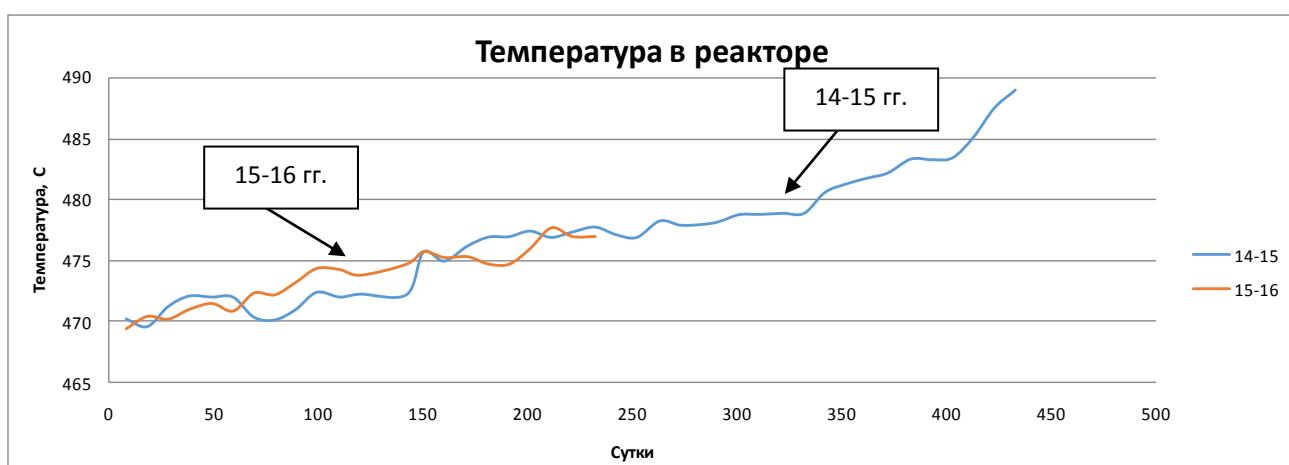


Рисунок 18 – Зависимость температуры в реакторе от суток работы катализатора в двух сырьевых циклах

В предыдущем сырьевом цикле поддерживалось более низкое давление, обеспечившее дополнительный положительный эффект в выходе олефинов. Температурные режимы циклов практически идентичны (469-485°C).

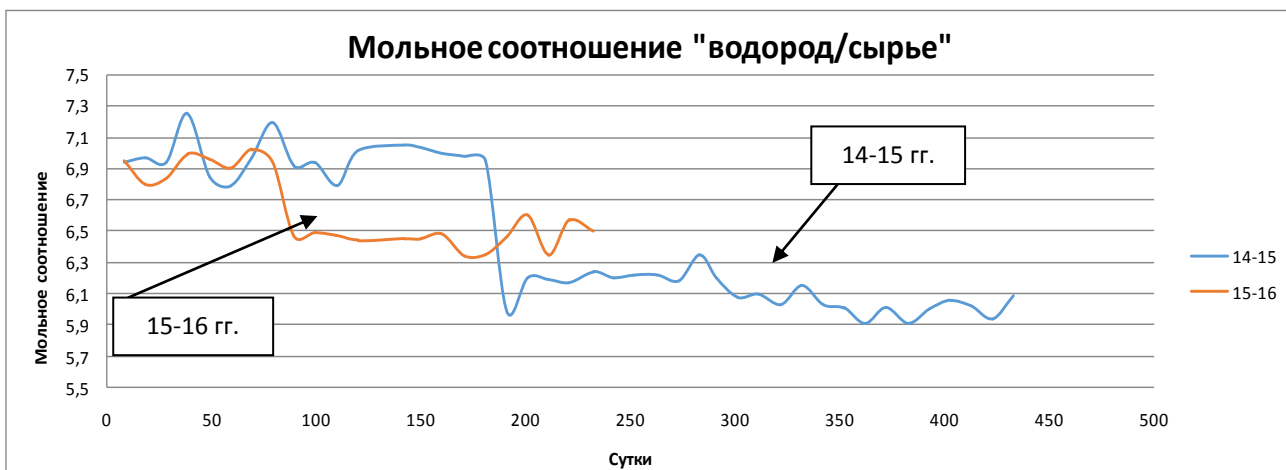


Рисунок 19 – Зависимость мольного соотношения от суток работы катализатора в двух сырьевых циклах

Предыдущий сырьевой цикл сначала осуществлялся при мольном соотношении водород/сырье 7/1, а затем оно было понижено до 6/1. В текущем сырьевом цикле соотношение составляет 6,5/1.

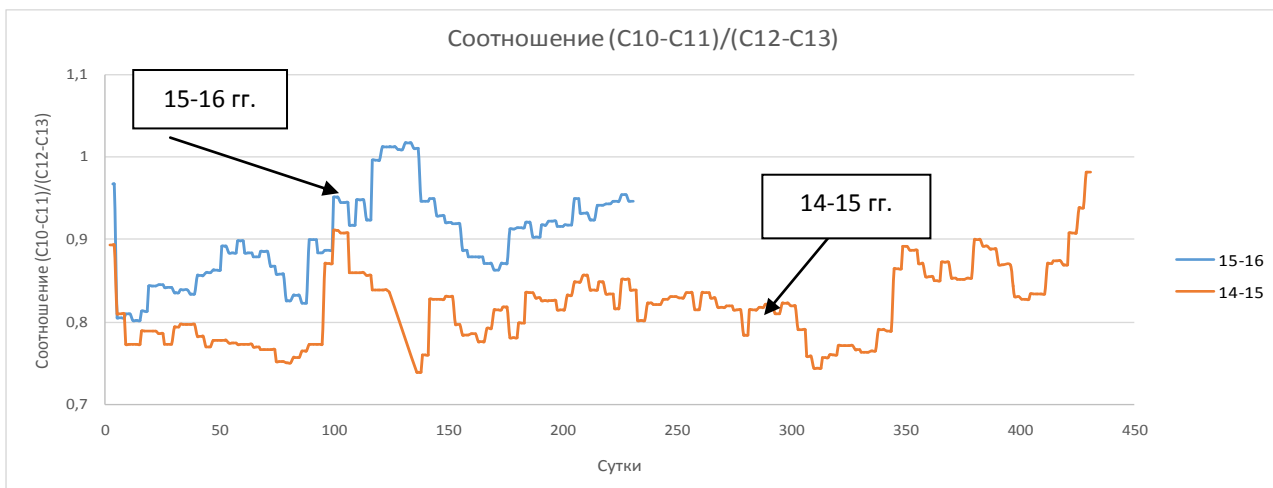


Рисунок 20 – Зависимость соотношения $(C_{10}-C_{11})/(C_{12}-C_{13})$ от суток работы катализатора в двух сырьевых циклах

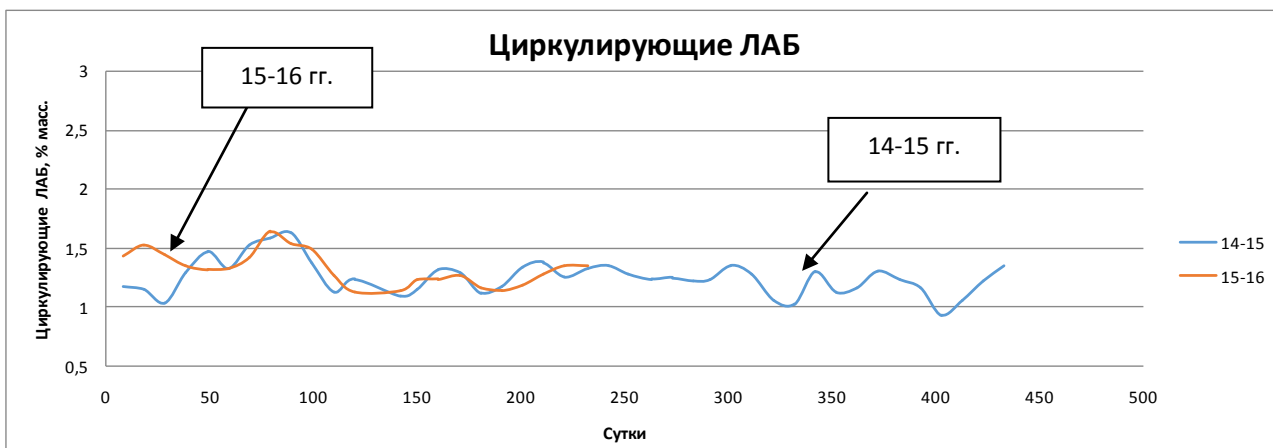


Рисунок 21 – Зависимость концентрации циркулирующих ЛАБ от суток работы катализатора в двух сырьевых циклах

В предыдущем сырьевом цикле перерабатывалось сырье более благоприятного состава (больше парафинов $C_{12}-C_{13}$). Содержание циркулирующих ЛАБ близко в том и другом циклах.

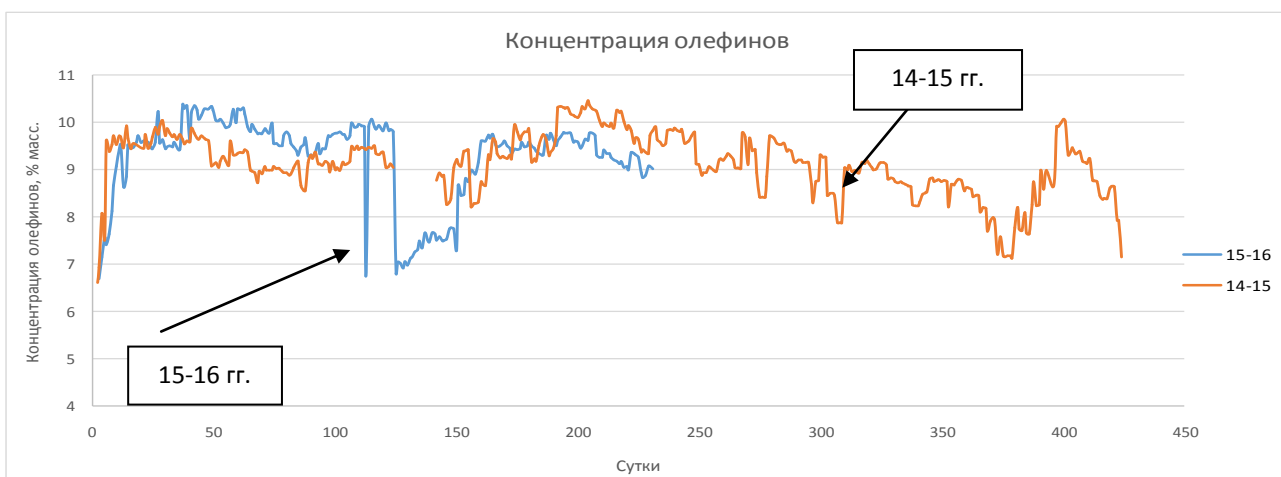


Рисунок 22 – Зависимость концентрации олефинов от суток работы катализатора в двух сырьевых циклах

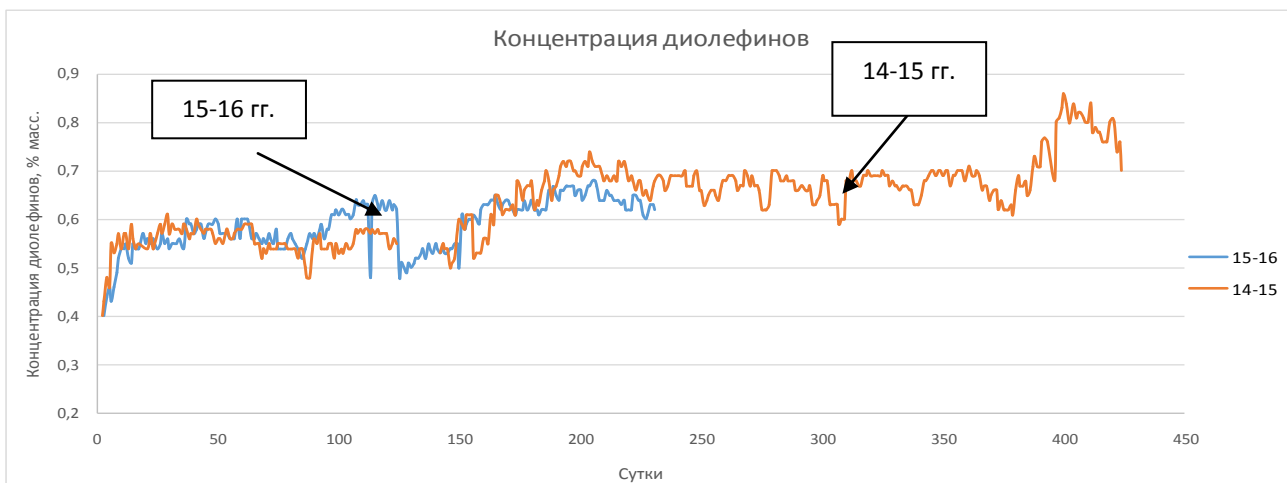


Рисунок 23 – Зависимость концентрации диолефинов от суток работы катализатора в двух сырьевых циклах

На начало работы установки в предыдущем цикле мольное соотношение водород/сырье составило 7/1, после 200 суток работы оно было снижено до 6/1. При этом концентрации олефинов и диолефинов выше, чем в аналогичный период работы установки в текущем сырьевом цикле (при мольном соотношении 6,5/1).

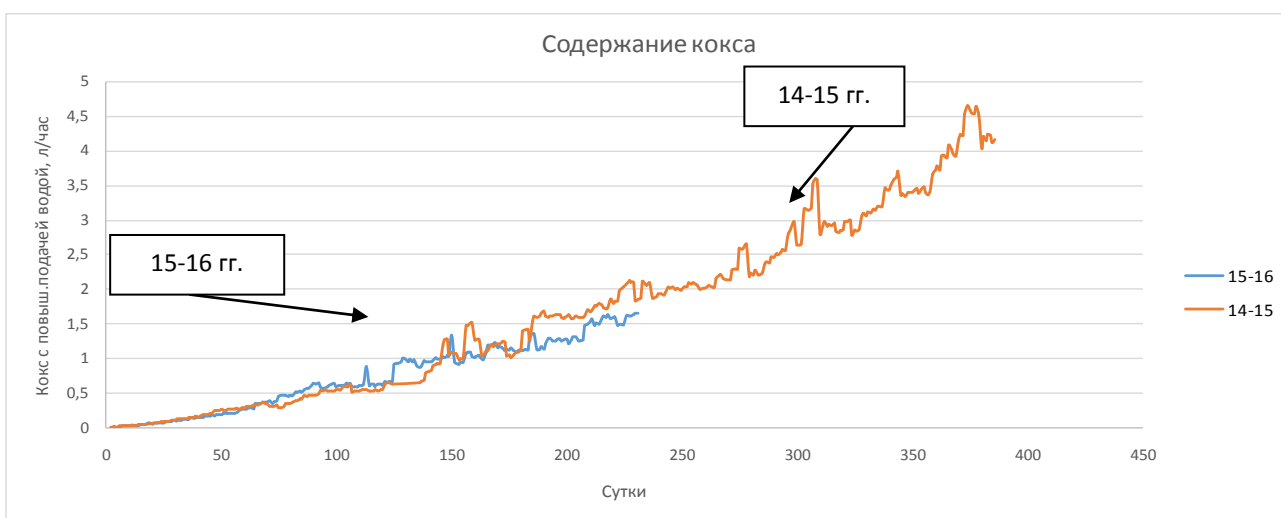


Рисунок 24 – Зависимость содержания кокса на катализаторе от суток его работы в двух сырьевых циклах

Содержание кокса на катализаторе с увеличением срока его эксплуатации постепенно возрастает. В предыдущем цикле содержание кокса выше, т.к. процесс протекал при пониженном мольном соотношении водород/сырье.

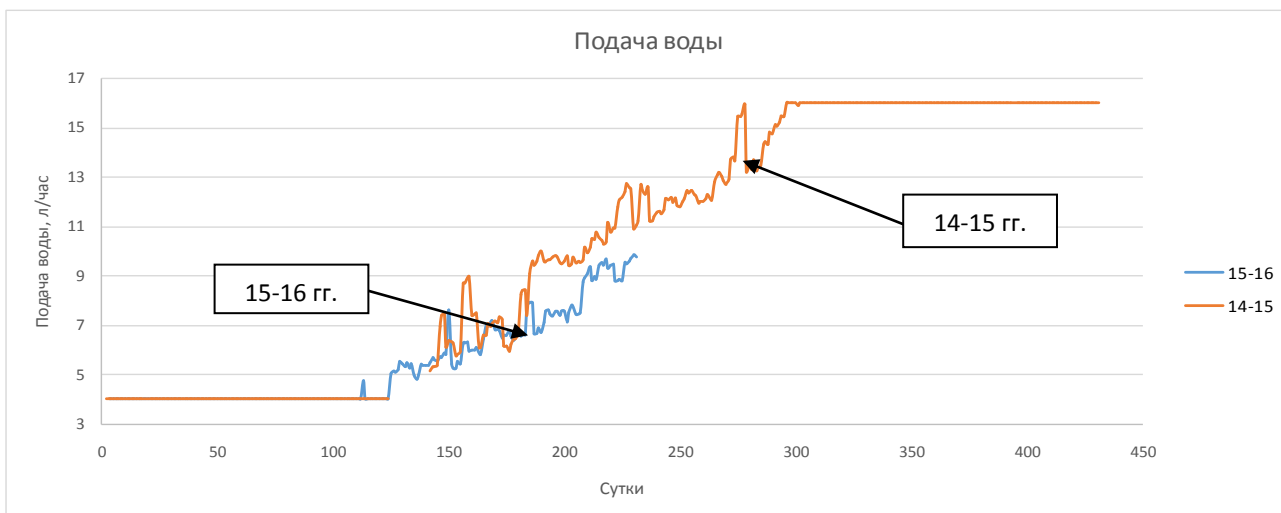


Рисунок 25 – Зависимость подачи воды от суток работы катализатора в двух сырьевых циклах

Кокс на поверхности катализатора можно подвергнуть деструкции подачей воды в реактор. Рекомендуемый минимальный расход воды составляет 4 л/час. С увеличением срока эксплуатации катализатора расход воды необходимо повышать. В предыдущем цикле подача воды в реактор осуществлялась в большем количестве, так как катализатор эксплуатировался при более низком мольном соотношении водород/сырье (содержание кокса выше).

3.2 Влияние давления и мольного соотношения ВСГ/сырье на основные показатели процесса дегидрирования

Оптимизация работы установки заключается не только в выборе оптимального технологического режима, но и в модернизации оборудования установки или полной реконструкции технологической схемы.

На данной установке специалисты предприятия обнаружили, что печь подогрева сырья F-301 работает с повышенной тепловой нагрузкой, что может привести к деформации или разрушению труб печи. Увеличение тепловой нагрузки печи обусловлено недостаточным предварительным подогревом сырья в теплообменнике E-301. В качестве решения проблемы технологи предложили замену существующего кожухотрубчатого теплообменника на

аналогичный по характеристикам пластинчатый теплообменник с целью повышения эффективности теплообмена.

Вместе с тем, замена теплообменника Е-301 на пластинчатый теплообменник вызовет изменение технологических режимов работы реактора дегидрирования, в первую очередь, снижение давления в аппарате в силу разницы общего перепада давления теплообменных аппаратов различного типа (30 кПа для пластинчатого теплообменника и 90кПа для кожухотрубчатого теплообменника). Поэтому возникла необходимость в установлении влияния понижения давления на показатели процесса дегидрирования, а именно на выход целевых и побочных продуктов, концентрацию кокса на поверхности катализатора с учетом изменяющегося состава перерабатываемого сырья.

В качестве исходных данных при проведении расчетов были взяты два различных состава сырья (табл. 3), расчет проводился при различном мольном соотношении водород/сырье с определением по модели содержания олефинов, диолефинов в продуктовом потоке реактора и кокса на поверхности катализатора дегидрирования при изменении рабочего давления в реакторе (табл. 4).

Таблица 3 – Состав сырья

№	Состав сырья	Сырье 1, % масс.	Сырье 2, % масс.
1	Парафин С9	0,01	0,00
2	Парафин С10	13,10	16,78
3	Парафин С11	28,61	28,64
4	Парафин С12	30,81	30,57
5	Парафин С13	23,23	19,88
6	Парафин С14	0,37	0,43
7	Цирк. ЛАБ	1,63	1,23
8	Остаток (изопарафины)	2,24	2,47
9	Плотность, кг/куб.м	750	

Таблица 4 – Состав продуктового потока в зависимости от давления в реакторе

	Водород/сырье	Компонент	Давление, Мпа						
			0,200	0,195	0,190	0,185	0,180	0,175	0,170
Сырье 1	7:1	Олефины, % масс.	8,41	8,59	8,80	9,02	9,27	9,54	9,86
		Диолефины, % масс.	0,53	0,53	0,54	0,55	0,55	0,56	0,57
		Кокс с повыш. подачей воды, л/час	0,593	0,595	0,597	0,600	0,605	0,612	0,621
	6:1	Олефины, % масс.	8,88	9,07	9,27	9,50	9,76	10,04	10,36
		Диолефины, % масс.	0,57	0,58	0,58	0,59	0,60	0,61	0,61
		Кокс с повыш. подачей воды, л/час	0,780	0,781	0,781	0,783	0,787	0,793	0,802
Сырье 2	7:1	Олефины, % масс.	8,14	8,31	8,51	8,72	8,96	9,23	9,53
		Диолефины, % масс.	0,50	0,50	0,51	0,52	0,52	0,53	0,54
		Кокс с повыш. подачей воды, л/час	0,618	0,620	0,624	0,628	0,634	0,643	0,654
	6:1	Олефины, % масс.	8,59	8,77	8,97	9,19	9,44	9,71	10,02
		Диолефины, % масс.	0,54	0,54	0,55	0,56	0,56	0,57	0,58
		Кокс с повыш. подачей воды, л/час	0,811	0,812	0,815	0,818	0,823	0,831	0,842

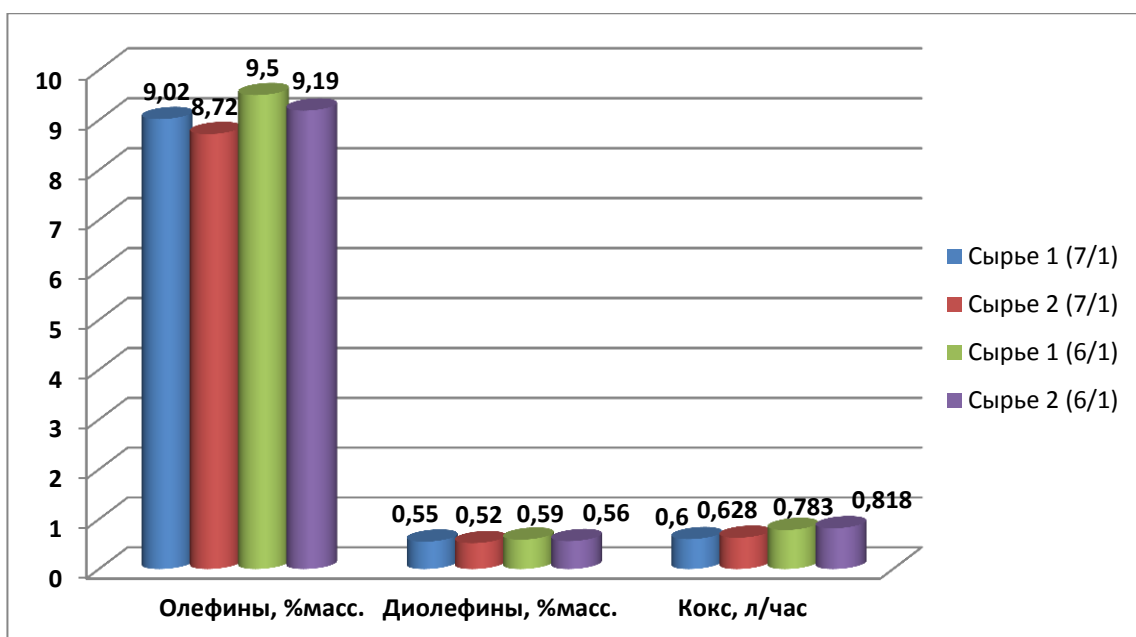


Рисунок 26 – Зависимость содержания компонентов от состава сырья при различном мольном соотношении и постоянном давлении (0,185 МПа)

Благодаря меньшему содержанию изопарафиновых углеводородов в составе первого типа сырья (табл.3), концентрации олефинов и диолефинов, получаемых из этого сырья, выше концентраций продуктов из второго типа сырья. Этим же объясняется и меньшее содержание кокса на поверхности катализатора (рис.26).

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что при понижении давления содержание целевого продукта – олефина – увеличивается, а также увеличивается содержание диолефинов и кокса на катализаторе (рис. 27-32).

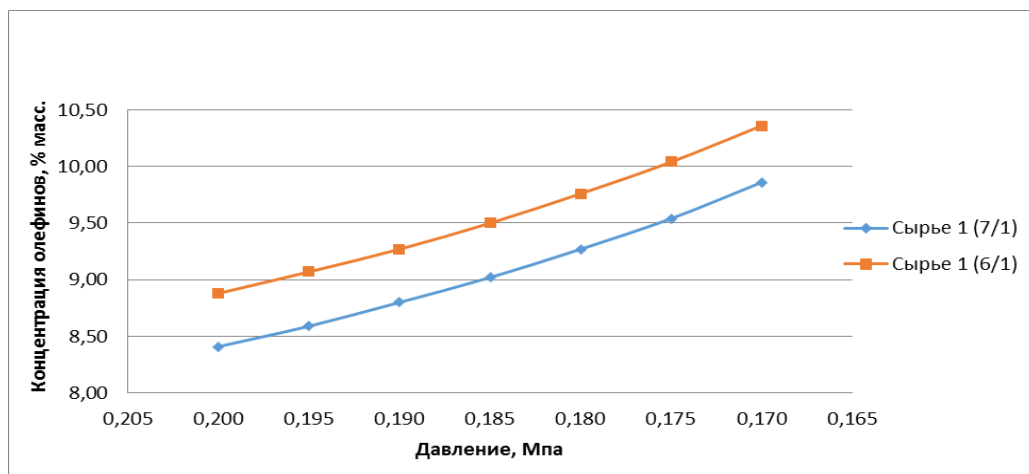


Рисунок 27 – Зависимость содержания олефинов от давления в реакторе (сырье 1)

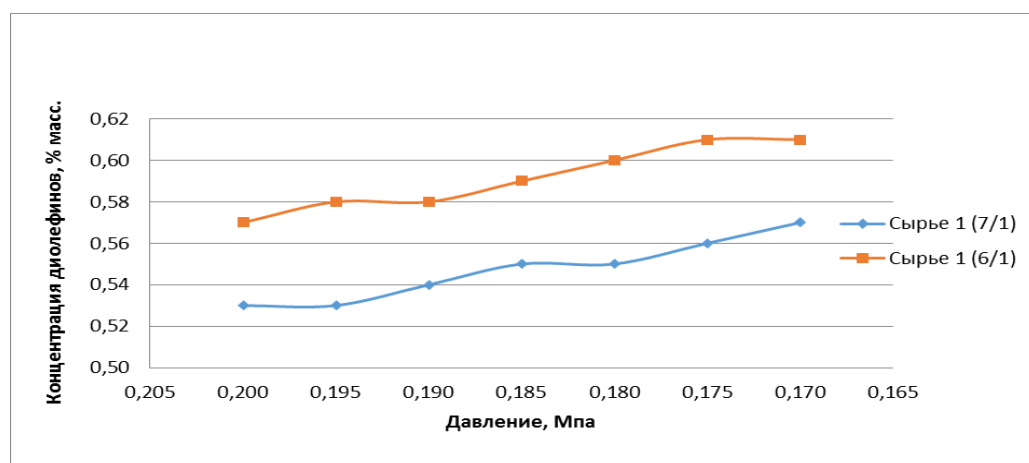


Рисунок 28 – Зависимость содержания диолефинов от давления в реакторе (сырье 1)

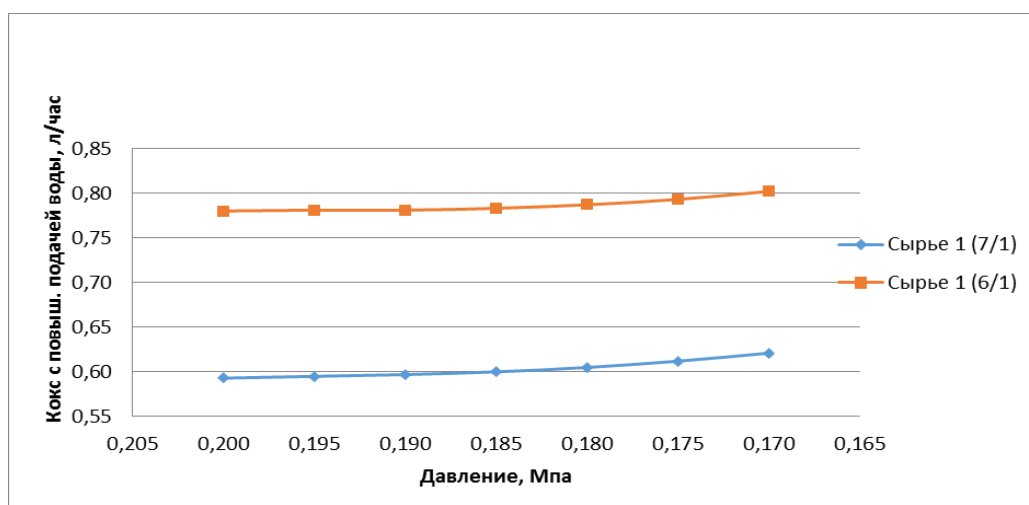


Рисунок 29 – Зависимость содержания кокса на катализаторе от давления в реакторе (сырье 1)

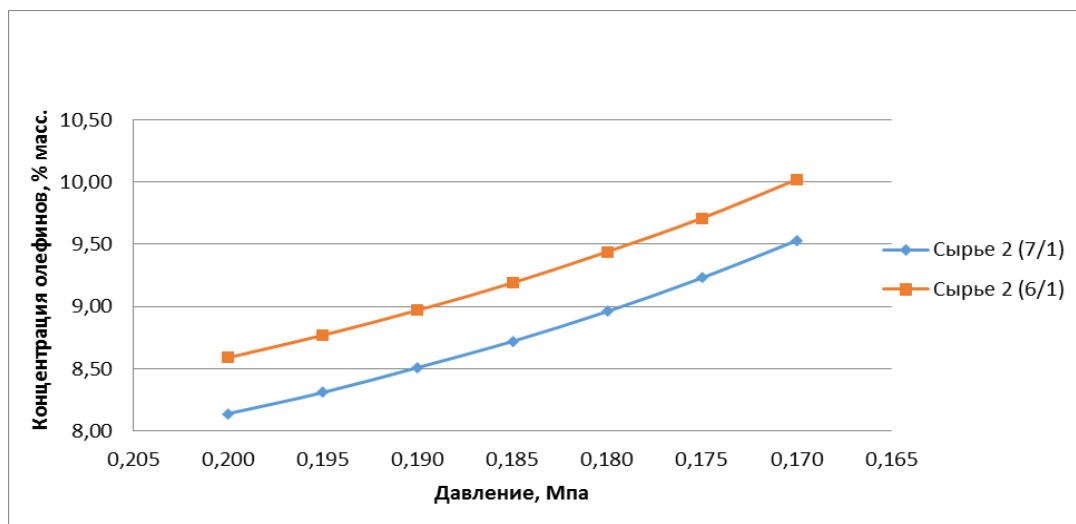


Рисунок 30 –Зависимость содержания олефинов от давления в реакторе (сырье 2)

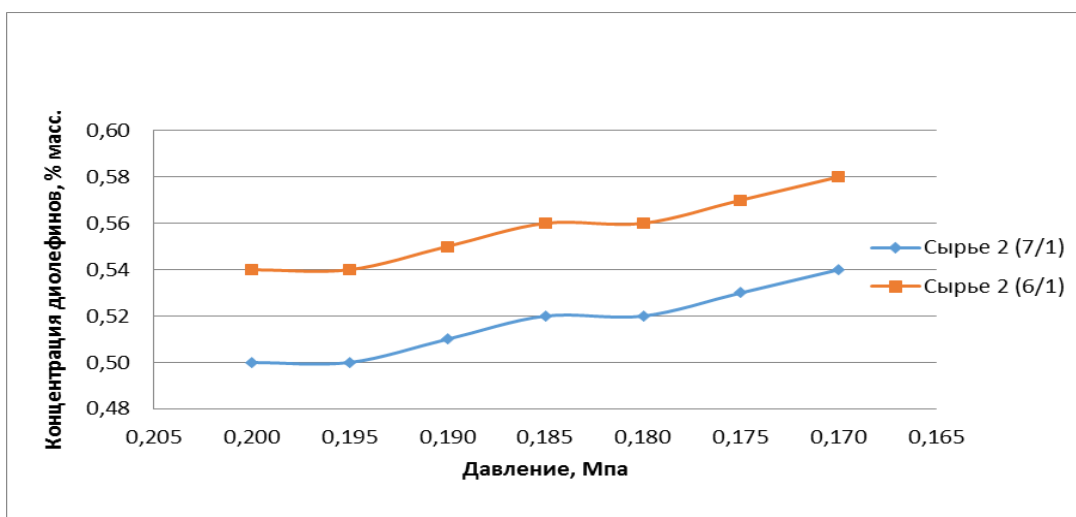


Рисунок 31 – Зависимость содержания диолефинов от давления в реакторе (сырье 2)

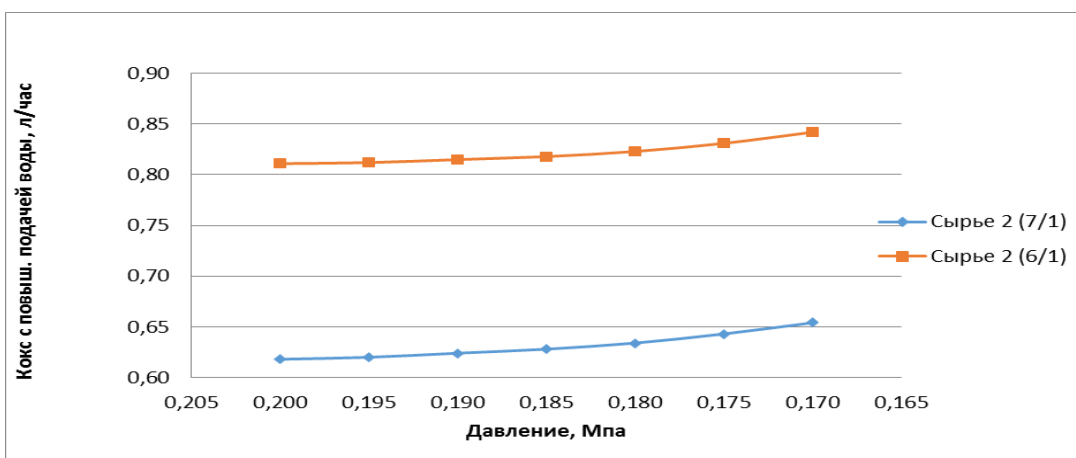


Рисунок 32 – Зависимость содержания кокса на катализаторе от давления в реакторе (сырье 2)

3.3 Рекомендуемый расход подачи воды в реактор дегидрирования

Подача воды в реактор способствует частичной деструкции образовавшегося на поверхности катализатора кокса, при этом расход воды регулируется определенным образом и ограничен верхним пределом при различных температурах ведения процесса.

Для определения оптимального расхода воды был произведен прогнозный расчет сырьевого цикла работы катализатора с помощью моделирующей системы, при этом для качественного сравнения составлялись графики расхода воды при рабочем (0,192 МПа) и пониженном (0,187 МПа) давлениях, а также при различном мольном соотношении (табл. 5, 6).

Таблица 5 – График расхода воды при рабочем давлении (0,192 МПа)

Температура, °С	Рекоменд. вода, л/час		Кокс с повыш. подачей воды, л/час		Кокс при постоянном расходе воды, л/час	
	7/1	6/1	7/1	6/1	7/1	6/1
467,9	0	0,6	0,01	0,09	0,02	0,09
468,7	0,1	1,5	0,05	0,23	0,06	0,23
469,7	0,2	2,5	0,06	0,37	0,08	0,31
470,9	0,6	3,7	0,08	0,55	0,09	0,55
471,4	1,0	4,2	0,15	0,50	0,16	0,62
472,8	2,6	5,4	0,39	0,60	0,42	0,79
473,7	3,3	6,2	0,50	0,70	0,53	0,90
474,6	4,4	7,1	0,51	0,80	0,60	1,02
475,5	5,2	7,7	0,60	0,90	0,64	1,11
476,7	6,2	8,7	0,70	1,00	0,76	1,24
477,7	7,1	9,6	0,80	1,10	0,89	1,35
479,4	8,9	10,8	0,90	1,20	1,15	1,51
481,5	10,2	12,3	1,10	1,30	1,41	1,69
483,5	11,8	13,6	1,20	1,50	1,53	1,85
486,3	13,7	15,9	1,40	1,70	1,82	2,10

Таблица 6 – График расхода воды при пониженном давлении (0,187 МПа).

Температура, °C	Рекоменд. вода, л/час		Кокс с повыш. подачей воды, л/час		Кокс при постоянном расходе воды, л/час	
	7/1	6/1	7/1	6/1	7/1	6/1
467,9	2,54	5,47	0,38	0,6	0,39	0,78
468,7	3,60	6,50	0,54	0,7	0,56	0,98
469,7	4,52	7,13	0,5	0,8	0,68	1,09
470,9	5,77	8,33	0,6	0,9	0,86	1,23
471,4	6,30	9,08	0,7	0,9	0,93	1,34
472,8	7,30	9,70	0,8	1,0	1,10	1,44
473,7	8,40	10,57	0,9	1,1	1,22	1,54
474,6	9,08	11,52	1,0	1,1	1,31	1,66
475,5	9,81	12,29	1,1	1,2	1,41	1,76
476,7	10,39	12,87	1,1	1,3	1,49	1,81
477,7	11,91	13,98	1,3	1,5	1,68	1,92
479,4	12,90	14,93	1,4	1,6	1,81	2,04
481,5	14,03	15,12	1,5	1,7	1,94	2,23
483,5	15,99	16,87	1,6	1,7	2,06	2,89
486,3	16,50	18,03	1,7	1,8	2,23	3,48

Прогноз проводился при рекомендуемой концентрации олефинов 8,77 % масс. Сравнивая полученные результаты, можно заметить, что при пониженном давлении (0,187 МПа) расход воды больше, чем при рабочем давлении. Аналогичная зависимость наблюдается и при снижении мольного соотношения «водород/сырье». При постоянной подаче воды в реактор содержание кокса на поверхности катализатора выше, чем при повышающемся режиме подачи воды.

Таким образом, предельный расход подачи воды находится в интервале 14-18 л/час.

3.4 Анализ катализатора дегидрирования

Для проведения термогравиметрического анализа (ТГА) был взят образец отработавшего платиносодержащего катализатора дегидрирования сырьевого цикла 2014-2015 гг.

По результатам синхронного термического анализа для катализатора были получены термограммы ТГА и ДСК, результаты которых представлены на рис. 33. Окисление кокса – это экзотермический процесс (положительный

тепловой эффект на кривой ДСК), сопровождающийся изменением массы за счет образования газообразных продуктов окисления.

По результатам анализа, на кривой ТГА наблюдается 7 температурных интервалов, в пределах которых происходило уменьшение массы образца катализатора (30,7010 мг).

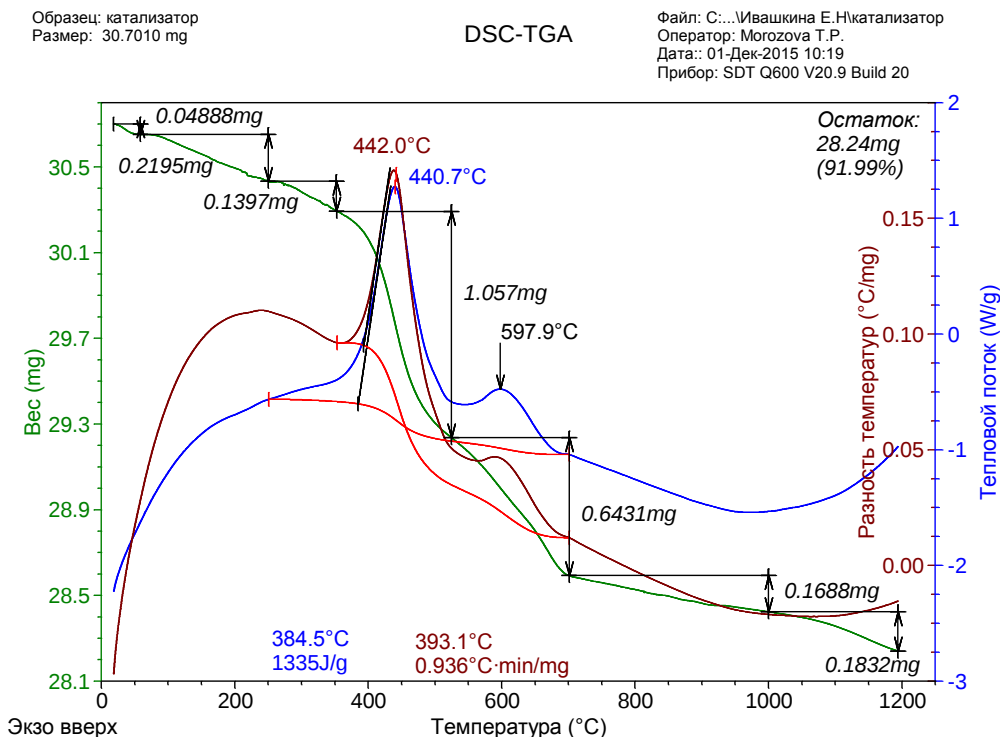


Рисунок 33 – Дериватограмма платиносодержащего катализатора дегидрирования сырьевого цикла 14-15 гг.

Два первых температурных интервала 20-60°C и 60-250°C соответствуют удалению из образца адсорбированной влаги и газов, масса образца катализатора при этом уменьшилась на 0,2684 мг (0,0489 мг + 0,2195 мг). Третий, четвертый, пятый и шестой интервалы соответствуют окислению аморфного кокса с протеканием физических эндотермических процессов в катализаторе (перекристаллизация оксида алюминия). В результате 3-6 интервалов (250-1000°C) уменьшение массы образца катализатора составило 2,0086 мг. Седьмой и последний температурный интервал соответствует окислению графитированного кокса (1000-1200°C) – изменение массы на 0,1832 мг. Таким образом, общее изменение массы катализатора составило 2,4602 мг.

Изменение массы при окислении кокса с поверхности катализатора составило 2,1918 мг, что соответствует 7,14 % (масс.) от массы зерна катализатора. При этом аморфной структуры кокса на катализаторе – 6,54 % (масс.). В сравнении с катализатором предыдущего цикла (мольное соотношение 7/1, температура не превышала 486°C) это значение превышает практически в 2 раза (3,55 % масс.) (рис. 34).

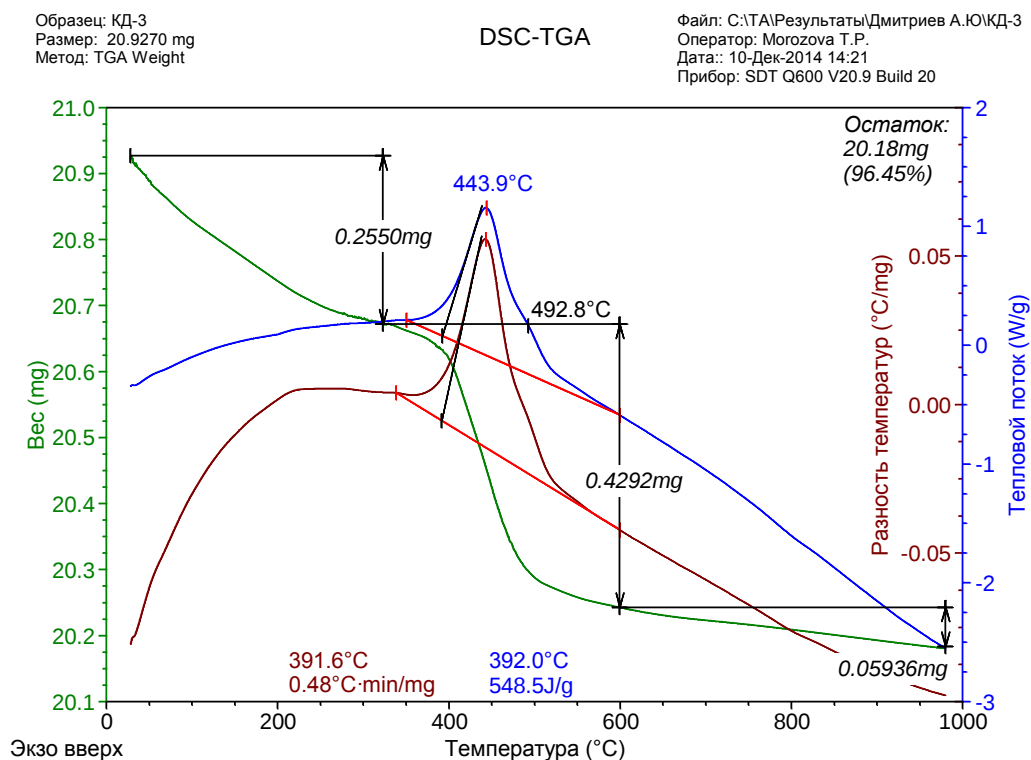


Рисунок 34 –Дериватограмма платиносодержащего катализатора сырьевого цикла 2013-2014 гг.

Данное несоответствие объясняется более жестким режимом сырьевого цикла 14-15 гг., (мольное 6/1, температура до 489°C, качество и состав сырья процесса дегидрирования варьировалось в широких пределах), а также длительностью цикла (больше цикла 13-14 гг. на 50 суток).

3.5 Прогнозирование срока службы катализатора

С помощью моделирующей системы был получен план эксперимента, согласно которому был определен срок службы катализатора (в сутках) при рекомендуемой концентрации олефинов 9,1 %масс. и мольном соотношении 6,5/1 (табл.7).

Таблица 7 – План эксперимента 31 июля 2015 г.

Прогноз на дату (сутки работы катализатора)	Температура, °С	Кокс с повыш.подачей воды, л/час	Рекоменд.вода, л/час
29.08.2015 г. (30)	470,9	0	4
27.09.2015 г. (60)	472,8	0,2	5,23
26.10.2015 г. (90)	473,7	0,5	5,89
24.11.2015 г. (120)	474,6	0,7	6,43
23.12.2015 г. (150)	475,5	0,9	7,81
21.01.2016 г. (180)	476,7	1,1	8,46
19.02.2016 г. (210)	477,1	1,2	9,68
19.03.2016 г. (240)	479,4	1,4	11,46
17.04.2016 г. (270)	481,2	1,5	13,88
16.05.2016 г. (300)	482,9	1,6	15,35
14.06.2016 г. (330)	484,4	1,7	16
13.07.2016 г. (360)	486,8	1,8	16

Прогнозируемая длительность сырьевого цикла работы катализатора при данном технологическом режиме составила 360 суток (реальная длительность сырьевого цикла составила 290 суток).

Прогнозирование процесса позволяет заранее определить наиболее оптимальный технологический режим процесса, а также позволяет в реальном времени реагировать на возможные изменения технологии. К таким изменениям относятся перепады давления в реакторе, колебания состава сырья, изменение расходов того или иного потока: ВСГ, сырья, деминерализованной воды. Также при прогнозировании можно учесть требуемую концентрацию олефинов в продуктовом потоке и динамику коксообразования на катализаторе.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок.

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

Продуктом (результат НИР) – рекомендации по оптимизации режимов процесса получения олефинов, используемых в производстве синтетических моющих средств.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Оценивая конкурентоспособность проекта, необходимо сравнить его с другими проектами (приложение Б).

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность инженерного решения или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

4.1.3 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. Результаты SWOT-анализа представлены в приложении В.

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Бланк оценки степени готовности научного проекта представлен в приложении Г.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (2)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Значение степени проработанности научного проекта составило 48, что говорит о средней перспективности. Значение уровня имеющихся знаний у разработчика составило 61 баллов, т. е. перспективность выше среднего.

4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Методом коммерциализации научной разработки был выбран инжиниринг. Данный метод как самостоятельный вид коммерческих операций предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции [28].

4.2 Инициация проекта

Таблица 8 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Оптимизация режимов работы промышленной установки получения олефинов
Ожидаемые результаты проекта:	Возможность подобрать определенные режимы установки, позволяющие увеличить выход целевого продукта
Критерии приемки результата проекта:	Возможность внедрения полученного технологического режима работы промышленной установки получения олефинов

Таблица 9 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, дни.
1	Ивашкина Елена Николаевна, НИ ТПУ, профессор, д.т.н. кафедры ХТТ и ХК	Руководитель проекта	Координирует деятельность участников проекта	11
2	Фефелова Ксения Олеговна, НИ ТПУ, студент кафедры ХТТ и ХК,	Бакалавр	Выполнение НИР	160
ИТОГО:				171

4.3 Планирование научно – исследовательских работ

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе составлен перечень этапов проведения работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по

видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 10.

Таблица 10 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждения технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Постановка задачи исследования	Бакалавр
Теоретическое обоснование и проведение экспериментальных исследований	3	Литературный обзор	Бакалавр
	4	Экспериментальная часть	Бакалавр
Обобщение полученных результатов, выводы по проделанной работе	5	Обсуждение результатов и оценка эффективности проведенных исследований	Бакалавр, Руководитель
<i>Проведение ОКР</i>			Бакалавр
Разработка технической документации и проектирование	6	Анализ экологичности и экономичности проведенных исследований	Бакалавр
Оформление отчета по НИР	7	Оформление пояснительной записки	Бакалавр

4.3.2 План проекта

Таблица 11 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Составление и утверждения технического задания	5	12.10.15	17.10.15	Ивашкина Е.Н.
2	Постановка задачи исследования	6	18.10.15	23.10.15	Фефелова К.О.
3	Литературный обзор	15	24.10.15	7.11.15	Фефелова К.О.
4	Экспериментальная часть	105	08.11.16	31.03.16	Фефелова К.О.
5	Обсуждение результатов и оценка эффективности проведенных исследований	14	01.04.16	15.04.16	Ивашкина Е.Н., Фефелова К.О.
6	Анализ экологичности и экономичности проведенных исследований	14	16.04.16	30.04.16	Фефелова К.О.
7	Оформление пояснительной записки	14	01.05.16	15.05.16	Фефелова К.О.

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

На основе табл. 11 построен календарный план-график (приложение Д) по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам за период времени дипломирования.

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, отражены в табл. 12.

Таблица 12 – Расчет затрат на сырье

№ п/п	Наименование затрат	Единица измерений	Расход	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
1	Электроэнергия	кВт/ч	75	2,1	158

Расчет затрат на электроэнергию определяется по формуле:

$$E_э = \sum N_i \cdot T_э \cdot Ц_э \quad (3)$$

где N_i – мощность электроприборов по паспорту, кВт;

$T_э$ – время использования электрооборудования, час;

$Ц_э$ – цена одного кВт·ч, руб. (2,1 руб/ кВт·ч).

$$E_э = \sum N_i \cdot T_э \cdot Ц_э = 158 \text{ руб.}$$

4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для НТИ

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудовани я	Цена единицы оборудован ия, руб.	Мощность электроприбор, кВт	Общая стоимость оборудован ия, руб.
1	Ноутбук	1	25000	0,075	25000

4.4.3 Расчет заработной платы исполнителей темы НТИ

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 10 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп} \quad (4)$$

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p \quad (5)$$

Дополнительная заработная плата рассчитывается формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} \quad (6)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,07%)

Расчет основной заработной платы сводится в табл. 14.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

Исполнение	З _{тс} , руб.	k _{пр}	k _д	k _р	З _м , руб	З _{дн} , руб.	T _р , раб.дн.	З _{осн} , руб.	З _{доп} , руб.
Руководитель	33162,87	0,3	0,2	1,3	64667,6	4575,12	11	50326,32	6542,42
Студент	1500,00	0,3	0,2	1,3	2925,00	156	160	24960	-
Итого	75286,32								6542,42
Расходы по заработной плате исполнителей темы									81828,74

4.4.4 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 следующей формулы:

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (табл. 15).

Таблица 15 – Социальные отчисления и дополнительная заработная плата

Исполнитель	Заработная плата исполнителей темы	Социальные отчисления				
		ПФР (22%)	ФСС (2,9 %)	ФОМС (5,1%)	Страхование по классу опасности (0,5%)	Итого
Руководитель проекта	81828,74	18002,32	2373	4173,27	409,14	24957,73
Студент	24960	5491,2	723,8	1273	124,8	7612,8
Итого						32570,53

4.4.5 Накладные расходы НТИ

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации (печать, ксерокопирование материалов исследования и т.д.). Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{нр}, \quad (8)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (примерно 0,16).

4.4.6 Формирование бюджета затрат НТИ

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 16.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Материальные затраты НТИ (электроэнергия)	158	150	165
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	25000	20000	27000
3. Затраты по заработной плате исполнителей темы	81828,74	79680,53	82350,15
4. Социальные отчисления	32570,53	31000,7	33800,6
5. Накладные расходы	3500	3000	3400
6. Бюджет затрат НТИ	143057,27	138831,23	146715,75

Круговая диаграмма на рисунке отражает все основные затраты на проведение научно технического исследования.



Рисунок 35 – Круговая диаграмма материальных затрат на проведение НТР

4.5 Определение 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 получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (9)$$

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

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

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

$$\text{Для нашей разработки: } I_{\text{финр}}^p = \frac{143057,27}{146715,75} = 0,98$$

$$\text{Для первого аналога: } I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{138831,23}{146715,75} = 0,95$$

$$\text{Для второго аналога: } I_{\text{финр}}^{a2} = \frac{146715,75}{146715,75} = 1$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы). Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности (I_p) производился выше.

$$\text{Для нашей разработки: } I_p^p = 4,32$$

$$\text{Для первого аналога: } I_p^{a1} = 3,80$$

$$\text{Для второго аналога: } I_p^{a2} = 3,88$$

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

$$I_{\text{эф}}^p = \frac{I_p^p}{I_{\text{финр}}^p} ; I_{\text{эф}}^a = \frac{I_p^a}{I_{\text{финр}}^a} \quad (10)$$

Для нашей разработки: $I_{\text{эф}}^p = \frac{4,32}{0,98} = 4,41$

Для первого аналога: $I_{\text{эф}}^{a1} = \frac{3,80}{0,95} = 4,0$

Для второго аналога: $I_{\text{эф}}^{a2} = \frac{3,88}{1} = 3,88$

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

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{эф}}^p}{I_{\text{эф}}^a} \quad (11)$$

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

$I_{\text{эф}}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{\text{эф}}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 17 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог 1	Разработка	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,95	0,98	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,80	4,32	3,88
3	Интегральный показатель эффективности	4,0	4,41	3,88
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,1	1,14	

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

5 Социальная ответственность

5.1 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.18 [29].

Таблица 18 – 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 ³	Характеристика токсичности (воздействие на организм человека)
			кипения	плавления	самовоспламенения		
Фракция н-парафинов C ₁₀ -C ₁₃ , очищенные рециркулирующие парафины	4	жидкость	150-260	-	228	900/300 (по алифатическим предельным углеводородам C ₁ -C ₁₀ (в пересчёте на C за исключением метана)).	Оказывает наркотическое действие. Вызывает раздражение слизистой оболочки верхних дыхательных путей, оболочки глаз, кожных покровов; возможны потеря обоняния, аппетита.
Моноолефины в смеси с н-парафинами	4	жидкость	-	-	228		
Лёгкая фракция Пакол	4	жидкость	-	-	237		
Алюмоплатиновый катализатор	3	твёрдое	-	-	-	1,5	Наиболее выражен сенсibilизирующий эффект (астматическое дыхание с одышкой, кашель, светобоязнь, насморк, покраснение и шелушение кожи). При длительном воздействии возможно разрастание соединительной ткани в лёгких (фиброз).
ВСТ	-	газ	минус 252,8 (по H ₂)	-	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 за 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 [30].

5.2 Характеристика опасных факторов рабочей зоны

Рабочее место для выполнения экспериментальной части бакалаврской работы представляет собой компьютерный класс корпуса Национального исследовательского Томского политехнического университета.

При работе на ПК, согласно [31], опасными и вредными производственными факторами являются:

- повышенная нагрузка на зрение, которая может привести к снижению остроты зрения и заболеваниям глаз;
- возможность поражения электрическим током;
- недостаточная освещенность на рабочем месте;
- электромагнитное излучение монитора и клавиатуры;
- электростатический заряд на экране монитора;
- шум в помещении;
- неудовлетворительные метеорологические условия на рабочем месте, которые могут вызвать простудные заболевания;
- напряжение внимания и интеллектуальные нагрузки;
- длительная статическая нагрузка и монотонность труда.

Влияние вредных и опасных факторов приводит к ухудшению здоровья, появлению профессиональных заболеваний.

Проанализируем факторы рабочей зоны на предмет выявления их вредных проявлений. В данном исследовании к факторам рабочей зоны относятся производственные метеоусловия, электромагнитные поля, производственное освещение, шумы.

Микроклимат

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 [32].

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 [33] рабочее помещение для категории тяжести работ 1а (энергозатраты до 139 Вт) температура воздуха должна быть в холодный период года не более 22-24°C, в теплый период года 20-25°C. 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.

Ориентируясь на оптимальные и допустимые показатели микроклимата на рабочих местах [34], можно сделать вывод о том, что метеоусловия являются оптимальными, то есть гарантируют поддержание нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения реакции терморегуляции и производят условия для повышенной степени работоспособности.

Ионный состав воздуха должен содержать следующее количество отрицательных и положительных аэроионов; минимально необходимый уровень 600 и 400 ионов в 1 см³ воздуха; оптимальный уровень 3000-5000 и 1500-3000 ионов в 1 см³ воздуха; максимально допустимый – 50000 ионов в 1 см³ воздуха [35].

Электромагнитные излучения

В кабинете имеется два источника электромагнитного излучения: монитор и системный блок.

Электромагнитные излучения приводят к развитию функциональных расстройств (пагубное воздействие на нервную систему) и патологических

состояний (головной боли, снижение работоспособности к концентрации внимания, снижение артериального давления, функциональные нарушения зрения, развитие катаракты, кожные заболевания). Электромагнитное излучение оказывает влияние на репродуктивные функции.

Уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах нормы допустимых уровней напряженности электрических полей зависят от времени нахождения служащего в рабочей зоне. Время приемлемого нахождения в контролируемой зоне в часах:

$$T = 50/E - 2.$$

Производство в условиях облучения электрическим полем с напряженностью 20–25 кВ/м продолжается не более 10 минут. При напряженности не выше 5 кВ/м пребывание людей в рабочей зоне допускается в течение 8 часов [34].

Производственное освещение

Свет снабжает зрительное восприятие, которое дает около 90% информации об окружающей среде, воздействует на тонус центральной и периферической нервной системы, на обмен веществ в организме, его иммунные и аллергические реакции, на дееспособность и здоровье человека. Скудное освещение рабочего места осложняет длительную работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости. Слишком низкие уровни освещенности приводят к апатии и сонливости, а иногда вызывают развитие чувства тревоги. При длительной работе в условиях минимального освещения снижается интенсивность обмена веществ в организме и ослабляется его реактивность. Так же нежелательно пребывание в комнате с ограниченным спектральным составом света и монотонным режимом освещения.

Работа, связанная с документами требует хорошего освещения. Слишком яркое освещение уменьшает зрительные функции, способствует перевозбуждению нервной системы, снижает дееспособность, нарушает

механизм сумеречного зрения. Воздействие чрезмерной яркости может вызывать фотоожоги глаз и кожи, кератиты, катаракты и другие нарушения.

За счет рационального освещения помещений и рабочих мест обеспечивается снижение утомляемости работающих и повышается производительность труда. Нормы естественного освещения сводятся к нормированию коэффициента естественного освещения [36].

На рабочем месте, в компьютерном классе, освещение комбинированное, причем естественное освещение осуществляется через габаритное окно, что обеспечивает качественное освещение в течение всего рабочего периода без утомления глаз.

Производственные шумы

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 [37, 38].

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.

Профилактические меры

Общие требования к организации режима труда и отдыха при работе с ВДТ и ПЭВМ прописаны в [31].

Характерные требования к помещениям, где используются компьютеры:

- площадь на одно рабочее место должна быть не менее 6 м^2 , а объем - не менее 20 м^3 ;
- не допускается расположение рабочих мест в подвальных помещениях.

В помещениях с ЭВМ ежедневно должна проводиться влажная уборка.

Для защиты от электромагнитного излучения компьютера следует использовать жидкокристаллические мониторы, поскольку его излучение значительно меньше, чем у ЭЛТ мониторов (монитор с электроннолучевой трубкой). Также рекомендуется расположение монитора в углу, так что бы излучение поглощалось стенами. До и после работы за компьютером помещение необходимо проветривать в течение 5-10 минут, желательны частые перерывы во время работы.

Для защиты от попадания высокого напряжения на корпус оборудования используется заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Средства защитного отключения обеспечивают автоматическое снятие напряжения питания с установки при выходе контролируемого параметра за допустимые пределы.

Электробезопасность

Исследование проводилось в компьютерном классе, где компьютер является основным источником поражения током.

При поражении электрическим током различают два вида травм: местные – ожоги, электрические травмы, механические повреждения, общие – электрические удары. Электрические удары в зависимости от исхода делятся на 4 степени:

- 1 – судорожное сокращение мышц без потери сознания;
- 2 – судорожное сокращение мышц с потерей сознания;
- 3 – нарушение сердечной деятельности или дыхания;
- 4 – отсутствие дыхания и кровообращения – клиническая смерть [39].

Пожаровзрывоопасность

Помещение компьютерного класса относится к невзрывоопасным объектам. Согласно статье 5 [40] в помещении предусмотрена система пожаровзрывобезопасности.

При возникновении пожара необходимо принять все меры по его локализации и тушению. Для этого должен быть обеспечен проход между компьютерными столами, выходы недопустимо загромождать различными предметами. При возникновении возгорания все сотрудники должны действовать четко, в соответствии с заранее разработанной программой согласно инструкции.

Для тушения возможного загорания и пожаров класс оснащен специально оборудованным щитом, на котором установлены:

- а) ручной пенный огнетушитель ОХП, применяемый для тушения установок, находящихся под напряжением;
- б) асбестовое одеяло, которое используется при тушении обесточенных электропроводов, горячей одежды;

в) ящик с песком для тушения обесточенных горящих на горизонтальной поверхности проводов.

5.3 Охрана окружающей среды

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 [30].

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Одним из важнейших факторов в безопасности жизнедеятельности людей является подготовленность к чрезвычайным ситуациям. Чрезвычайная ситуация – это совокупность таких обстоятельств, которые сопровождаются разрушениями зданий, сооружений, материальных ценностей, поражения и гибелью людей.

К чрезвычайным ситуациям относят [41]:

- производственные аварии;
- стихийные бедствия;
- социальные конфликты.

Производственная авария

Под производственной аварией понимают внезапную остановку работы или нарушение процесса производства, приводящую к повреждению или уничтожению материальных ценностей. Аварии могут возникать в результате стихийного бедствия, а также нарушения технологического регламента, правил эксплуатации машин, оборудования и установленных мер безопасности.

Оперативная часть плана ликвидации возможных аварий предусматривает способы оповещения об аварии, выхода людей из опасных зон, включение систем пожаротушения. План ликвидации аварий изучает весь персонал, а также работники спасательной станции и пожарной части.

Стихийные бедствия

Стихийные бедствия – такие явления природы, которые вызывают экстремальные ситуации, нарушают нормальную жизнедеятельность людей и работу предприятий. В зимнее время года в результате обваловых снегопадов могут возникнуть заносы и очередь на транспортных магистралях, восстанавливается работа жизнеобеспечивающих объектов, энерго-, тепло-, водоснабжения. Снег дорожного полотна удаляется в подветренную сторону. Широко используют снегоочистительную технику. Для проведения работ привлекается весь наличный транспорт, погрузочная техника и население. При оледенении наиболее подвержены разрушительному действию линии электропередачи и связи, контактные сети электротранспорта. В борьбе с оледенением используют три способа: механический, тепловой и с применением антиобледенителей. На дорогах лед скалывают или посыпают песком, шлаком, мелким гравием и, в первую очередь, на участках с плохой видимостью и на поворотах.

Социально-военные конфликты

Во время военных конфликтов приводится в боевую готовность и формируется гражданская оборона, население снабжают средствами индивидуальной защиты. При угрозе нападения противника по радиотрансляционной сети передают сигналы гражданской обороны:

“Воздушная тревога”, “Отбой воздушной тревоги”, “Радиационная опасность”, “Химическая тревога”.

По сигналу “Воздушная тревога” необходимо отключить установку, выключить рубильник и покинуть помещение в соответствии с планом эвакуации. По сигналу "Отбой воздушной тревоги" можно покинуть убежище и вернуться на рабочее место.

5.5 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 [42,43].

Согласно [44], 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 [45] необходимо использовать средства индивидуальной защиты. Во избежание несчастных случаев, следует проводить обучение и проверять знания работников.

Заключение

При выполнении работы была проведена оптимизация технологического режима работы реактора дегидрирования при пониженном давлении. По результатам работы были внесены изменения в моделирующую программу, описывающие процесс дегидрирования высших парафинов при пониженных давлениях.

В ходе исследований был проведен сравнительный мониторинг сырьевых циклов работы платинового катализатора, проанализировано влияние давления и мольного соотношения водород/сырье на выход целевых и побочных продуктов, а также на процесс коксообразования при замене теплообменного оборудования. Таким образом, процесс дегидрирования парафинов рекомендовано вести при давлении в реакторе 0,18-0,187 МПа и мольном соотношении 6,5/1.

В результате работы для сохранения ресурса платиносодержащего катализатора дегидрирования был получен рекомендованный расход воды в реактор при различных температурах, а также определен его верхний предел равный 14-18 л/час. В рамках данной работы был проведен термогравиметрический анализ отработанного катализатора дегидрирования, результаты которого были сравнены с результатами анализа катализатора предыдущего сырьевого цикла.

По результатам оптимизации удалось увеличить производительность установки дегидрирования, обеспечить сбережение ресурса катализатора дегидрирования и сохранить его срок службы. Концентрация олефинов при этом в продуктовом потоке увеличилась в среднем на 7-9 %.

Список публикаций студента

1. Глик П. А. Исследование активности Pt-содержащего катализатора процесса дегидрирования высших n-парафинов при пониженном мольном соотношении водород/сырье / П. А. Глик, В. В. Платонов, К. О. Фефелова; науч. рук. Е. Н. Ивашкина // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XII Международной конференция студентов и молодых ученых, г. Томск, 21-24 апреля 2015 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – С. 362-364.

2. Глик П. А. Анализ работы установки получения олефинов в условиях изменяющегося расхода водородсодержащего газа / П. А. Глик, В. В. Платонов, К. О. Фефелова; науч. рук. Е. Н. Ивашкина // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией, Томск, 6-10 апреля 2015 г.: в 2 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – Т. 2. – С. 217-218.

3. Фефелова К.О. Сравнительный анализ работы катализатора дегидрирования в различных сырьевых циклах // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва: Томск, 17-20 мая 2016. – Томск: ТПУ, 2016 – С. 390-391.

Список используемых источников

1. Рынок мыла и синтетических моющих средств. Текущая ситуация и прогноз 2014-2018 гг. [Электронный ресурс]: <http://alto-group.ru/otchet/marketing>, свободный., – Заглавие с экрана. Дата обращения 15.04.16 г.
2. Баннов П.Г. Процессы переработки нефти. – М.: ЦНИИТЭ – нефтехим, - 2012. – 415 с.
3. Н.А. Каюмов, А.А. Назаров, С.И. Поникаров, П.В. Вилохина. Современные промышленные технологические процессы дегидрирования углеводородов и их аппаратное оформление // Вестник Казанского технологического университета. – 2013 – Т.16. – №15. – С.303-308.
4. И.А. Макарян, М.И. Рудакова, В.И. Савченко. Промышленные процессы целевого каталитического дегидрирования пропана в пропилен // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – №6 (86). – С. 67-81.
5. А.В. Абрамова. Синтез этилена и пропилена из метанола на силикоалюмофосфатном катализаторе SAPO-34 // Катализ в промышленности. – 2009. – №6. – С.7-16.
6. С.Ю. Клочкова, Н.Ю. Ермолаева, Р.Ю. Наренков, В.Л. Ханикян, В.Н. Сапунов. Исследование активности ряда цеолитных катализаторов в процессе получения пропилена из метанола // Успехи в химии и химической технологии. – 2011. – Т.25. – №5 (121). – С. 37-42.
7. В.И. Кашковский, А.А. Григорьев. Метатезис олефинов – прошлое, настоящее, будущее // Катализ и нефтехимия. – 2006. – №14. – С. 1-10.
8. Г.П. Белов. Каталитический синтез высших олефинов из этилена // Катализ в промышленности. – 2014. – №3. – С. 13-19.
9. Высшие олефины. Олигомеризация этилена по методу фирмы Shell [Электронный ресурс]: <http://e-him.ru>, свободный., – Заглавие с экрана. Дата обращения: 18.04.16 г.

10. Макарян И.А., Савченко В.И. Каталитическое дегидрирование как путь переработки легкого углеводородного сырья // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2009. – №7. – С.20-25.

11. Потехин В.М., Потехин В.В. Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки: учебник для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб: ХИМИЗДАТ, 2007. – 944 с.

12. Catalysts. Catalysts for Petrochemicals [Электронный ресурс]: <http://www.uop.com/products/catalysts/>, свободный., - Заглавие с экрана. Дата обращения: 19.04.16 г.

13. Пат. 2190466 (RU) Носитель для катализаторов / Котельников Г.Р.; Титов В.И.; Лаврова Л.А., 2002.

14. Пат. 2167709 (RU) Катализатор для дегидрирования парафиновых углеводородов / Котельников Г.Р.; Титов В.И.; Золотовский Б.П.; Беспалов В.П.; Буянов Р.А., 2001.

15. Пат. 2188073 (RU) Катализатор для дегидрирования парафиновых углеводородов / Котельников Г.Р.; Беспалов В.П.; Титов В.И., 2002.

16. Пат. 2183988 (RU) Катализатор для дегидрирования парафиновых углеводородов / Котельников Г.Р.; Титов В.И.; Лаврова Л.А., 2002.

17. Пат. 2176157 (RU) Катализатор для дегидрирования парафиновых углеводородов / Котельников Г.Р.; Титов В.И.; Лаврова Л.А., 2001.

18. Пат. 218868 (RU) Реакторная система для каталитического дегидрирования углеводородов / Котельников Г.Р.; Комаров С.М.; Марушак Г.М.; Сиднев В.Б.; Смирнов А.Ю.; Николаев В.В.; Тюкавин Г.Н., 2002.

19. Пат. 2301107 (RU) Реактор для дегидрирования парафиновых углеводородов C₃-C₅ / Котельников Г.Р.; Комаров С.М., 2007.

20. Пат. 2342988 (RU) Трубно-мембранно-щелевой реактор / Алдошин С.М.; Троицкий В.Н.; Савченко В.И.; Трусков Л.И.; Яруллин Р.С.; Бурлаков А.И.; Матковский П.Е., 2009.

21. 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.

22. Е.Н. Ивашкина, А.В. Кравцов, Э.Д. Иванчина, С.В. Сизов. Разработка формализованного механизма дегидрирования высших парафинов C_{10} - C_{13} на Pt-катализаторах // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т.309. – №5. – С.81-86.

23. 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.

24. Романовский Р.В. Совершенствование процессов получения моноолефинов C_9 - C_{14} в реакторах с неподвижным слоем катализатора // Диссертация на соискание уч. степени кандидата технических наук: 05.17.08 // Р.В. Романовский. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск. – 2012. – 160 с.

25. 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.

26. Дж. Х. Гэри, Г.Е. Хэндверк, М.Дж. Кайзер Технологии и экономика нефтепереработки. – СПб: Профессия, - 2013. – 440 с.

27. Ивашкина Е.Н., Иванчина Э.Д., Францина Е.В., Платонов В.В. Повышение ресурса использования сырья на установках получения олефинов // Фундаментальные исследования. 2013. – № 8-3. – С. 605-609.

28. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В.

Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницына. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

29. ГН 2.2.5.686-98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы.

30. Крепша Н.В., Свиридов Ю.Ф. Безопасность жизнедеятельности: Учеб.– метод. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. - 144 с.

31. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

32. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

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

34. СанПиН 2.2.2.542-96. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

35. СанПиН 2.2.4.1294-03. Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений.

36. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.

37. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

38. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий.

39. ГОСТ 12.1.019-79. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

40. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности № 123-ФЗ.

41. ГОСТ Р 22.0.02 – 94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

42. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.12.2015).

43. Генеральное соглашение между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации на 2014 – 2016 годы.

44. Приказ от 12 апреля 2011 г. N 302.

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

Приложение А (рекомендуемое)

Таблица А.1 – Основные характеристики сырьевых циклов работы катализатора дегидрирования

Период	Длительность, сутки	Температурный режим	Реактор	Катализатор	Мольное соотношение	Средняя концентрация олефинов		Средняя концентрация диолефинов		Выработка ЛАБ		Расход воды, л/ч	Содержание кокса, % мол.
						Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Ср., т/сутки	Сум., т		
18.01.2011 – 10.03.2011	52	482..489 °C	R 301A	DEH-15	7:1	7,03 (9,14)	9,17	0,75	0,74	172,7	9053	4..6,5	2,16
11.03.2011 – 13.03.2012	369	470..486 °C	R 301B	DEH-15	7:1	7,20 (9,36)	8,82	0,59	0,61	175,8	65590	4..9	0,93
14.03.2012 – 21.05.2012	69	470..471 °C	R 301A	DEH-15	7:1	7,17 (9,32)	8,73	0,45	0,53	176,5	12182	4..4,5	0,10
Ремонт													
06.07.2012 – 25.03.2013	262	470..488 °C	R 301A	DEH-15	7:1	-	9,14	-	0,65	173,6	45474	4,5..10	1,04
30.03.2013 – 17.04.2014	384	468..487°C	R 301B	DEH-15	7:1, кроме 24.04.2013-02.05.2013 8,7:1; 24.07.2013-13.08.2013 7,5:1	-	8,65	-	0,59	171,8	66717	4..9	0,82
18.04.2014 – 19.08.2014	122	470..472 °C	R 301A	DEH-15	7:1	7,12 (9,26)	8,77	0,49	0,53	166,3	21220	4..5	0,22
Ремонт													
21.09.2014 – 27.07.2015	310	472..489 °C	R 301A	DEH-15	7:1, кроме 18.11.2014-24.07.2015 6:1	7,23 (9,4)	8,82	0,58	0,65	174,3	53348	4..14	1,51
31.07.2015 – н.в.	321 (на 15.05.2016)	701.. (на 15.05.2016T =481°C)	R 301B	DEH-15	6,5:1								

Приложение Б
(обязательное)

Таблица Б.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,08	4	3	4	0,32	0,24	0,32
2. Удобный в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,06	5	5	4	0,30	0,30	0,24
3. Помехоустойчивый	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
4. Энергосберегающий	0,07	5	4	5	0,35	0,28	0,35
5. Надежный	0,06	4	4	3	0,24	0,24	0,18
6. Уровень шума	0,05	3	4	2	0,15	0,20	0,10
7. Безопасный	0,03	4	4	4	0,12	0,12	0,12
8. Требует ресурсов памяти	0,05	4	3	4	0,20	0,15	0,20
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,06	3	4	4	0,18	0,24	0,24
10. Простота эксплуатации	0,08	5	4	4	0,40	0,32	0,32
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,06	4	4	3	0,24	0,24	0,18
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,04	4	4	4	0,16	0,16	0,16

Экономические критерии оценки эффективности							
1.Конкурентоспособность продукта	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,20
2. Уровень проникновения на рынок	0,06	4	3	4	0,24	0,18	0,24
3. Цена	0,03	5	4	5	0,15	0,12	0,15
4.Предполагаемый срок эксплуатации	0,03	4	3	4	0,12	0,09	0,12
5.Послепродажное обслуживание	0,02	4	4	3	0,08	0,08	0,06
6. Финансирование научной разработки	0,03	4	3	5	0,12	0,09	0,15
7. Срок выхода на рынок	0,04	5	3	4	0,20	0,12	0,16
8. Наличие сертификации разработки	0,03	5	5	4	0,15	0,15	0,12
Итого	1	86	77	78	4,32	3,85	3,89

Приложение В (обязательное)

Таблица В.1 – Матрица SWOT

	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 инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт научных исследований В3. Переход нефтеперерабатывающей отрасли на ресурсосберегающие технологии	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности» 1. Анализ позволяет использовать данные для определения направленности дальнейшей модернизации технологии. 2. Невысокая затратность проекта может привлечь больше сотрудников и исполнителей.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности» 1. Приобретение необходимого оборудования опытного образца для подтверждения разработанных технологий 2. Привлечение новых заказчиков 3. Разработка научного исследования

Угрозы: У1. Введение дополнительных государственных требований к сертификации технологии У2. Переход на альтернативное топливо У3. Истощение природных ресурсов	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы» 1. Продвижение новой технологии с целью появления спроса 2. Модернизация технологии для соответствия требованиям стандартизации	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы» 1. Повышение квалификации кадров 2. Привлечение новых заказчиков 3. Продвижение новой технологии с целью появления спроса 4. Отсутствие прототипа научной разработки говорит об отсутствии спроса на новые технологии и отсутствии конкуренции проекта.
---	--	---

Приложение Г
(обязательное)

Таблица Г.1 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно-технический задел	4	5
Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	5
Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	4
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	4
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	5
Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	4	5
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4

Продолжение таблицы Г.1

Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	5
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	2
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	4
Имеется команда для коммерциализации разработки	3	4
Проработан механизм реализации научного проекта	4	5
ИТОГО БАЛЛОВ	48	61

Приложение Д
(обязательное)

Таблица Д.1 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Вид работ	Исполнители	Т _к , кал. дн	Продолжительность выполнения работ															
			10.15		11.15		12.15		02.16		03.16		04.16		05.16			
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
Составление и утверждения технического задания	Руководитель	5																
Постановка задачи исследования	Бакалавр	6																
Литературный обзор	Бакалавр	15																
Экспериментальная часть	Бакалавр	105																
Обсуждение результатов и оценка эффективности проведенных исследований	Бакалавр, руководитель	14																
Анализ экологичности и экономичности проведенных исследований	Бакалавр	14																
Оформление пояснительной записки	Бакалавр	14																

■ – бакалавр; ■ – руководитель