

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

Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки Химическая технология
 Отделение химической инженерии (ОХИ)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Математическое моделирование процесса дегидрирования пропана

УДК 661.716.1.3.094.258

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Шабаев Адильжан Амандыкулы		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Юрьев Е.М.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Рыжакина Т.Г.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ивашкина Е.Н.	Д.Т.Н.		

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

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

- диены и ацетилены, ррт масс.	не более 5 000,0
- галогены, ррт масс.	не более 1,0
- азот (по аммиаку), ррт масс.	не более 50,0

Таблица — Состав рециркуляционного пропилена

Компонентный состав по ASTM D-2163, %	Давление на границе установки — не ниже 8 бар (изб.), температура 14 °С
- пропилен, % масс.	94,6
- пропан, % масс.	5,2
- этан, ррт масс.	700
- метан, ррт масс.	370
- азот, % масс.	0,1
- водород, ррт масс.	100

— Потребление сырья на установке дегидрирования пропана (кг/ч):

— Пропан — 72925;

— Рециркуляция пропилена — 7856.

— Характеристика энергоресурсов:

— Питательная вода (для выработки пара): P=56 бар(и), t=120 °С;

— оборотная вода деминерализованная (для выработки пара): P=6,5

бар(и), t=окруж. среды;

— Водяной пар низкого давления: P=4 бар(и), T=182 °С;

Таблица — Основные продукты дегидрирования пропана

Показатели качества (наименование и единицы измерения)	Значение
Пропилен	
- пропилен, % масс., не менее	99,5
- этилен, ррт мол., не более	100
- метан+этан, ррт масс., не более	500
- пропан, ррт масс., не более	0,5
- ацетилен+пропандиен+бутадиен, ррт мол., не более	10
- бутилен и выше, ррт мол., не более	10
- водород, ррт мол., не более	5
- кислород, ррт мол., не более	2
- окись углерода, ррт об., не более	0,03
- диоксид углерода, ррт об., не более	2
- общая сера по S, ррт масс., не более	1
Водородсодержащий газ	
- водород, % об., не менее	99,8
- азот+метан, ррт об.,	100
- оксид углерода (II), ррт об., не более	1
- оксид углерода (IV), ррт об., не более	2
- кислород, ррт об., не более	5
- вода, ррт об., не более	10
- общая сера, ррт масс., не более	1

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	<ol style="list-style-type: none"> 1) Введение. 2) Теоретическая часть. Теоретические основы процесса дегидрирования пропана. 3) Современные катализаторы процесса дегидрирования пропана. 4) Современные промышленные технологии дегидрирования пропана. Технология дегидрирования Catofin. 5) Литературный обзор. Математическое моделирование дегидрирование пропана. 6) Цели и задачи работы. Исходные данные для работы. 7) Характеристика инструмента исследования — моделирующей программы Unisim Design R470. 8) Составление математической модели реактора Catofin. 9) Моделирование установки каталитического дегидрирования пропана в среде Unisim Design R470: показатели работы установки в условиях минимального количества работающих реакторов; расчет показателей работы установки при повышении производительности по сырью; расчет вариантов модернизации установки. 10) Раздел ВКР на иностранном языке. 11) Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». 12) Раздел «Социальная ответственность». 13) Заключение (выводы).
--	---

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Математическая модель каталитического дегидрирования пропана (кинетическая модель и модель реактора). 2) Технологические характеристики современных каталитических технологий дегидрирования пропана. 3) Технологическая схема установки дегидрирования пропана Catofin, рассматриваемая в работе. 4) Конструкция реактора Catofin и режимы его работы. 5) Модель установки дегидрирования пропана Catofin, разработанная в системе Unisim Design R470. 6) Результаты моделирующих расчетов. 7) Технологическая схема модернизированной установки дегидрирования пропана Catofin.
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Рыжакина Татьяна Гавриловна, к.э.н., доцент, отделение социально-гуманитарных наук ШБИП
«Социальная ответственность»	Сечин Андрей Александрович, к.т.н., доцент, отделение общетехнических дисциплин ТПУ
«Иностранный язык»	Надеина Луиза Васильевна, к.филол.н, доцент отделение иностранных языков ШБИП

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

Литературный обзор

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

14.03.2022 г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Е.М.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Шабает Адильжан Амандыкулы		

Инженерная школа природных ресурсов
 Отделение химической инженерии
 Направление 18.04.01 Химическая технология
 Профиль «Химическая технология топлива и газа»
 Уровень образования — магистратура
 Период выполнения — весенний семестр 2021/2022 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31 мая 2022 г.
--	----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.02.2022 г.	Введение.	5
15.03.2022 г.	Теоретическая часть. Теоретические основы процесса дегидрирования пропана. Современные катализаторы процесса дегидрирования пропана. Современные промышленные технологии дегидрирования пропана. Технология дегидрирования Catofin.	10
25.03.2022 г.	Литературный обзор. Математическое моделирование дегидрирование пропана	15
05.04.2022 г.	Цели и задачи работы. Исходные данные для работы. Характеристика инструмента исследования — моделирующей программы Unisim Design R470. Составление математической модели реактора Catofin.	10
07.05.2022 г.	Моделирование установки каталитического дегидрирования пропана в среде Unisim Design R470: показатели работы установки в условиях минимального количества работающих реакторов; расчет показателей работы установки при повышении производительности по сырью; расчет вариантов модернизации установки.	40
06.06.2022 г.	Раздел ВКР на иностранном языке. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». Раздел «Социальная ответственность». Заключение (выводы).	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Е.М.	к.т.н.		

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Шабает Адильжан Амандыкулы		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ивашкина Е.Н.	д.т.н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа 2ДМ02	ФИО Шабаев Адильжан Амандыкулы
-----------------	-----------------------------------

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


Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
Составление аналитического обзора по математическим моделям процесса дегидрирования пропана	Работа с научной литературой, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив разработки проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Планирование и формирование бюджета разработки	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение бюджета научного исследования
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности разработки	Проведение оценки экономической эффективности, ресурсоэффективности и сравнительной эффективности различных вариантов исполнения
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения и бюджет проекта 4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности разработки	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2022
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		01.03.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Шабаев Адильжан Амандыкулы		01.03.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

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

Тема ВКР:

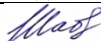
Математическое моделирование процесса дегидрирования пропана	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p><i>Объект исследования:</i> Объектом исследования являются получения пропилена методом каталитического дегидрирования пропана по технологии SATOFIN®. Методологической основой работы является математическое моделирование. <i>Область применения:</i> газ, газохимический промышленность <i>Рабочая зона:</i> установка дегидрирование пропана <i>Размер площадки</i> 193,55 га <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> реакторы 8шт. котел-утилизатор, компрессоры 12шт., печь для нагрева сырья.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации: специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>Экологический кодекс Республики Казахстан от 02 января 2021 г. № 400-VI ЗРК. РНД 211.2.02.03-2004. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сварочных работах (по величинам удельных выбросов), Астана-2004г. 39. РНД 211.2.02.04-2004. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных дизельных установок, Астана – 2005 г. РНД 211.2.02.05-2004. Методике расчета выбросов загрязняющих веществ при нанесении лакокрасочных материалов», Астана, 2004 г «Порядок нормирования объемов образования и размещения отходов производства» РНД 03.1.0.3.01-96;</p>

<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации: Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</p>	<p>Опасные факторы: 1.Повышенная температура поверхностей оборудования и обрабатываемых материалов. 2.Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов. 3.Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем ионизирующих излучений; 4.Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий; Вредные факторы: 1. Повышенный уровень общей вибрации; 2.Повышенный уровень локальной вибрации; 3. Повышенный уровень шума; 4.Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; 5. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего; 6. запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; Расчет: Расчет системы искусственного освещения Все производственные факторы по сфере своего происхождения подразделяют на следующие две основные группы: - факторы производственной среды; - факторы трудового процесса. Из всей совокупности производственных факторов для цели безопасности труда по критерию возможности причинения вреда организму работающего человека выделяют: - неблагоприятные производственные факторы; - производственные факторы, не являющиеся неблагоприятными, то есть нейтрального или благоприятного действия.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</p>	<p>Воздействие на атмосферу: химическое загрязнение газообразными веществами и аэрозолями. Воздействие на литосфера: химические растворители.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</p>	<p>Основными причинами аварий могут быть: - техногенные причины; - ошибки персонала; - дефекты оборудования; - социальные беспорядки; - естественные причины; - экстремальные погодные условия; - оседания почвы</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Шабает Адильжан Амандыкулы		23.04.2022

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 117 страниц, 8 рисунков, 43 таблиц, 30 источника литературы, 1 прил.

Ключевые слова: пропан, пропилен, дегидрирование, CATOFIN, математическое моделирование, катализатор.

Объектом исследования является процесс получения пропилена методом каталитического дегидрирования пропана по технологии CATOFIN.

Цель работы – исследование процесса дегидрирования пропана с использованием метода математического моделирования.

В процессе исследования разрабатывались математическая модель реактора CATOFIN и модель промышленной установки дегидрирования пропана в среде Unisim Design R470.

В результате исследования установлены прогнозируемые режимы работы установки в условиях изменения последовательности реакции и нагрева/регенерации. Также получены результаты, которые можно использовать для выдачи рекомендаций по модернизации установки и оптимизации технологического режима.

Степень внедрения: Разработанные модели отдельного реактора и установки в целом совместно работают в ручном режиме и выдают результаты, пригодные для исследования и анализа.

В будущем планируется провести оптимизацию работы стадии пропана в технологии CATOFIN в зависимости от режимов работы реактора дегидрирования и состава перерабатываемого сырья.

Оглавление

Введение	13
1. Теоретические основы процесса дегидрирования пропана	14
1.1 Основные реакции	14
1.2 Термодинамика процесса	15
1.3 Тепловой баланс	15
1.4 Степень конверсии пропана и ее зависимость от температуры и давления, селективность процесса	16
1.5 Побочные продукты	17
2. Современные катализаторы процесса дегидрирования пропана	19
3. Современные промышленные технологии дегидрирования пропана	21
3.1 Технологические схемы	22
3.2 Используемые катализаторы и вспомогательные материалы	24
3.3 Расходы энергоносителей	26
3.4 Конструкция реакторов	27
3.5 Сравнение промышленных технологий дегидрирования пропана	29
4. Математические модели дегидрирования пропана	33
5. Практическая часть. Моделирование установки дегидрирования пропана Catofin.....	45
5.1. Цели и задачи работы	45
5.2. Программное обеспечение Unisim Design R470	48
5.3 Составление математической модели реактора	50
5.4. Моделирование работы реакторного блока	54
5.5 Повышение производительности установки дегидрирования пропана	54
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	56
6.1 Предпроектный анализ	57
6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	57
6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	57
6.1.3 SWOT-анализ	59
6.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	60
6.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	62
6.2 Инициация проекта.....	63
6.3 Планирование управления научно-техническим проектом	65
6.3.1 Иерархическая структура работ проекта	65
6.3.2 План проект	66
6.4 Бюджет научного исследования	68
6.4.1 Организационная структура проекта	75
6.4.2 План управления коммуникациями проекта	75
6.4.3 Реестр рисков проекта	75
6.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	76

6.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования	76
6.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования	81
7. Социальная ответственность	84
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	85
7.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны	86
7.3 Производственная безопасность	87
7.4 Экологическая безопасность	89
7.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	91
Заключение	99
Список использованных источников	100
Приложение А	103

Введение

Газ пропан относится к наиболее распространенным видам топлива благодаря высоким эксплуатационным показателям и полному отсутствию цвета и запаха. Для него характерны отличные показатели высвобождения тепловой энергии в процессе сгорания. Мировое потребление пропилена составляет 106млн.т. Объем производственных мощностей достигает 118млн.т.

Более половины производства пропилена в мире приходится на страны Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР). В этой области основным процессом для получения олефинов является пиролиз, затем идут каткрекинг, дегидрирование.

Около 14% мировых мощностей по производству пропилена сосредоточено в США. В стране пропилен получают в основном с помощью каткрекинга. Пиролиз и дегидрирование имеют меньшую долю в структуре производства. В Западной Европе производится около 13% мирового объема пропилена, а 60% приходится на пиролиз.[12]

Процесс «CATOFIN» проводят при низком давлении в неподвижном слое алюмохромового катализатора с частой заменой реактора в процессе регенерации реакции. В этом случае тепло, накопленное катализатором в фазе регенерации, используется в фазе дегидрирования. У процесса Catofin есть множество особенностей, в том числе работа реактора в цикле реакция–регенерация, полная длительность которого составляет 24 минуты. Накопление кокса играет большую роль в выборе технологического режима работы установки. Повышение мощности установки должно быть согласовано с работой существующих реакторов и с работой системы разделения продуктов и рецикла непревращенного пропана.

1. Теоретические основы процесса дегидрирования пропана

Дегидрирование – химическая реакция, протекающая с отщеплением атомов водорода от органических соединений. При дегидрировании образуются ненасыщенные соединения, которые используются в качестве сырья для производства синтетического каучука и полимерных материалов. Важные промышленные продукты, полученные в результате процессов дегидрирования углеводородов, включают пропилен, н-бутены, изобутилен, изоамилен, бутадиен, изопрен, стирол, формальдегид, циклогексан, гексаметилендиамин, анилин и др.

Процесс дегидрирования пропана - отделение водорода от пропана с образованием пропилена как правило, проводят на неподвижных слоях алюмохромового, катализатора. Процесс CATOFIN происходит в 8 реакторах с контролируемой последовательностью реакций и нагревом/регенерацией следующей партии сырья.

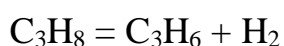
Обычно установку дегидрирования можно разделить на горячую и холодную часть. Горячая часть необходима для продолжения реакции и превращения пропана в пропилен, холодная часть необходима для очистки и отделения целевого продукта от побочных реакции: гидрогенолиз пропана, пропановый крекинг, кокс. Процесс дегидрирования позволяет получить фракцию пропилена с содержанием пропилена не менее 99,5 мол. %[1].

1.1 Основные реакции

Реакция дегидрирования пропана эндотермическая, поэтому сырье перед поступлением в реакторы нагревается до температуры реакции дегидрирования. Пока в одной группе реакторов идет реакция дегидрирования пропана, в других реакторах происходит эвакуация оставшегося продукта реакции, разогрев и выжиг кокса, который конденсируется на катализаторе в процессе реакции дегидрирования пропана.

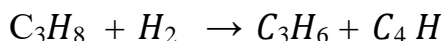
Главная реакция

Дегидрирование пропана в пропилен

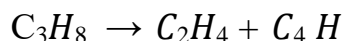


Побочные реакции:

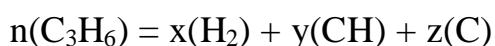
1. Гидрогенолиз пропана



2. Пропановый крекинг



3. Полимеризация пропилена в полимер и кокс



1.2 Термодинамика процесса

Значения тепловых эффектов реакций дегидрирования C_3 - C_5 парафиновых и олефиновых углеводородов свидетельствуют о том, что все реакции дегидрирования углеводородов сильно эндотермичны и для их осуществления требуется подвод тепла [4].

Процесс дегидрирования осуществляется при температуре 590°C - 600°C и давлением 0.5 кгс/см^2 .

1.3 Тепловой баланс

Тепловое равновесие является основой для анализа уровня технического оборудования и энергетического насыщения предприятий и эффективности использования энергетических ресурсов при производстве готовой продукции. Тепловой баланс формируется на основе результатов определенных типов оборудования, технологических процессов, цехов, общих производственных мощностей и предприятия в целом.

Анализ энергопотребления предполагает установление теплового баланса в аналитической форме. Он производится отдельно для каждой установки и технологического процесса цеха, производства.

Таблица 1 - Тепловой баланс установки дегидрирования пропана по технологии SATOFIN мощность по пропилену 503000т/год

№ п/п	Наименование потоков	Расход, кг/ч	Температура, °С	Кол-во тепла, ккал/ч	Кол-во тепла, МДж/час
1	Пропан в эвапоратор	75925	8	367276,56	0,37
2	Газ-носитель в дезтанизатор	7856	14,4	66014,82	0,07
3	Печь нагрева сырья реакторов			50142200,00	50,14
4	Печь нагрева воздуха			211993000,00	211,99
5	Воздух с компрессора			45686424,50	45,69
6	Котел-утилизатор			13408221,80	13,41
7	Котловая питательная вода	3666	120	466315,20	0,47
8	Электроэнергия			832581,48	0,83
	ИТОГО			322962034,36	322,96

Тепловой баланс позволяет:

- Оценить уровень потребления энергии;
- Расчет эффективности оборудования и технологических процессов;
- Определение возможных энергетических запасов источников энергии;
- Определить способы понижения или устранения потерь энергии;
- Обосновать необходимость замены старого оборудования и технологий;
- Выбрать наиболее доступные типы электрических носителей и их параметры;
- Разработка оптимальных схем энергосбережения и режимов энергопотребления цехов и предприятий.

1.4 Степень конверсии пропана и ее зависимость от температуры и давления, селективность процесса

Дадим определение терминам «конверсия», «селективность», «выход».

Конверсия - отношение количества исходного вещества, превратившегося в ходе реакции, к общему количеству исходного вещества, поданного в реактор.

Селективность - отношение количества исходного вещества, превратившегося в целевой продукт реакции, к общему количеству исходного вещества, превратившегося в ходе реакции.

Выход - отношение количества полученного целевого продукта реакции к количеству данного продукта, которое может быть получено из общего количества исходного вещества, превратившегося в ходе реакции.

Согласно принципу Шателье, производительность пропилена увеличивается с повышением температуры и снижением давления. Высокие температуры приводят к процессу разложения пропана на метан и этилен, а также к образованию пропадиена.

Существует несколько реализаций процесса дегидрирования пропана, называемых Oleflex, Catofin и Star. Они отличаются друг от друга конструкцией используемых реакторов и катализаторов, а также методами регенерации катализатора. В некоторых случаях пропан дополнительно разбавляют водородом или паром для снижения его относительного давления [3].

1.5 Побочные продукты

Побочными продуктами установки дегидрирования пропана являются отходящий газ и жидкое топливо, которые используются на установке в качестве топливного газа и жидкого топлива, соответственно.

Отходящие газы являются продуктами окисления и неполного сгорания углеводородного топлива. Выбросы отходящих газов — основная причина превышения допустимых концентраций токсичных веществ и канцерогенов в атмосфере крупных городов, образования смогов, являющихся частой причиной отравления в замкнутых пространствах.

Широкая фракция лёгких углеводородов (ШФЛУ) — продукт переработки попутного нефтяного газа и газового конденсата. ШФЛУ

представляет собой смесь сжиженных углеводородных газов (пропана и бутана) и более тяжёлых углеводородов (C5 и выше). Соотношение изо- и нормальных углеводородов в ШФЛУ соответствует составу исходного сырья.

Таблица 2 - Состав отходящего газа

Состав:	% моль:
Водород	87,3 – 90,4
Азот	1,7 – 3,5
СО	2,6 – 2,7
СО ₂	0,1
Метан	3,9 – 5,0
Этилен	0,3 – 0,6
Этан	0,4 – 0,5
Пропилен	0,2
Пропан	0,2
Молекулярный вес	4,13 – 4,82

Таблица 3 - Состав жидкого топлива:

Состав:	% моль:
Пропан	0,4
Изобутан	21,9 – 22,6
Изобутен	23,1 – 24,2
Н-бутан	15,8 – 16,1
Н-бутен	7,2 – 7,4
Бутадиен	2,1 – 2,2
Пентен	8,8 – 9,3
Бензол	3,1 – 3,4
Толуол	4,2 – 4,7
Диметилбензолы	10,9 – 12,1
Молекулярный вес	62,73 – 63,9

2. Современные катализаторы процесса дегидрирования пропана

Технология дегидрирования CATOFIN представляет собой циклический процесс, осуществляемый в реакторах периодического действия с неподвижным слоем катализатора. Замена алюмохромового катализатора и инертных алюминиевых шариков, которые поддерживают катализатор в реакторе, обеспечивается через 3 года после запуска реакторов.

Катализатор компаний Phillips Petroleum STAR основан на носителе алюмината цинка и кальция, который промотируется различными металлами и обладает превосходными свойствами гидрирования, близкой к равновесной. Катализатор очень стабилен в присутствии пара и кислорода при высоких температурах благодаря своим основным свойствам. Этот катализатор, усиленный благородным металлом и хорошо зарекомендовавший себя в коммерческих установках, используется в виде твердых частиц. Основная часть отложений кокса превращается в двуокись углерода с водяным паром в системе, что означает, что во время окислительной регенерации остается сжигать лишь небольшое количество кокса, что ускоряет и упрощает регенерацию и продлевает рабочий цикл.

Технология Honeywell UOP C3 Oleflex использует каталитическую дегидрирования для преобразования пропана в пропилен. Его низкое энергопотребление, низкий уровень выбросов на основе платины и оксида алюминия помогают свести к минимуму воздействие на окружающую среду[6].

Существует несколько реализаций этого процесса, называемых Oleflex, Catofin и Star. Они отличаются друг от друга конструкцией используемых реакторов и катализаторов, а также методами регенерации катализатора. В некоторых случаях пропан дополнительно разбавляют водородом или паром для снижения его относительного давления[3].



Рисунок 1 - Катализаторы CATOFIN

Таблица 4 - Потребление катализатор реактора в процессе CATOFIN

№	Наименование	Срок эксплуатации (тонн/год)	Производитель
1	CATOFIN катализатор реактора	765 тонн / раз в 3года	(Sud-Chemie CATOFIN PS)
2	CATOFIN алюминиевые шарики реактора	472 тонн / раз в 3 года	(AluChem AC99 или Christy T-99- 1:19 мм, опорные шарики диаметром 8 мм support balls)
3	CATOFIN инертные частицы реактора	1200 тонн / раз в 3 года	(AluChem или Christy: алюминиевые частицы)

3. Современные промышленные технологии дегидрирования пропана

Процесс STAR - происходит в трубчатом реакторе.

Выходящие из реактора продукты реакции охлаждаются в теплообменниках, проходят двухступенчатую систему конденсации и отделения воды, компримируются в системе и разделяются на газовую и жидкую углеводородную фазы в сепараторе. Несконденсировавшиеся углеводороды дополнительно выделяются в низкотемпературной секции и вместе с жидкой фазой из сепаратора поступают в колонну стабилизации. Выходящий из низкотемпературной секции газ направляется в узел адсорбционного разделения водорода и топливного газа. В процессе используется платиновый катализатор. Продолжительность рабочего цикла - около 8 ч. Непрерывность процесса обеспечивается попеременной работой двух параллельных реакторов.

Технология получения пропилена из пропана фирмы UOP - процесс «Oleflex» - включает три основных узла: реакционный, непрерывной генерации катализатора и разделения продуктов реакции. Сырье после подогрева подается в реактор, продукты реакции сжимаются компрессором, осушаются и подаются в систему разделения. Непревращенное сырье и водородсодержащий газ возвращаются в реакционный узел. Дегидрирование происходит в медленно движущемся слое сферического катализатора с подводом тепла исключительно за счет нагрева парогазового потока.

Технология фирмы Lummus Technology представляет собой превращение пропана в пропилен дегидрированием в одну ступень в группе реакторов, работающих параллельно. В один полный цикл операции осуществляются в такой последовательности (24 мин):

1. Дегидрирование пропана в рабочем режиме (9 мин);
2. Продувка водяным паром (2 мин);
3. Подогрев катализатора горячим воздухом с продуктами сгорания топливного газа и одновременный выжиг кокса, образовавшегося на этапе 1

(9мин);

4. Удаление остаточного воздуха (2 мин).

5. Окончательное удаление продуктов регенерации с помощью эжектора (2 мин)[2].

Метод получения пропилена из пропана компании Lummus Global по способу «CATOFIN» обеспечивает выход пропилена из пропана 80–90 %. Расход сырья составляет 1,2 т/т, электроэнергии -10700 кВтч/т, охлаждающей воды - 5,3 тыс. м³/т. Это достигается за счет снижения давления в стационарном слое алюмохромового катализатора путем частой замены реактора на этапах регенерации. В этом случае тепло, накопленное катализатором, затем используется во время фазы регенерации в фазе дегидрирования.

Инертный наполнитель используется для увеличения теплоемкости каталитического слоя для накопления избыточного тепла. Непрерывность процесса обеспечивается параллельной работой как минимум трех реакторов. Сырье - парафин C₃-C₄ - нагревается в теплообменнике, печи и подается в один из реакторов. После охлаждения и сжатия в компрессоре продукт попадает в разделительный блок, где газ, содержащий водород и топливо, отделяется от продуктов реакции, а затем поступает в колонна стабилизации [4].

3.1 Технологические схемы

Дегидрирования пропана - это нефтехимический процесс получения пропилена из пропана, который является вторым по значимости исходным продуктом в нефтехимической промышленности после этилена. Установка дегидрирования пропана предназначена для производства пропилена и очищенного водорода для удовлетворения потребностей в пропилене установки полимеризации.

Проектный расход по сырью составляет 75925 кг/час или 629 344 тонн/год [4].

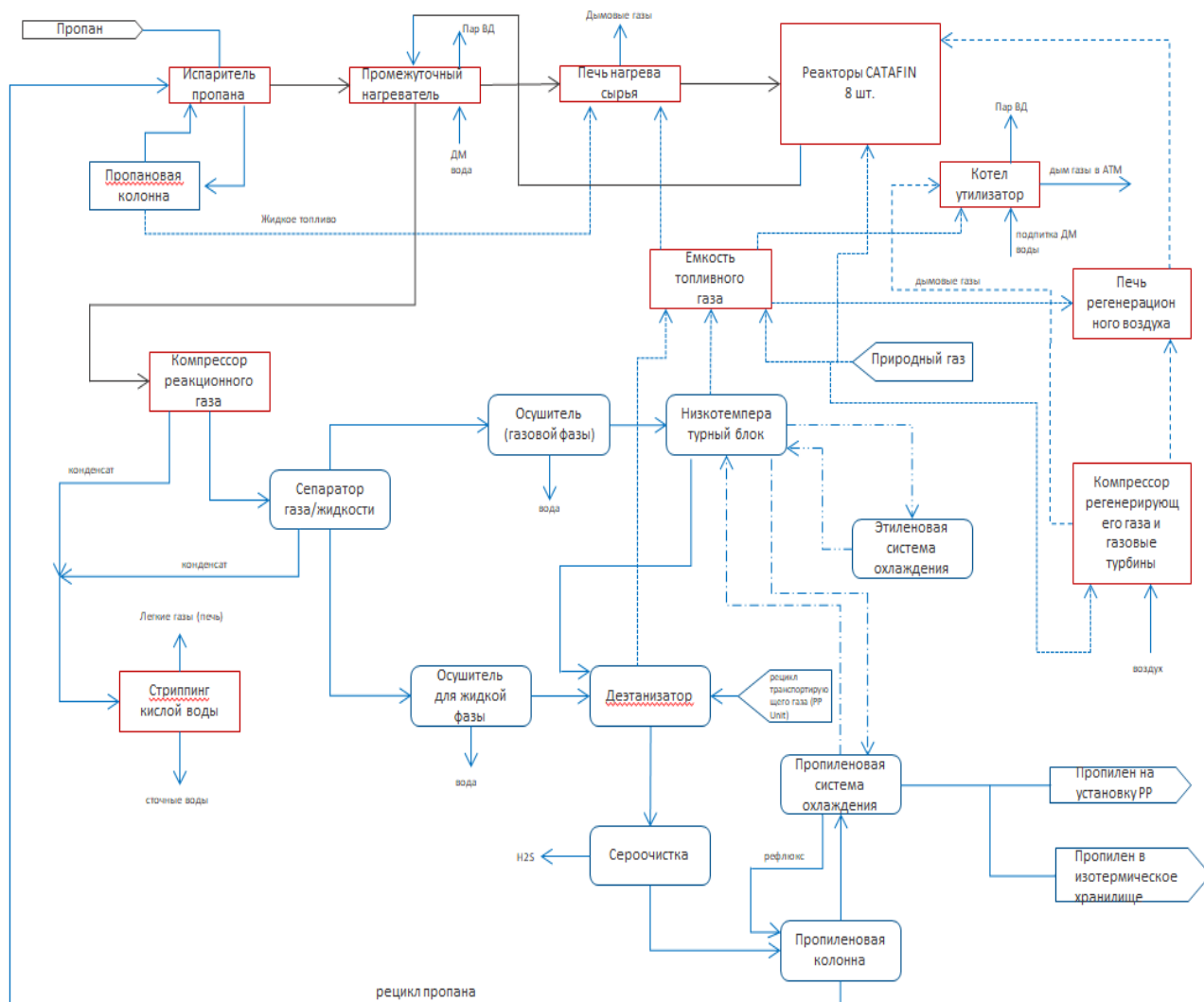


Рисунок 2 - Технологическая схема установки дегидрирования пропана

Сырье установки дегидрирования из парка пропана насосами насосной станции подается на установку в эвапоратор пропана 11-D-10001.

Кроме основного сырья в эвапоратор подаются рециркулирующие потоки пропана из рефлюксной емкости 11-D-40001 пропановой колонны 11-T-40001 и возврат пропана из колонны выделения пропилена 11-T-50001 насосами 11-P-50003 А,В .

В эвапораторе 11-D-10001 пропан испаряется из сырьевой смеси за счет нагрева до температуры 15°С в испарителе сырья 11-E-10001. Нагрев осуществляется за счет рекуперации тепла, которое выделяется при охлаждении потока пропилена.

Сырьевой пропан поступает в испаритель сырья 11-E-10001 из куба эвапоратора в трубное пространство испарителя

сырья 11-Е-10001 подается пропилен при температуре 33°C.

Для исключения снижения давления, а также нагрева сырья в период пуска, в эвапораторе предусмотрен резервный испаритель 11-ЕН-10001, встроенный непосредственно в эвапоратор. В качестве теплоносителя в резервном испарителе используется пар низкого давления 4,0 бар.

Из нижней части эвапоратора 11-D-10001 смесь углеводородов C_3H_8 , C_4H_{10} и выше насосом 11-P-10001 А, В подается в пропановую колонну 11-T-40001 для дополнительного выделения пропана из сырьевой смеси.

Сверху из эвапоратора выводится поток газообразного пропана, который направляется на нагрев в теплообменник отходящего газа 11-РК-20001-Е5, входящего в комплект холодильного блока 11-РК-20001. Нагрев пропана в 11-РК-20001-Е5 до температуры 51°C осуществляется за счет рекуперации тепла, которое выделяется при охлаждении потока пропилена. Далее, поток пропана направляется в теплообменники предварительного нагрева сырья 11-Е-10002 А, В,С, в которых нагревается до температуры 295°C за счет рекуперации тепла потока реакционного газа, выводимого из реакторов в цикле дегидрирования.

В поток пропана после теплообменников предварительного нагрева сырья 11-Е-10002 А, В, С вводится небольшое количество третбутилполисульфида для пассивации (защиты) металла реакторов и технологических трубопроводов от воздействия агрессивной среды продукта после дегидрирования.

Окончательный нагрев пропана до температуры реакции дегидрирования осуществляется в печи нагрева сырья 11-ФН-10001.

Печь нагрева сырья – трубчатая вертикальная печь, в конструкцию которой входят камеры конвекции и радиации. Для утилизации тепла дымовых газов после камеры конвекции расположена камера для нагрева питательной воды котла-утилизатора 11-BW-10001.

3.2 Используемые катализаторы и вспомогательные материалы

Вспомогательные системы предусмотрены для обеспечения устойчивой

безаварийной эксплуатации установки.

В поток сырьевого пропана перед его нагревом вводится небольшое количество третбутилполисульфида для пассивации (защиты) металла реакторов и технологических трубопроводов от воздействия агрессивной среды продукта после дегидрирования.

Для нейтрализации кислотных соединений, присутствующих в потоке регенерационного газа, предусмотрена возможность добавления аммиака (добавление аммиака не постоянно). Для хранения оперативного запаса аммиака предусмотрен склад аммиака. Аммиак также используется в качестве реагента для корректировки кислотно-щелочного баланса питательной воды системы парообразования.

Для заполнения или периодической подпитки холодильного блока хладагентом на установке предусмотрен запас этилена, который хранится в интермодальном контейнере.

Для заполнения системы и периодической подачи метанола в поток для исключения гидратообразования при охлаждении пропилена предусмотрен узел хранения и подачи метанола.

Для создания запаса жидкого топлива, которое используется в качестве резервного топлива для горелок печи нагрева пропана, предусмотрена емкость сбора жидкого топлива.

На установке предусмотрен смеситель топливного газа для смешения природного газа из сети завода с отходящим газом установки. Смесь газов используется в качестве топливного газа для горелок печей и камеры сгорания котла-утилизатора.

Сброс от предохранительных клапанов, установленных на аппаратах и трубопроводах, в которых хранится или транспортируется взрывопожароопасные продукты, осуществляется в факельную систему [4].

Таблица 5 - Потребность установки дегидрирования пропана в катализаторах

Наименование	Единовременная загрузка, м ³	Специальные требования по хранению	Источник поступления*	Примечание
Хром-алюминиевый катализатор реакторов Catofin	765 т	Не требуется хранить на складе химикатов. Могут храниться на складе продуктов. Хранить в сухом месте. Свести к минимуму образование и скапливание пыли.	Предоставляется Sud-Chemie	Замена катализатора предусматривается 1 раз в 3 года
Катализатор удаления NOx Almatris F-200	47 м ³	Не требуется хранить на складе химикатов. Могут храниться на складе продуктов.	Предоставляется BASF	

Отработанный катализатор 1 раз в 3 года, извлекается из реакторов дегидрирования компанией поставщиком свежего катализатора, складировается в специальную тару и отправляется либо для реактивации, либо для деактивации и утилизации за территорией Республики Казахстан. Эти операции выполняются поставщиком свежего катализатора при выполнении всех необходимых мер промышленной безопасности и охраны труда.

3.3 Расходы энергоносителей

Таблица 6 - Потребление энергоносителей

№	Потребление энергоносителей	Рабочие условия		Ед. изм.	Потребление	
		Давление (бар)	Температура (°C)		-	Постоянное
1	Пар высокого давления	41,4	393	кг/ч ас	322167	
2	Пар среднего давления	13,8	260	кг/ч ас	25774	

3	Пар низкого давления	4,0	182	кг/ч ас	40568	
4	Азот	8	окр.среда	нм ³ / час	2542	3516
5	Воздух КИПиА	8	окр.среда	нм ³ / час	2000	3500
6	Техн. воздух	8	окр.среда	нм ³ / час	500	600
7	Деминерализованная вода	6,5	20	кг/ч ас	48385	125000
8	Охлаждающая вода	4,5	35	м ³ /h	5326.5	5931.4
9	Котловая вода	65	120	кг/ч ас	0	0
10	Питьевая вода	4	20	м ³ /h	5	10
11	Горячая вода	4	95	кг/ч ас	50121	
12	Вода для технических целей	4	20	м ³ /h	0	10
13	Электроэнергия	-	-	кВт	10900	12200
14	Природный газ	36	окр.среда	кг/ч ас	20958	27972

3.4 Конструкция реакторов

В состав реакторного блока SATOFIN входят 8 реакторов 11-R-10001/10008. Технология дегидрирования пропана представляет собой последовательный циклический процесс, осуществляемый в реакторах периодического действия с неподвижным слоем алюмохромового катализатора, смешанного с инертным разбавителем, который необходим для повышения теплоемкости катализатора и позволяет аккумулировать дополнительное количество тепла. Реакторы работают параллельно по установленной циклической программе переключения реакторов.

Заливка пластиковым изоляционным цементом (super stick-tite)

Зоны реакторов покрываются футеровкой SUPER STICK-TITE. Изоляция Super Stick Tite - это продукт для высокотемпературных условий, состоящий из минерального волокна, связующих и антикоррозионных агентов. Смесь для обеспечения максимального покрытия с минимальной усадкой. Высокая адгезионная способность упрощает нанесения. Продукт не содержит асбеста.

После смешивания с водой материал должен быть немедленно использован в максимальном количестве в течение не более 40 минут.

Температура изоляционного материала должна поддерживаться в диапазоне от 10°C до 32°C с использованием, при необходимости, холодной воды, при необходимости допускается охлаждение.

Температура окружающей среды внутри реакторов должна поддерживаться в диапазоне от 10°C до 32°C.

Назначение:

Реактор – основное устройство на технологической установке, в котором проводятся химические превращения.

Таблица 7 — Характеристики реактора Катофин

Реактор Catofin
Раб. давление (вх./вых): 1,1/0,75 кг/см ² .
Расч.давление (вх./вых.): 2,81 кг/см ²
Раб. температура (мин/макс): 590/610°C
Вместимость: 570 м ³

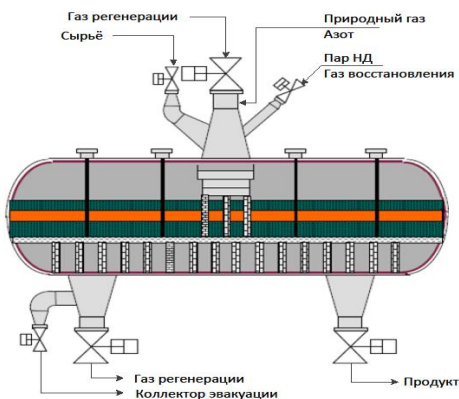


Рисунок 3 - Реактор

8 реакторов работают параллельно со смешанным временным циклом. В один полный цикл операции осуществляются в такой последовательности (24 мин):

1. Дегидрирование пропана в рабочем режиме (9 мин);

2. Продувка водяным паром (2 мин);

3. Подогрев катализатора горячим воздухом с продуктами сгорания топливного газа и одновременный выжиг кокса, образовавшегося на этапе 1 (9 мин);

4. Удаление остаточного воздуха (2 мин).

5. Окончательное удаление продуктов регенерации с помощью эжектора (2 мин)[2].

3.5 Сравнение промышленных технологий дегидрирования пропана

Существует 4 процесса по технологии дегидрирования пропана, называемых Oleflex, Catofin, Star и Shamprogetti/Yarsintez.

Процесс «Shamprogetti/Yarsintez»

Дегидрирование парафинов при температуре 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. В то же время конверсия пропана достигает 40%, а выход пропилена составляет 89%. Сырье подается в теплообменник и печь перед реактором, поступающим в зону реактора. Преимуществом этого процесса является поддержание изотермического режима. Это значительно снижает количество выбросов и ускоряет процессы массообмена и теплообмена. К основным недостаткам процесса с псевдоожиженным слоем относятся токсичные соединения хрома и высокий расход катализатора.

Процесс «Catofin»

Процесс дегидрирования CATOFIN является надежным, проверенным способом получения изобутилена, н-бутенов или пропилена из изобутана, н-бутана или пропана соответственно. Более 30 заводов использовали эту технологию для производства продуктов, начиная от пропилена и заканчивая

изобутиленом, бутадиеном, бутиленами и изопреном.

В процессе CATOFIN используются реакторы с неподвижным слоем с катализатором и условиями работы, которые выбираются для оптимизации сложной взаимосвязи между конверсией, селективностью и потреблением энергии.

Процесс «Oleflex»

Процесс Oleflex представляет собой технологию каталитического дегидрирования для получения легких олефинов из соответствующего им парафина. Установка Oleflex может дегидрировать пропан, изобутан, обычный бутан или изопентан по отдельности или в виде смесей, охватывающих два последовательных числа углерода. Данный процесс был коммерциализирован в 1990 году, и к 2002 году на установках Oleflex, расположенных по всему миру, производилось более 1 250 000 тонн в год пропилена.

Процесс Oleflex лучше всего описать, разделив технологию на три различные секции:

- Секция реактора
- Секция извлечения продукта
- Секция регенерации катализатора.

Технологические установки Oleflex обычно работают совместно с фракционирующими установками и другими технологическими установками на производственном предприятии. На установке по производству пропилена сырье из пропана и сжиженного нефтяного газа (СНГ) направляется в депропанизатор для удаления бутанов и более тяжелых углеводородов. Затем верхний поток депропанизатора направляется в блок Oleflex. В установке Oleflex создаются два потока продукта: паровой продукт с водородом, и жидкий продукт с пропаном и пропиленом. Разделитель производит высокочистый пропилен в качестве конечного продукта. Типичная чистота пропилена колеблется от 99,5 до 99,8%. Неконвертированный пропан из установки Oleflex концентрируется в нижней части разделителя и возвращается в депропанизатор для рециркуляции в установку Oleflex.

Основными преимуществами технологии Oleflex являются: работа реакторного блока в непрерывном режиме; неизменность во времени всех параметров технологических потоков; большой срок службы катализатора.

Процесс «Star»

STAR – технология дегидрирования, первоначально разработанной компанией Phillips Petroleum (ныне Conoco Phillips). Процесс STAR был введен в эксплуатацию для производства изобутилена в Coastal Chemical, Inc., Шайенн, штат Виргиния, США, в 1992 году и в Полибутеносе, Аргентина, в 1994 году. Подаваемый пропан вместе с рециркулируемым пропаном и разбавителями пара нагревается с помощью отходящих газов реактора и подогревателя перед впрыском в реактор дегидрирования риформингового типа. Промежуточный продукт из установки риформинга охлаждается путем нагнетания конденсата. Пар также впрыскивается для регулировки температуры на входе и соотношения пара и водорода для второго реактора (кислородного реактора). Впрыскиваемый кислород непосредственно над слоем катализатора избирательно преобразует водород (селективное сжигание водорода), что не только смещает термодинамическое равновесие реакции дегидрирования в сторону более высокой равновесной конверсии, но в то же время обеспечивает необходимое тепло для дальнейшего дегидрирования (см. рис. 1). Горячий технологический газ охлаждается путем обмена теплом для предварительного нагрева сырья, получения пара в котле-утилизаторе и подачи тепла в секцию разделения ниже по потоку.

Сравнительный анализ рассмотренных процессов получения легких олефинов показывает (табл. 21), что практический интерес представляют процессы вакуумного дегидрирования на алюмохромовых катализаторах («Catofin») и процесс в движущемся слое алюмоплатинового катализатора («Oleflex»). Последний процесс можно считать наиболее перспективным, учитывая высокую селективность и производительность платиновых катализаторов, а также возможность одновременного получения высококачественного ВСГ.

Таблица 8 — Характеристика промышленных процессов дегидрирования парафинов

Показатели	Процессы			
	ФБД-4	«Катофин»	«СТАР»	«Олефлекс»
Технология	Кипящий слой катализатора СПС	Адиабатический реактор со стационарным слоем	Изотермический реактор со стационарным слоем	Адиабатический реактор с движущимся слоем
Катализатор	Алюмохромовый		Полиметаллический алюмоплатиновый	
Условия процесса:				
давление, МПа температура, °С	0,16–0,17	0,02–0,07	0,3–0,8	» 0,1
	570–620	540–580	480–595	–
Рабочий цикл	–	5 – 25 мин	8 ч	3 – 7 суток
Конверсия за проход, %	~50	~55–60	~45	~50
Селективность, %	85–86	85–90	Не менее 90	85–90

4. Математические модели дегидрирования пропана

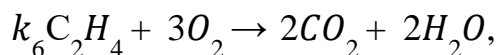
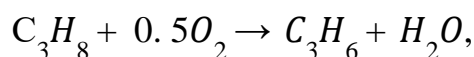
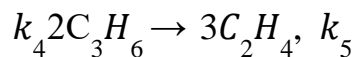
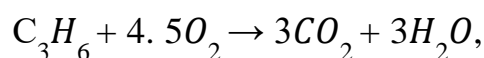
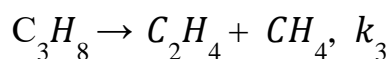
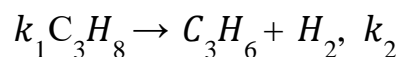
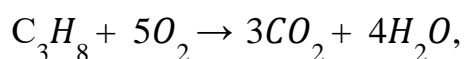
Математическое моделирование дегидрирования пропана широко изучается в литературе. Рассмотрим некоторые существующие математические модели, связанные с дегидрированием пропана. Математические модели, связанные с дегидрированием пропана, опишем их в хронологическом порядке[1].

В работе представлена математическая модель профессора Джафарова (2012) и его исследовательской группы, связанная с дегидрированием пропана. Условия для его математической модели приведено ниже.

Условия моделирования:

- Катализатор: Cr/Ni/Co/Bi/K/ γ -Al₂O₃;
- Давление: 0,080–0,100 МПа;
- Температура: 833–913 К;
- Сырьё: C₃H₈/O₂.

Авторы построили математическое моделирование на основе параллельных реакций, которые показаны ниже:



Дифференциальные уравнения приведенных выше реакций дегидрирование пропана, основанные на кинетическом моделировании, приведены ниже в Таблице 4.

Таблица 9 - Дифференциальные уравнения для реакций

$\frac{dC_1}{d\tau} = - (k_1 C_7^{n2} + k_2 + k_3 + k_6 C_7^{n2}) C_1^{n1}$
$\frac{dC_2}{d\tau} = (k_2 + k_6 C_7^{n2}) C_1^{n1} - (k_4 C_7^{n2} + \frac{2}{3} k_5) C_2^{n3}$
$\frac{dC_3}{d\tau} = (\frac{1}{3} k_1 C_1^{n1} + \frac{1}{3} k_4 C_2^{n3} + \frac{1}{2} k_7 C_5^{n4} + k_8 C_6^{n5}) C_7^{n2}$
$\frac{dC_4}{d\tau} = (\frac{1}{4} k_1 C_1^{n1} + \frac{1}{3} k_4 C_2^{n3} + k_6 C_1^{n1} + \frac{1}{2} k_7 C_5^{n4} + \frac{1}{2} k_8 C_6^{n5}) C_7^{n2}$
$\frac{dC_5}{d\tau} = k_3 C_1^{n1} + \frac{3}{2} k_5 C_2^{n3} - k_7 C_5^{n4} C_7^{n2}$
$\frac{dC_6}{d\tau} = k_3 C_1^{n1} - k_8 C_6^{n5} C_7^{n2}$
$\frac{dC_7}{d\tau} = - (5k_1 C_1^{n1} + 4\frac{1}{2} k_4 C_2^{n3} + \frac{1}{2} k_6 C_1^{n1} + 3k_7 C_5^{n4} + 2k_8 C_6^{n5}) C_7^{n2}$
$\frac{dC_8}{d\tau} = k_2 C_1^{n1}$

Кроме того, авторы также указали начальную концентрацию пропана и газообразного кислорода, как показано ниже.

Таблица 10 - Начальные концентрации пропана.

Температура	Пропан	Кислород
833К	8,89 моль/л	0,893 моль/л
853К	8,68 моль/л	0,870 моль/л
873К	8,48 моль/л	0,850 моль/л
893К	8,29 моль/л	0,830 моль/л
913К	8,10 моль/л	0,810 моль/л

В результате авторы обнаружили, что пропилен является основным продуктом, а углекислый газ, вода, этилен, метан, кислород, водород являются второстепенными продуктами при более низкой температуре около 833 К. Однако при высокой температуре около 913 К, основным

продуктом был водород и пропан, а второстепенными продуктами были диоксид углерода, вода, этилен, метан и кислород. Кроме того, давление уменьшается при повышении температуры [1].

Вторая модель, изучается профессором Гомес-Куэро и его исследовательской группы. Исследователи изучили дегидрирование пропана с помощью катализатора $\text{Pt-Sn/Al}_2\text{O}_3$. Условия процесса дегидрирования пропана для данной модели перечислены ниже.

Условия моделирования:

- Катализатор: $\text{Pt-Sn/Al}_2\text{O}_3$;
- Давление: 0,010–0,100 МПа;
- Температура: 723–823 К;
- Сырьё: $\text{C}_3\text{H}_8/\text{O}_2$.

Авторы выполнили кинетическое моделирование дегидрирования пропана с помощью модели (Рисунок 4) Ленгмюра-Хиншельвуда-Хаугена-Ватсона для $\text{Pt-Sn/Al}_2\text{O}_3$. Здесь модель Ленгмюра-Хиншельвуда-Хаугена-Уотсона предполагает, что процессы десорбции, реакции и адсорбции не зависят от покрытия поверхности. Эти этапы называются адсорбцией пропана (этап 1–2), поверхностной реакцией (этап 3–8) и, наконец, десорбцией пропана (этап 9) и водорода (этап 10–12).

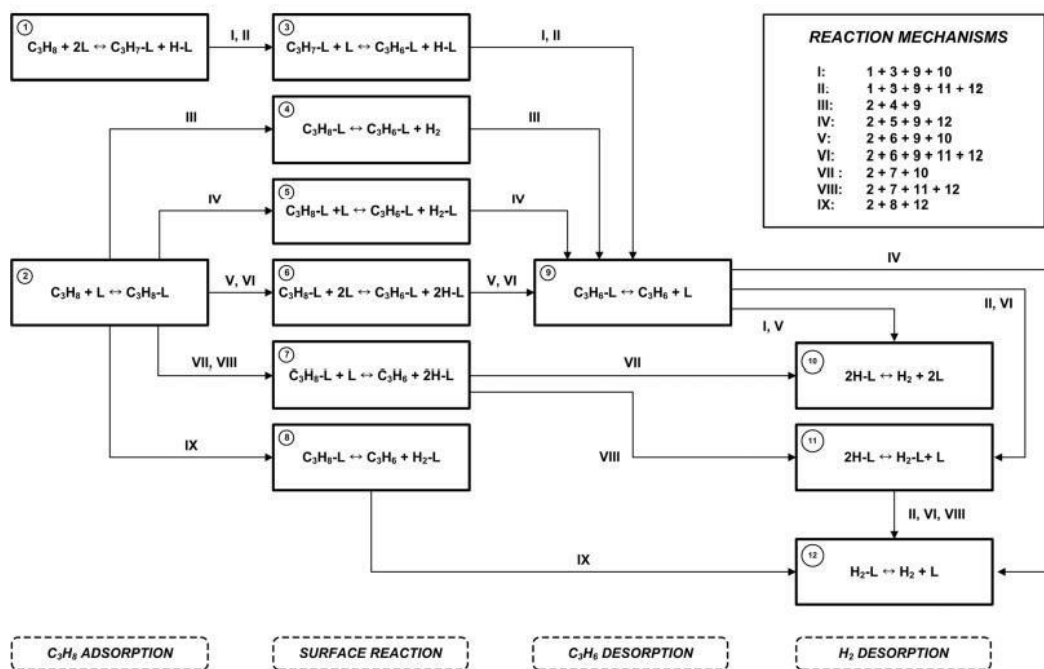


Рисунок 4 - Механизм дегидрирования пропана

Авторы также описывают свойства трех различных катализаторов.

Свойства первого катализатора:

- Название катализатора: Sn/Al₂O₃;
- Хемосорбция газообразного водорода: 9000 моль/г;
- Площадь поверхности: 193 м²/г;
- Объем пор: 0,46 см³/г.

Свойства второго катализатора:

- Название катализатора: Pt/Al₂O₃;
- Хемосорбция газообразного водорода: 44000 моль/г;
- Площадь поверхности: 205 м²/г;
- Объем пор: 0,49 см³/г.

Свойства третьего катализатора:

- Название катализатора: Pt-Sn/Al₂O₃;
- Хемосорбция газообразного водорода: 38000 моль/г;
- Площадь поверхности: 188 м²/г;

В результате авторы обнаружили, что каталитическая активность и стабильность Pt/Al₂O₃ повышаются при включении Sn. Авторы объяснили

это явление поверхностным взаимодействием электронов между Sn и Pt. Более того, авторы утверждали, что скорость расхода пропана увеличивается с увеличением парциального давления пропана, а скорость расхода пропана уменьшается с увеличением парциального давления пропана.

В то же время парциальное давление водорода оказывает незначительное влияние на скорость расхода пропана. Кроме того, авторы утверждали, что наиболее вероятная кинетическая модель дегидрирования пропана связана с недиссоциативной адсорбцией пропана, а также с одновременным выделением газообразного водорода [2].

Третья работа связана с математическим моделированием кинетики и дезактивации катализатора в процессе дегидрирования пропана на Pt-Sn/Al₂O₃ в присутствии воды в качестве оксигенирующей добавки.

Эта работа была выполнена исследовательской группой профессора Барги в 2014 году. Важность данного кинетического моделирования связана с подробным изучением дезактивации катализатора в процессе дегидрирования пропана. Важные условия этой реакции дегидрирования пропана перечислены ниже.

Условия моделирования:

- Катализатор: Pt-Sn/ γ -Al₂O₃;
- Давление: 0,100 МПа;
- Температура: 848,15–893,15 К;
- Сырьё: C₃H₈/H₂.

Следовательно, авторы получили собственное выражение для скорости реакции дегидрирования пропана. Авторы заявили, что отщепление бета-водорода является этапом, определяющим скорость. Кроме того, добавление воды в небольшом количестве может привести к образованию гидроксильной группы, что увеличит отщепление бета-водорода. В связи с этим автор предложил подробный механизм дегидрирования пропана в присутствии небольшого количества воды, как показано ниже в таблице 5.

Таблица 11 - Химические уравнения для дегидрирования пропана
в присутствии небольшого количества воды

$C_3 H_{8(\text{газ})} + 2S \leftrightarrow C_3 H_7 \dots S + H S$
$H_2 (\text{газ}) + 2S \leftrightarrow OH \dots S + H \dots S$
$OH \dots S + C_3 H_7 \dots \delta \dots S \leftrightarrow OH \dots S + C_3 \dots \pi \dots S \dots H$
$C_3 H_6 \dots S \dots H + S \leftrightarrow C_3 H_6 \dots S + H S$
$C_3 H_6 \dots S \leftrightarrow C_3 H_{6(\text{газ})} + S$
$2(H \dots S) \leftrightarrow \dots S_2 + S$
$H_2 \dots S \leftrightarrow H_2 + S$
$OH \dots S + H \dots S \leftrightarrow H_2 O + 2S$

В этой таблице 2 мы видим, что буква S представляет собой активный центр катализатора. Более того, побочная реакция при дегидрировании пропана указана ниже в Таблице 6.

Таблица 12 - Побочные реакция при дегидрировании пропана

Гидрогенолиз пропана	$C_3 H_8 + H_2 \rightarrow C_3 H_6 + C_4 H$
Пропановый крекинг	$C_3 H_8 \rightarrow C_2 H_4 + C_4 H$
Коксообразование	$C_3 H_8 \rightarrow \text{Кокс}$

Авторы использовали степенное выражение скорости для диоксида углерода, образования монооксида углерода, крекинга пропана, гидрогенолиза пропана, как показано ниже в Таблице 7.

Таблица 13 - Степенное выражение скорости

$-r_{\text{пропан гидрогенолиз}} = k_{\text{ПГ}} P_{\text{пропан}} P_{\text{водород}}$
$-r_{\text{крекинг}} = k_{\text{крекинг}} P_{\text{пропан}}$
$-r_{\text{CO образования}} = k_{\text{CO}} P_{\text{пропене}} P_{\text{вода}}$
$-r_{\text{CO}_2 \text{образования}} = k_{\text{CO}_2} P_{\text{пропене}} P_{\text{вода}}$

Что еще более интересно, авторы получили выражение для концентрации кокса при каталитической дезактивации процесса дегидрирования пропана. При этом авторы утверждали, что образование коксовых отложений происходит при дегидрировании пропана из пропилена. Кроме того, авторами была предложена модель роста многослойного монослоя кокса для коксообразования при дезактивации катализатора в процессе дегидрирования пропана. В связи с этим ниже авторы иллюстрируют дифференциальное уравнение для данного процесса коксования в Таблице 8.

Таблица 14 - Дифференциальное уравнение для процесса коксования

$\frac{dC_c}{dt} = \frac{dC_m}{dt} + \frac{dC_M}{dt}$
$\frac{dC_m}{dt} = k_{1C} (C_{\max} - C_m)^2$
$C_m = C_{\max}^2 \left[\frac{k_{1C} t}{1 + C_{\max} k_{1C} t} \right]$
$C_M = k_{2C} t$

В этом уравнении C_m и C_M связаны с концентрацией однослойного и многослойного кокса соответственно. В этом случае однослойное коксообразование пропорционально доле участков, вскрытых на первом слое. При этом максимальная концентрация кокса фиксируется и называется C_{\max} . Далее, образование многослойного кокса может легко начаться при наличии однослойного кокса.

Исследована кинетическая модель, связанная с дегидрированием пропана и дезактивацией катализатора в присутствии небольшого количества воды. В результате авторы обнаружили, что предсказанные значения конверсии пропана и выхода пропилена по кинетической модели хорошо согласуются с экспериментальными данными. Более того, кинетическая модель дегидрирования пропана способна предсказать оптимальное количество воды, которое может максимизировать конверсию пропана. Авторы утверждали, что конверсия пропана улучшается, а коксообразование снижается при добавлении воды в качестве кислородсодержащей добавки до оптимального уровня.

Четвертая модель названа кинетическим моделированием дегидрирования пропана катализатором и также изучает дезактивацию катализатора. Эта работа была опубликована исследовательской группой профессора Комаси [4]. Важные параметры процесса для этой модели показаны ниже (2017).

Условия моделирования:

- Катализатор: Pt-Sn/цеолит;
- Давление: 0,100 МПа;
- Температура: 823,15–923,15 К;
- Сырьё: C_3H_8/H_2 .

Авторы также сделали схематическую иллюстрацию установки реакции дегидрирования пропана (Рисунок 5). Как видно на Рисунке 5, газообразный водород и пропан поступают в реактор, чтобы начать химические реакции, а затем полученные продукты будут анализироваться с помощью газовой хроматографии.

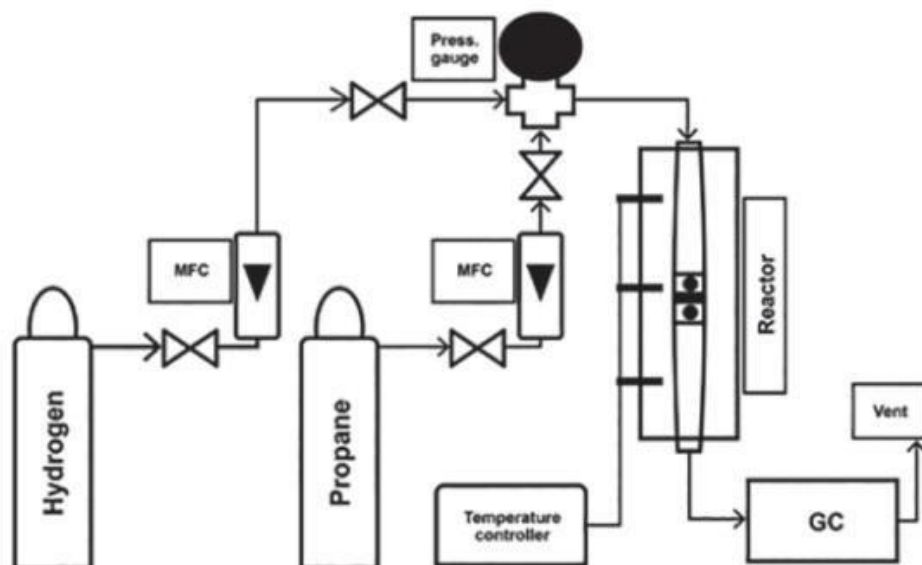


Рисунок 5 - Схема процесса дегидрирования пропана

В этой работе выражения скорости химических реакций и химических реакций, связанных с дегидрированием пропана, такие же, как и в ранее описанных моделях Барги (2014) [3]. Эти реакции и выражение их скоростей перечислены ниже в Таблице 9.

Таблица 15 - Дифференциальное уравнение для побочные реакции

Термический крекинг пропана	$-r = k_1 P_{C_3H_8}$
Каталитический крекинг пропана	$-r = k_2 P_{C_3H_8}$
Гидрирование этилена	$-r = k_3 P_{C_2H_4} P_{H_2}$
Гидрогенолиз пропана	$-r = k_4 P_{C_3H_8} P_{H_2}$

В основном, исследователи подробно изучили кинетическое моделирование дегидрирования пропана на катализаторе Pt-Sn/цеолит и дезактивацию катализатора. В результате было обнаружено, что результаты модели Ленгмюра-Хиншелвуда хорошо согласуются с их экспериментальным исследованием. Кроме того, авторы подробно изучили зависимость между содержанием кокса в активности катализатора и

катализатором оптимизировали ее. Авторы обнаружили, что термический крекинг пропана, гидрирование этилена и гидрогенолиз пропана рассматриваются как очень эффективные реакции в кинетической модели [4].

Пятая модель связана с получением пропилена из процесса дегидрирования пропана с использованием модифицированного цеолитного катализатора. Эта работа была изучена профессором Писаренко и его исследовательской группой (2020) [5]. Важные параметры процесса для этой модели показаны ниже.

Условия моделирования:

- Катализатор: Pt-Zn-Cu/цеолит;
- Давление: 0,100 МПа;
- Температура: 793,15–853,15 К;
- Сырьё: C₃H₈/H₂.

Исследователи проиллюстрировали значения константы равновесия для процесса дегидрирования пропана (Таблице 10).

Таблица 16 - Константы равновесия для дегидрирования пропана

	793,15 К	805,15 К	823,15 К	841,15 К	853,15 К
$C_3 H_8 \leftrightarrow C_3 H_6 + H_2$	0,053	0,072	0,109	0,163	0,212
$C_3 H_8 \leftrightarrow C_2 H_4 + C_4 H$	54,41	65,13	84,45	108,23	126,92

В результате авторы установили, что повышение температуры и снижение концентрации водорода приводит к увеличению конверсии пропана и образованию пропилена. Авторы также утверждали, что оптимальные условия дегидрирования пропана составляют 823.15 К и 0.1 МПа [5].

Вывод: В результате обширного обзора литературы можно отметить, что существуют различные типы кинетического моделирования процесса дегидрирования пропана. Однако в обзоре представлены наиболее важные и полностью описанные кинетические модели дегидрирования

пропана.

Основные различия для каждой кинетики основаны на механизме дегидрирования пропана, который может повлиять на конверсию пропана. Это наблюдение можно увидеть при рассмотрении каждой из различных математических моделей.

Например, кинетическая модель Джафарова и его исследовательской группы описывает кинетические реакции, связанные с дегидрированием пропана, начальные концентрации реагентов, кинетические параметры реакций дегидрирования пропана и термодинамические параметры. В результате авторы получили различные графики, включающие время в зависимости от концентрации, время в зависимости от температуры, время в зависимости от давления, время в зависимости от конверсии и время в зависимости от селективности. Авторы в основном получали пропилен дегидрированием пропана. Оптимальные условия для этого процесса основаны на соотношении сырья $O_2 : C_3H_8 : N_2 = 0.1:1:15$ [1].

Кинетическая математическая модель Сантьяго Гомес-Куэро исследовала кинетику дегидрирования пропана [2]. А именно, авторы описали свойства и характеристики катализатора, выражения скорости и схематическое изображение кинетической модели дегидрирования пропана.

По данным кинетического моделирования процесса дегидрирования пропана, авторы обнаружили, что введение Sn в катализатор повышает стабильность и каталитическую активность катализатора на основе Pt. Более того, кинетическая модель дегидрирования пропана представляет собой недиссоциативную адсорбцию пропана и одновременное выделение водорода.

Третья и четвертая кинетические математические модели исследовательской группы Барги и исследовательской группы Комаси

изучают аналогичные проблемы, связанные с дезактивацией катализатора и дегидрированием пропана Pt/Sn и катализатором на основе цеолита [3]-[4]. Оба автора полностью описали кинетические уравнения, кинетические параметры, реакции дегидрирования пропана, побочные реакции и выражения дезактивации катализатора с подробным описанием реакций. В результате было установлено, что дезактивация катализатора снижается по мере увеличения содержания воды. Кроме того, наиболее важными реакциями в кинетическом моделировании являются термический крекинг пропана, гидрирование этилена и, наконец, гидрогенолиз пропана.

Последняя кинетическая модель дегидрирования пропана описана исследовательской группой Писаренко. Авторы описали кинетические скорости реакций и химические реакции дегидрирования пропана. Авторы сообщают, что повышение температуры и снижение концентрации водорода приводят к увеличению конверсии пропана и образованию пропилена [5].

Подводя итог, можно сказать, что все кинетические модели дегидрирования пропана важны для моего исследования на степень магистра. Построение модели дегидрирования пропана в программном обеспечении Unisim Design будет моей магистерской работой, основанной на доступных кинетических уравнениях скорости, химических реакциях, параметрах процесса и других.

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

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

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

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

Исследования проводились в Атырауской области на территории специальной экономической зоны (СЭЗ) «Национальный индустриальный нефтехимический парк». Исследование проводилось с целью производить пропилен из пропана с наибольшей селективностью и степенью превращения в промышленных масштабах. Для реализации проекта выбран технологии компании Lummus Technology Inc.: технология дегидрирования пропана Catofin и технология производства полипропилена Novolen.

6.1 Предпроектный анализ

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

В данном проекте сегментами рынка являются:

- «Национальный индустриальный нефтехимический парк»;
- компания Sinopec Engineering Group, КНР.
- Научно-исследовательские организации, университеты.
- Граждане.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

В данном научном исследовании анализируется сравнительный анализ процесс дегидрирования пропана, их технико-экономических показателей, а также анализ информации о промышленном внедрении процесса каталитического дегидрирования пропана, выполненный при разработке технико-экономического обоснования строительства интегрированного газохимического комплекса, показал, что, как по техническим характеристикам, так и по экономической эффективности процесса наиболее предпочтительной является технология получения пропилена методом каталитического дегидрирования пропана по технологии CATOFIN[®] компании "ABB Lummus Global".

В таблице 1 приведена оценка конкурентов, где Ф – разрабатываемый проект, к1 – исследование, проведенное инженером-экологом в научно-исследовательском институте, к2 – исследование, проведенное организацией, которая занимается дегидрирования пропана.

Таблица 19 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии 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. Повышение производительности	0,20	5	4	4	1	0,80	0,80
2. Экологичность материала	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
3. Скорость	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
4. Технологичность	0,20	5	4	4	1	0,80	0,80
5. Надежность	0,18	5	4	4	0,9	0,72	0,72
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,12	5	4	4	0,6	0,48	0,48
2. Цена	0,14	5	3	2	0,7	0,42	0,28
3. Время	0,12	4	5	3	0,48	0,6	0,36
Итого	1,26	39	32	29	6,13	5,02	4,64

Критерии оценки подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Вес показателей в сумме должны составлять 1. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i$$

где: K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Основываясь на проведенном анализе конкурентов, можно сказать что проект превосходит конкурентные исследования, что связано с ценой, производительностью, а также скоростью разрабатываемого проекта. Однако уязвимость разрабатываемого проекта в том, что требуется больше времени на его выполнение.

6.1.3 SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта (таблица 2). Применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Анализ проводится в 3 этапа.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 20 – Матрица SWOT-анализа

<p>Сильные стороны С1. Низкая цена проекта С2. Отсутствие подобного исследования на территории области С3. Достаточно высокая точность результатов С4. Распространённость и доступность объектов исследования С5. Экологичность проведенных исследований</p>	<p>Слабые стороны Сл1. Удаленность территории объекта исследования Сл2. Погрешность методов анализа Сл3. Для реализации исследования необходимо привлечение большого массива информации</p>
<p>Возможности В1. Расширение сферы участия в проектах, реализуемых в рамках программ «Строительство первого интегрированного газохимического комплекса в Атырауской области» В2. Появление дополнительного спроса на исследования</p>	<p>Угрозы У1. Развитие конкуренции У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 21. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 21 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта				
		С1.	С2.	С3.	С4.	С5.
Возможности проекта	В1.	+	-	+	+	+
	В2.	-	+	+	0	+
		Слабые стороны проекта				
		Сл1.	Сл2.	Сл3.		
Возможности проекта	В1.	-	-	+		
	В2.	-	-	+		

		Сильные стороны проекта				
Угрозы		C1.	C2.	C3.	C4.	C5.
	У1.	+	+	+	-	+
	У2.	-	-	-	-	-

		Слабые стороны проекта		
Угрозы		Сл1.	Сл2.	Сл3.
	У1.	-	-	0
	У2.	+	-	+

В рамках *третьего этапа* должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 22).

Таблица 22 –SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
	C1. Низкая цена проекта C2. Отсутствие подобного исследования на территории области C3. Достаточно высокая точность результатов C4. Распространённость и доступность объектов исследования C5. Экологичность проведенных исследований.	Сл1. Удаленность территории объекта исследования Сл2. Погрешность методов анализа Сл3. Для реализации исследования необходимо привлечение большого массива информации.
Возможности В1. Расширение сферы участия в проектах, реализуемых в рамках программ «Строительство первого интегрированного газохимического комплекса в Атырауской области» В2. Появление дополнительного спроса на исследования	Введение метода в вузы для обучения; Быстрое продвижение исследования в связи с преимуществами данного исследования; Дополнительный спрос может появиться за счет универсальности исследования.	Проверка результатов, отправлять пробы на внешний и внутренний контроль.
Угрозы У1. Развитие конкуренции У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	Создание конкурентоспособного проекта.	Из-за относительной длительности анализа могут возникнуть проблемы с продвижением данного исследования.

6.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого заполнена специальную форму, содержащая показатели о степени проработанности

проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта (таблица 5).

При проведении анализа по таблице, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 23 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

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

	реализации научной разработки		
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	5	5
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	5	4
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	61	59

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

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

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. В итоге получилось, что разработка является перспективной, а уровень имеющихся знаний у разработчика выше среднего.

По результатам оценки выделяются слабые стороны исследования, дальнейшего улучшения необходимо провести маркетинговые исследования рынков сбыта, разработать бизнес-план коммерциализации научной разработки проработать вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок.

6.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Для коммерциализации результатов, проведенного исследования будут использоваться следующие методы: инжиниринг и передача интеллектуальной

собственности.

Инжиниринг будет предполагать 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.

Передача интеллектуальной собственности будет производиться в уставной капитал предприятия или государства.

Данные методы коммерциализации будут наиболее продуктивными в отношении данного проекта.

6.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта (таблица 24).

Таблица 24 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ	Выпуск высококвалифицированных специалистов
ТОО «Kazakhstan Petrochemical Industries Inc.» (KPI Inc.)	Получение эколого-геохимического исследования в Атырауской области на территории специальной экономической зоны (СЭЗ) «Национальный индустриальный нефтехимический парк» участке

В таблице 25 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 25 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Является дегидрирования пропана по технологии CATOFIN® компании "ABB Lummus Global"
Ожидаемые результаты проекта:	производить пропилен из пропана с наибольшей селективностью и степенью превращения в промышленных масштабах
Критерии приемки результата проекта:	дегидрирования пропана Catofin составляет 503 тыс. тонн/год по пропилену
Требования к результату проекта:	Требование:
	Подготовить технологическую схему установки дегидрирование пропана;
	Подготовить потребность установки дегидрирования пропана в катализаторах;
	Провести обработку полученных данных;
	Выявить факторы, влияющие на химический состав природных объектов

В таблице 26 представлена организационная структура проекта (роль каждого участника, их функции, трудозатраты).

Таблица 26 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1.	Юрьев Е.М., НИ ТПУ, к.т.н., доцент ОГ ИШПР	Руководитель проекта	Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения.	600
2.	Шабает А.А., магистрант ОГ ИШПР	Исполнитель по проекту	Анализ литературных источников, отбор проб, пробоподготовка, анализ лабораторных данных, написание работы	1600
ИТОГО:				2200

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта (таблица 27).

Таблица 27 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	442 750 000 руб
3.1.1. Источник финансирования	Китай
3.2. Сроки проекта:	05.06.2018-31.08.2022
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	05.06.2019

6.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

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

6.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта (рисунок 7).



Рисунок 7 – Иерархическая структура работ

6.3.2 План проект

В рамках планирования научного проекта построены календарный график проекта (таблица 28, 29).

Таблица 28– Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Утверждение темы магистерской диссертации	7	01.09.20	07.09.20	<u>Шабаев А.А.</u> , Юрьев Е.М.
Согласование плана работ	7	08.09.20	15.09.20	<u>Шабаев А.А.</u> , Юрьев Е.М.
Литературный обзор	138	16.09.20	31.01.21	<u>Шабаев А.А.</u>
Обработка полученных данных и обсуждение результатов	292	01.02.21	20.12.21	<u>Шабаев А.А.</u> , Юрьев Е.М.
Написание отчета	162	21.12.21	31.05.22	<u>Шабаев А.А.</u>
Итого:	606			

6.4 Бюджет научного исследования

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

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

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов). В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме (таблица 30).

Таблица 30 – Расчет затрат по статье «Сырье и материалы»

Наименование	Количество, шт	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Тетрадь	2	40,0	80,0
Ручка шариковая	3	31,0	93,0
Ластик	2	20	40,0
Печать	150	2	300,0
Пропан	1 тонн	17 532	17 532
Всего за материалы	18 045 руб		
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			230
Итого по статье			18 275

--	--

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ. В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 31).

Таблица 31 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Компьютер «SAMSUNG»	1	55000	55000
2	Программное обеспечение MicrosoftOffice	1	5990,0	5990,0
3	Statistica	1	20000	20000
Итого, руб.:				80 990 руб

Расчет основной заработной платы. В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 14.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

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

Расчет заработной платы научно – производственного и прочего персонала проекта проводили с учетом работы 2-х человек – научного руководителя и исполнителя. Баланс рабочего времени исполнителей представлен в таблице 32.

Таблица 32 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	99	99
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	24	24
- отпуск	14	14
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	212	212

Месячный должностной оклад работника:

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

$Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

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

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

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

При расчете заработной платы научно-производственного и прочего персонала проекта учитывались месячные должностные оклады работников, которые рассчитывались по формуле:

$$Z_m = Z_b * K_p, \text{ где}$$

Z_b – базовый оклад, руб.;

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

Согласно информации сайта Томского политехнического университета, должностной оклад (ППС) доцента кандидата наук в 2020 году без учета РК составил 33664 руб., поскольку руководитель работает на 0,5 ставки, то оклад равен 16832. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 33.

Таблица 33 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_b , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	16832	1	0,02	1,3	22319,25	1179,15	212	249979,8
Магистрант	1923	-	-	1,3	2500	132	212	27998

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

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

$$Z_{доп} = Z_{осн} * k_{доп}, \text{ где}$$

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

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

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

В таблице 34 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 34 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	249979,8	27998
Дополнительная зарплата	24997,9	2799,8
Итого по статье С _{зп}	274977,8	30797,8

Отчисления на социальные нужды. Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \text{ где}$$

$k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчисления на уплату во внебюджетные фонды.

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%. Стипендиальные выплаты студентам, магистрам и аспирантам не облагаются налогом.

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

Затраты на научные и производственные командировки составляют 30577,56 руб.

Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями.

Сторонней организацией был выполнен установка дегидрирования пропана (PDH): технология «CATOFIN» и установка полимеризации (PP): технология «Novolen», который выполняется в в Атырауской области на

территории специальной экономической зоны (СЭЗ) «Национальный индустриальный нефтехимический парк». Расчет затрат на подрядные работы представлен в таблице 35.

Таблица 35 - Расчет затрат на подрядные работы

Наименование потоков	Расход, кг/ч	Стоимость, руб	Итого, руб
Сырьевой пропан на установку PDH	78668	331	26 039 108

На эту статью расходов также в данном проекте относится также использование Internet. Величина этих расходов определялась по договорным условиям и составляет 1560 руб.

Итого на оплату работ выходит 26 040 668 руб.

Накладные расходы. Расчет накладных расходов провели по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot (274977,8 + 30797,8) = 244620,5$$

где $K_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов принят 0,8.

Таким образом, затраты проекта составляет 26972389,8, которые приведены в таблице 36.

Таблица 36 – Затраты научно-исследовательской работы

Вид исследования	Затраты по статьям									
	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Доп-ая заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Научные и производственные командировки	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	Прочие прямые расходы	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
Данное исследование	18 275	24 9979,8	277977,8	27797,7	82493,3	30577,6	26 040 668	-	244620,5	<u>26972389,8</u>
Аналог	2000	300000	999919,2	99991,6	329973,2	109991,1	-	-	879928,6	2721803,7

4.Операционные затраты, руб.=сырье+амортизация+ЗП (осн+доп)+соц.отч.+науч.ком+контр.расх+накл.расх=35%*бюджета

=

$A_g = C_{перв.} * N_a / 100 = C_{перв.} * 0,1$

Итоговая плановая себестоимость составила 26972389,8 рубля, финансирование составило 442 750 000 рублей. Посчитаем разницу: $26972389,8 - 442\,750\,000 = -415\,777\,610$ руб. Разница составляет 415 777 610 рублей, расходы не превышают поступления.

6.4.1 Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 8.

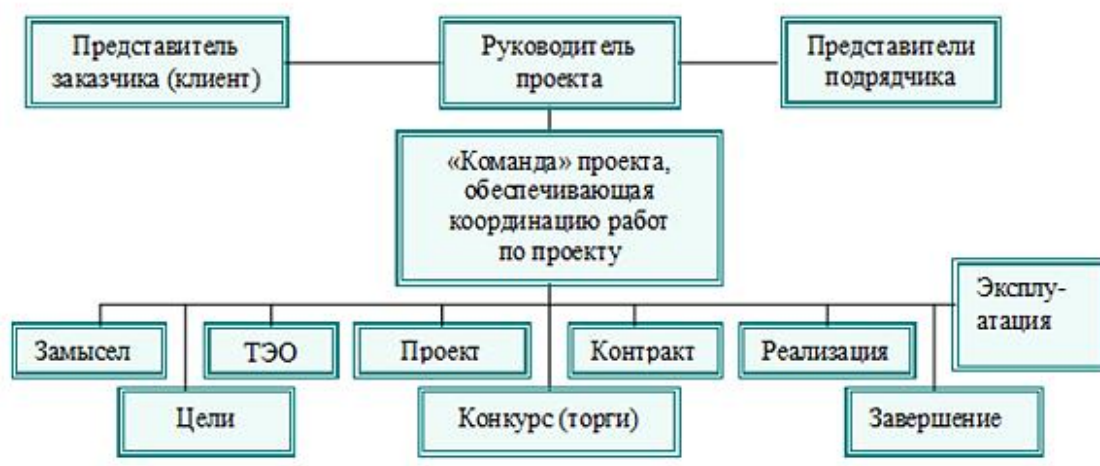


Рисунок 8 – Проектная структура проекта

6.4.2 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 19).

Таблица 37 – План управления коммуникациями

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

6.4.3 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные

неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 36.

Таблица 36 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Неточность метода анализа	2	5	Низкий	Внешний и внутренние анализы	Низкая точность метода анализа
2	Погрешность расчетов	3	5	Средний	Пересчет, проверка	Невнимательность
3	Отсутствие интереса к результатам исследования	2	5	Низкий	Привлечение предприятий, публикация результатов	Отсутствие результатов исследования

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

6.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

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

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

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0$$

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

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

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

n – горизонт расчета;

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

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

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 37. При расчете рентабельность проекта составляла **20-25 %**, норма амортизации - 10 %.

$Ag = \text{Сперв} * \text{На} / 100$, $\text{себ} = \underline{442\,750\,000 \text{ р.}}$, $\text{Выручка} = \text{себестоимость} * 1,25 =$

Таблица 37 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	553 437 500	553 437 500	553 437 500	553 437 500
2	Итого приток, руб.	0	553 437 500	553 437 500	553 437 500	553 437 500
3	Инвестиционные издержки, руб.	<u>-442 750 000</u>	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб. (35% от бюджета)	0	154 962 000	154 962 000	154 962 000	154 962 000
5	Налогооблагаемая прибыль(1-4)	398 475 500	398 475 500	398 475 500	398 475 500	398 475 500
6	Налоги 20 %, руб.(5*20%)	0	79 695 100	79 695 100	79 695 100	79 695 100
8	Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	318 780 400	318 780 400	318 780 400	318 780 400
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.(чистая прибыль+амортизация)	<u>-442 750 000</u>	319 030 380	319 030 380	319 030 380	319 030 380
10	Коэффициент дисконтирования при $i=20\%$ (КД)	1	<u>0,833</u>	<u>0,694</u>	<u>0,578</u>	<u>0,482</u>
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.(9*10)	<u>-442 750 000</u>	265 752 307	221 407 084	184 399 560	153 772 643

12	\sum ЧДД	825 331 594 руб.
12	Итого NPV, руб.	382 581 594 руб.

$$NPV = 825\,331\,594 \text{ руб.} - \underline{442\,750\,000} = 382\,581\,594 \text{ руб.} > 0$$

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1+i)^t}$$

где: i – ставка дисконтирования, 20 %; (10%)

t – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 736216 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

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

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

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{825\,331\,594}{442\,750\,000} = 1,9$$

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

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

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i)

существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 22 и на рисунке 3.

Таблица 38 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	
1	Чистые денежные потоки, руб.	- 442 750 000_	319 030 380	319 030 380	319 030 380	319 030 380	NPV, руб.
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	0,1	-442 750 000_	289 998 615	258 563 094	239 591 815	217 897 750	563 301 274
	0,2	-442 750 000_	265 752 307	221 407 084	184 399 560	153 772 643	382 581 594
	0,3	-442 750 000_	245 334 362	188 865 985	145 158 823	111 660 633	248 269 803
	0,4	-442 750 000_	227 787 691	162 705 494	116 127 058	82 947 898,8	14681814,8
	0,5	-442 750 000_	212 793 263	141 649 489	94 113 962,1	63 168 015,2	68974729.3
	0,6	-442 750 000_	199 393 988	124 421 848	77 843 412,7	48 811 648,1	7720896.8
	0,7	-442 750 000_	187 589 863	106 875 177	64 763 167,1	35 731 402,6	- 47790390.3
	0,8	-442 750 000_	177 380 891	98 580 387,4	54 554 195	30 307 8861	- 190844334.4
	0,9	-442 750 000_	167 809 980	88 371 415,3	46 578 435,5	24 565 339,3	- 115424829.9
	1,0	-442 750 000_	159 515 190	79 757 595	39 878 797,5	19 779 883,6	- 143818533.9

Из таблицы следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,62.

$IRR > i$, проект эффективен.

Запас экономической прочности проекта: $62\% - 20\% = 42\%$

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

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

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 39).

Таблица 39 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ($i = 0,20$), руб.	-442 750 000.	265 752 307	221 407 084	184 399 560	153 772 643
2	То же нарастающим итогом, руб.	-442 750 000.	-176 997 693	-221 342 916	-258 350 440	288 977 357
3	Дисконтированный срок окупаемости	$D^{PP}_{дск} = 1 + (176\,997\,693 / 221\,407\,084) = 1,7$ года				

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты (таблица 40).

Таблица 40 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Высокие затраты на дегидрирование пропана традиционным методом	Значительное уменьшение затрат на дегидрирование пропана за счёт разработки в данной работе
Сложность дегидрирование пропана традиционным методом	Упрощение получения таких же пропиленов, методом, выбранным в данной научной работе

6.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

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

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

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

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

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, но больше нуля).

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (таблице 41).

Таблица 41 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,20	5	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	3	3
3. Надежность	0,15	4	4	4
4. Безопасность	0,15	4	3	4
5. Энергосбережение	0,15	5	4	5
6. Возможность автоматизации данных	0,20	5	4	5
Итого	1	28	23	25

$$I_m^p = 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,20 = 4,7$$

$$I_1^A = 5 \cdot 0,20 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,20 = 3,9$$

$$I_2^A = 4 \cdot 0,20 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,20 = 4,2$$

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

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

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

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a}$$

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

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

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

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 42.

Таблица 42 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,18	0,16	0,16
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,50	3,85	4,00
3	Интегральный показатель эффективности	23,12	22,83	23,03
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,02	1,01	1,0

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

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 382 581 594 руб.; индекс доходности $PI=1,9$, внутренняя ставка доходности $IRR=62\%$, срок окупаемости $PP_{\text{дск}}=1,7$ года.

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

7. Социальная ответственность

Проект «Строительство первого интегрированного газохимического комплекса в Атырауской области» (ИГХК) реализуется в рамках правительственной программы развития нефтехимической промышленности в РК и предусматривает переработку газа с месторождения Тенгиз и производство нефтехимической продукции с высокой добавленной стоимостью.

Строительство комплекса по производству полипропилена мощностью 500 тыс. тонн в год является первым этапом по созданию в регионе нефтехимического кластера с последующим получением высокотехнологичной базовой продукции отрасли. Реализация проекта осуществляется в Атырауской области на территории специальной экономической зоны (СЭЗ) «Национальный индустриальный нефтехимический парк», в 35 км от г.Атырау.

Оператором проекта является ТОО «Kazakhstan Petrochemical Industries Inc.» (KPI Inc.) Генеральным подрядчиком выступает компания Sinopec Engineering Group, КНР. Для реализации проекта выбран технологии компании Lummus Technology Inc.: технология дегидрирования пропана Catofin и технология производства полипропилена Novolen.

Технология дегидрирования пропана Catofin компании Lummus Technology Inc. – уникальная технология, позволяющая производить пропилен из пропана с наибольшей селективностью и степенью превращения в промышленных масштабах [25].

Объектом исследования являются получения пропилена методом каталитического дегидрирования пропана по технологии CATOFIN®. Методологической основой работы является математическое моделирование. Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: Процесс производства полипропилена позволяет производить следующие типы товарной продукции (полимеров): гомополимеры, состоящие исключительно из пропилен; Random (с выборочным чередованием мономеров)/Copolymers (сополимер); Impact Copolymers (ударопрочный сополимер полипропилена с этиленом).

Установка дегидрирования пропана предназначена для получения

пропилена, который является сырьем установки производства полипропилена. Технология дегидрирования пропана CATOFIN® компании "ABB Lummus Global" — это технология, позволяющая производить пропилен из пропана с наибольшей селективностью и степенью превращения в промышленных масштабах. В процессе используется алюмохромовый катализатор реакторов Catofin. Количество и наименование оборудования рабочей зоны: реакторы 8шт, котел-утилизатор, компрессоры 12шт., печь для нагрева сырья.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Оценка воздействия на окружающую среду проводится в соответствии с требованиями Экологического кодекса РК (ЭК РК). Отчет о возможных воздействиях разработан в соответствии с требованиями статьи 72, Экологического кодекса Республики Казахстан от 2 января 2021 года №400-VI ЗРК и «Инструкцией по организации и проведению экологической оценки», утвержденной приказом Министра экологии, геологии и природных ресурсов РК от 30.07.2021 г. №280.

РНД 211.2.02.03-2004. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сварочных работах (по величинам удельных выбросов), Астана-2004г. 39.

РНД 211.2.02.04-2004. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных дизельных установок, Астана – 2005 г.

РНД 211.2.02.05-2004. Методике расчета выбросов загрязняющих веществ при нанесении лакокрасочных материалов», Астана, 2004 г

«Порядок нормирования объемов образования и размещения отходов производства» РНД 03.1.0.3.01-96;

Умеренное воздействие. Участие казахстанских работников близлежащих населенных пунктов при строительстве и эксплуатации компрессора.

Режим работы предприятия – непрерывный, круглосуточный.

Количество рабочих смен – 3.

Расчетное количество часов работы в году – 8000 часов.

Межремонтный пробег установок – 3 года.

Наиболее явным положительным воздействием реализации проекта будет создание в рамках проекта новых рабочих мест для граждан г. Атырау. Слабое отрицательное воздействие в сфере трудовой занятости может проявиться от нереальных ожиданий населением трудоустройства отдельных слоев населения. Факторы положительного воздействия на занятость населения будут сильнее, чем отрицательного. Ожидается, что в сфере трудовой занятости с учетом реализации разработанных мероприятий уровень воздействия от реализации проекта будет умеренно положительным.

Уровень жизни населения складывается из целого ряда показателей. Это уровень доходов населения, величина прожиточного минимума, покупательная способность заработной платы. Сохраняется значительная дифференциация в заработной плате работников различных отраслей экономики, продолжает оказывать большое влияние на доходы и уровень жизни населения разных групп г. Атырау и Атырауской области. Реализация проекта позволит улучшить ситуацию с занятостью части населения г. Атырау, что является положительным фактором. Таким образом, проект окажет умеренное положительное воздействие на доходы и уровень жизни населения на территории планируемых работ, вследствие постоянного повышения занятости части граждан г. Атырау. Повышение уровня жизни отдельных граждан из числа местного населения за счет увеличения доходов скажется на улучшении их жизни, что не будет способствовать оттоку местного населения из региона [26].

7.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

Эргономика вносит определенный вклад в осуществление многоплановой и долгосрочной программы перехода от техники безопасности к безопасной технике [3].

Основным законом Республики Казахстан является Конституция Республики Казахстан (принята на республиканском референдуме 30 августа 1995 года). Основной закон закрепляет за каждым человеком его права и обязанности. В соответствии с пунктом 2 статьи 24 Конституции «Каждый имеет право на условия труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены, на

вознаграждение за труд без какой-либо дискриминации, а также на социальную защиту от безработицы» [27].

Рабочее место должно быть приспособлено для конкретного вида труда и для работников определенной квалификации с учетом их физических и психических возможностей и особенностей. Для некоторых групп рабочих мест можно определить общие требования. При проектировании рабочего места необходимо исходить из конкретного анализа трудового процесса человека на данном оборудовании и учитывать антропометрические данные, физиологические и психологические характеристики трудового процесса, санитарногигиенические условия работы. При конструировании рабочих мест должны быть соблюдены следующие основные условия [28]:

- достаточные физические, зрительные и слуховые связи между работающим человеком и оборудованием, а также между людьми в процессе выполнения общей трудовой задачи;

- оптимальное размещение рабочих мест в производственных помещениях, а также безопасные и достаточные проходы для работающих людей;

- допустимый уровень акустического шума и вибрации создаваемых оборудованием рабочего места или другими источниками шума и вибрации;

- необходимые средства защиты работающих от действия опасных и вредных производственных факторов (физических, химических, биологических и психофизиологических).

7.3 Производственная безопасность

Таблица 43 – Возможность опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте

Факторы	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	

Повышенный уровень общей вибрации	+	+	+	ГОСТ 12.0.001 «Межгосударственные стандарты общих требований и норм по видам опасных и вредных производственных факторов»
Повышенный уровень шума	+	+	+	СН 2.04-02-2011. Защита от шума
Повышенный уровень локальной вибрации;	+	+	+	ГОСТ 12.0.001 «Межгосударственные стандарты общих требований и норм по видам опасных и вредных производственных факторов»
Искусственное освещение;	+	+	-	ГОСТ 12.0.001 «Межгосударственные стандарты общих требований и норм по видам опасных и вредных производственных факторов»
Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего;	+	-	+	ГОСТ 12.0.001 «Межгосударственные стандарты общих требований и норм по видам опасных и вредных производственных факторов»
Факторы трудового процесса	+	+	+	ГОСТ 12.0.001 «Межгосударственные стандарты общих требований и норм по видам опасных и вредных производственных факторов»

7.4 Экологическая безопасность

Согласно законодательству Республики Казахстан, предприятие должно стремиться в своей работе к внедрению наилучших доступных техник. Согласно письму № 05-02/03/1517 от 08.11.2021 от ТОО «КРІ» на предприятии будут разработаны и внедрены наилучшие доступные техники по предотвращению загрязнения окружающей среды, минимизации и контроля негативного антропогенного воздействия на окружающую среду [29].

Для оценки экологических последствий проектируемых работ был использован метод экспертного оценивания, в соответствии с «Методическими указаниями по проведению оценки воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду», Астана 2009 г. Комплексная оценка воздействия проводится по следующим параметрам: пространственный масштаб; временной масштаб; величина интенсивности воздействия [29].

Для оценки воздействия на атмосферный воздух при строительстве проектируемого объекта проведена инвентаризация источников выбросов вредных веществ в атмосферу, в ходе которой были выявлены стационарные и передвижные источники выбросов, рассчитаны их валовые и максимально-разовые выбросы. Выбросы ЗВ при строительстве проектируемого объекта несут кратковременный характер. Основными загрязняющими атмосферу веществами при строительстве будут вещества, выделяемые при работе двигателей строительной техники и транспорта, пыль, образуемая при их движении, также при покраске и работе сварочных агрегатов. Согласно проведенных расчетов, зона влияния на атмосферный воздух выбросов вредных веществ от источников СМР ограничивается территорией, отведенной под строительство проектируемого объекта [5].

Воздействие на атмосферу: химическое загрязнение газообразными веществами и аэрозолями.

Всего при эксплуатации в атмосферу будут выбрасываться вредные вещества 25 наименований, из них 8 твердых и 17 газообразных. В том числе, 1 класса опасности – 2 вещества, 2 класса опасности - 5 веществ, 3 класса опасности – 6 веществ, ингредиентов 4 класса опасности - 5 веществ. Расчеты

выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на период эксплуатации производились на основании технических характеристик применяемого оборудования, технологических решений, в соответствии с отраслевыми нормами технологического проектирования и отраслевыми указаниями и рекомендациями по определению выбросов вредных веществ в атмосферу и представлены в Приложении №11.

Все виды отходов, образующиеся при строительномонтажных работах, с места временного накопления вывозятся согласно договору с Подрядной организацией для дальнейшей утилизации. Предполагаемое количество отходов на период эксплуатации объекта составит 1738,6 тонн/год, из них: опасных – 115,3 тонн/год; неопасных – 1623,27 тонн. Все отходы будут переданы специализированным сторонним организациям для последующей переработки или утилизации.

Оценка воздействия на атмосферный воздух при строительстве проектируемого объекта основное загрязнение атмосферного воздуха предполагается в результате выделения:

- продуктов сгорания дизельного топлива в установках;
- пыли неорганической при проведении земляных работ (разработкаи рытье котлованов, траншей, обустройство котлованов, уплотнение грунта, устройство щебеночного основания, обратная засыпка грунта пересыпка, транспортировка стройматериалов)
- токсичных выхлопных газов при работе задействованного автотранспорта, строительных машин и механизмов;
- при проведении сварочных и лакокрасочных работ.

На строительной площадке будут находиться: 31 стационарный источник загрязнения, из них 6 организованных, 25 неорганизованных. Общий объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в период строительномонтажных работ на 2022 год составит: 18,580770494 г/сек или 229,314546856т/пер. Всего при строительстве объектов в атмосферу будет выбрасываться вредные вещества 38-и наименований, из них 15 твердых и 23 газообразных. В том числе, 1 класса опасности - 4 вещества, 2 класса опасности

- 7 веществ, 3 класса опасности - 14 веществ, ингредиентов 4 класса опасности - 6 веществ. По предварительным расчетным данным на строительной площадке стационарными источниками загрязнения в атмосферный воздух выбрасывается: максимально-разовые выбросы загрязняющих веществ 18,580770494 г/с, валовые - 229,314546856 т/год.

Стационарные источники выбросов загрязняют атмосферный воздух вредными веществами 37 наименований, в т.ч. Вольфрам триоксид, Титан диоксид, Железо (II, III) оксиды, Марганец и его соединения, Олово оксид, Свинец и его неорганические соединения, Хром, Кальций дигидроксид, Азота (IV) диоксид, Азот (II) оксид, Озон, Углерод (Сажа, Углерод черный), Сера диоксид (Ангидрид сернистый), Сероводород, Углерод оксид, Фтористые газообразные соединения /в пересчете на фтор/, Фториды неорганические плохо растворимые, Диметилбензол, Винилбензол, Метилбензол, Бенз/а/пирен, Бутан-1-ол, Этанол, Этан-1,2-диол, 2-(2-Этоксиэтокси)этанол, 2-Этоксиэтанол, Бутилацетат, Формальдегид, Пропан-2-он, 4-Метилпентан-2-он, Циклогексанон Алканы C12-19 /в пересчете на C/ (Углеводороды предельные C12-C19, Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния в %: 70-20, Уксусная кислота (Этановая кислота), Уайт-спирит, Взвешенные частицы, Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния в %: более 70-20 (493), Пыль поливинилхлорида, Пыль абразивная.

7.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Процедура проведения оценки воздействия на окружающую среду предполагает определение степени влияния на ее компоненты возможных аварийных ситуаций в процессе технического перевооружения и дальнейшей эксплуатации.

Основой для проведения оценки является анализ риска аварийных ситуаций, который определяет перечень возможных источников воздействия, способных повлиять на окружающую среду. Принятые проектные решения и методы строительства обеспечат высокую надежность и экологическую безопасность процессов при производстве работ.

Однако даже в случае выполнения всех требований безопасности и при

наличии высококвалифицированного персонала существует опасность возникновения аварии.

В настоящей главе определяются потенциальные виды экологического воздействия, которые могут возникнуть в результате таких аварий.

В соответствии с положениями Закона РК от 11 апреля 2014г. №188-V ЗРК «О гражданской защите» авария – разрушение зданий, сооружений и (или) технических устройств, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ. При строительстве и эксплуатации возможно возникновение ряда аварийных ситуаций [6].

При производстве работ могут возникнуть: аварии, возникающие при столкновении с другой строительной техникой; незначительные разливы дизтоплива; разлив нефтепродуктов из резервуаров.

Основными причинами аварий могут быть:

- техногенные причины;
- ошибки персонала;
- дефекты оборудования;
- социальные беспорядки;
- естественные причины;
- экстремальные погодные условия;
- оседания почвы.

Вероятность возникновения подобных аварий при производстве работ очень низка. Выше перечисленные аварии могут оказать воздействие на окружающую природную среду и стать причиной травм и гибели персонала.

Следовательно, источником негативного влияния на окружающую среду при возникновении аварии может стать утечка топлива. Но в этом случае персоналом будут предприняты оперативные действия по локализации и ликвидации утечки горючесмазочных материалов. Период строительства при соблюдении техники безопасности в период строительства воздействие на окружающую среду минимально.

Возможны лишь аварии связанные с разливами топлива при работе строительной техники, последствия которых будут сведены к минимуму [29].

Меры безопасности предусматривают соблюдение действующих противоаварийных норм и правил, в том числе:

- обеспечение беспрепятственного доступа представителей аварийных служб к любому участку производства;
- обучение рабочих и служащих правилам техники безопасности, пожарной безопасности и соблюдению правил при выполнении работ;
- обеспечение герметичности систем транспортировки и хранения нефти и газа, ГСМ, жидких реагентов;
- регулярные технические осмотры оборудования, замена неисправного оборудования.

Для предотвращения и смягчения негативного воздействия эксплуатации проектируемых объектов на подземные воды предусмотрены следующие технические и организационные мероприятия [30]:

- соблюдение природоохранных требований законодательных и нормативных актов Республики Казахстан, внутренних документов и стандартов компании;
- применение технологические решений, позволяющие использовать схему оборотного водоснабжения для экономного использования водных ресурсов (минимальное потребление свежей воды);
- организация закрытой системы охлаждения оборотной воды для подпитки системы оборотного водоснабжения;
- максимальное повторное использование воды после очистки на очистных сооружениях (очищенные сточные воды) для подпитки оборотных систем взамен свежей воды;

Намечаемые мероприятия по предотвращению чрезвычайных ситуаций включают:

- организационные мероприятия, направленные на управление аварийными ситуациями по мере их развития и гарантирующие быстрое восстановление обычных операций;
- использование технически исправного оборудования;
- своевременное и качественное проведение технического обслуживания и

- ремонтов;
- проведение контроля технического состояния оборудования;
- прекращение работ, которые могут привести к нарушению техники безопасности;
- использование систем автоматического контроля, включающих системы первичного аварийного реагирования и локальные системы аварийного оповещения;
- обеспечение наличия средств защиты для работающего персонала;
- соблюдение технологии проведения работ;
- соблюдение правил техники безопасности и производственных инструкций;
- повышение уровня технического образования персонала;
- план ликвидации аварийной ситуации, обеспечивающий быструю защиту социальных и экономических интересов населения, ликвидацию последствий аварии и сведение к минимуму срока продолжительности аварии.

Установлены следующие приоритеты, на которые направлены средства защиты:

- человеческая жизнь и здоровье;
- сохранение материальных ценностей, собственности и экономической стабильности;
- защита и восстановление ресурсов окружающей среды.
- Кроме вышеприведенных мер, элементами минимизации возникновения аварийной ситуации будут являться следующие меры, связанные с человеческим фактором:
 - регулярные инструктажи по технике безопасности;
 - наличие у персонала, работающего на опасных объектах, необходимых допусков и разрешений на работу;
 - обучение и инструктаж по обращению с опасными для окружающей среды веществами (топливом, ГСМ, химическими веществами);
 - готовность к аварийным ситуациям и планирование мер реагирования;

- запрет на употребление алкогольных напитков и наркотиков на рабочих местах.

Надежность и безопасность эксплуатации объектов будет обеспечен также выполнением комплекса мероприятий организационно-технического характера. В процессе эксплуатации должно быть обеспечено строгое соблюдение графиков осмотра, ремонта и технического освидетельствования аппаратов и трубопроводов в соответствии с Положением о планово-предупредительном ремонте, действующем на предприятии, а также установленными нормативными документами.

Одним из средств защиты компонентов окружающей природной среды от вредных воздействий являются высокая личная ответственность каждого работающего за строгое соблюдение технологической дисциплины. Обслуживающий персонал должен строго соблюдать инструкции по пожарной и газовой безопасности, выдерживать параметры технологического процесса, контролировать работу оборудования, следить за герметичностью технологических трубопроводов, оборудования и арматуры.

В целом эффективное управление техногенными процессами и соблюдение требований установленных норм и правил должно обеспечивать снижение или предотвращение отрицательных экологических нагрузок.

Вывод

В соответствии со статьей 182 Экологического кодекса РК «Операторы объектов I и II категорий обязаны осуществлять производственный экологический контроль». В рамках осуществления производственного экологического контроля проектом даны предложения по организации экологического мониторинга. При эксплуатации объектов ТОО «КРІ» в штатном режиме должны проводиться следующие виды мониторинга:

- операционный мониторинг;
- мониторинг эмиссий в ОС;
- мониторинг воздействия.

Согласно законодательству Республики Казахстан предприятие должно стремиться в своей работе к внедрению наилучших доступных техник. Статья

113 Экологического кодекса РК от 2 января 2021 года № 400-VI ЗРК определяет наилучшие доступные технологии (НДТ) как наиболее эффективную и передовую стадию развития видов деятельности и методов их осуществления, которая свидетельствует об их практической пригодности для того, чтобы служить основой установления технологических нормативов и иных экологических условий, направленных на предотвращение или, если это практически неосуществимо, минимизацию негативного антропогенного воздействия на окружающую среду.

Наилучшие доступные техники определяются на основании сочетания следующих критериев:

- 1) использование малоотходной технологии;
- 2) использование менее опасных веществ;
- 3) способствование восстановлению и рециклингу веществ, образующихся и используемых в технологическом процессе, а также отходов, насколько это применимо;
- 4) сопоставимость процессов, устройств и операционных методов, успешно испытанных на промышленном уровне;
- 5) технологические прорывы и изменения в научных знаниях и понимании;
- 6) природа, влияние и объемы соответствующих эмиссий в окружающую среду;
- 7) даты ввода в эксплуатацию для новых и действующих объектов;
- 8) продолжительность сроков, необходимых для внедрения наилучшей доступной техники;
- 9) уровень потребления и свойства сырья и ресурсов (включая воду), используемых в процессах, и энергоэффективность;
- 10) необходимость предотвращения или сокращения до минимума общего уровня негативного воздействия эмиссий на окружающую среду и рисков для окружающей среды;
- 11) необходимость предотвращения аварий и сведения до минимума негативных последствий для окружающей среды;

12) информация, опубликованная международными организациями;

13) промышленное внедрение на двух и более объектах в Республике Казахстан или за ее пределами.

Согласно Экологического Кодекса РК для предприятий, устанавливающих НДТ выдается комплексное экологическое разрешение (КЭР), также выдача КЭР регулируется Приказом и.о. Министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 9 августа 2021 года № 319 «Об утверждении Правил выдачи экологических разрешений, представления декларации о воздействии на окружающую среду, а также форм бланков экологического разрешения на воздействие и порядка их заполнения».

Наилучшие доступные технологии, включаемые в комплексное экологическое разрешение, должны соответствовать перечню наилучших доступных технологий, утверждаемому уполномоченным органом в области охраны окружающей среды.

Для оценки неизбежного ущерба, наносимого окружающей среде при строительстве и эксплуатации проектируемых объектов выполнен ориентировочный расчет нормативных платежей за природопользование. Величина экономического ущерба была рассчитана для выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Плата за эмиссии от стационарных источников загрязнения атмосферы на период строительства составит:

- СМР - 6 243 036 тенге.

- на эксплуатацию 2022 год -18 337 733 тенге/год.

Экологическое состояние окружающей среды территории завода и санитарно-защитной зоны на этапе строительства и эксплуатации проектируемых объектов по расчетам допустимое (относительно удовлетворительное), в системе экспертных оценок низкого уровня, когда негативные изменения не превышают пределы природной изменчивости.

Регулярные наблюдения за состоянием окружающей среды, обеспечение безаварийной работы и выполнение всех предусмотренных проектом мероприятий, позволят осуществить реализацию намечаемой деятельности по

строительству объектов без значимого влияния на окружающую среду и здоровье населения.

Заключение

Производительность установки дегидрирования пропана CATOFIN составляет 503 тыс. тонн/год по пропилену. Как и было сказано преимущества данной технологии в высокой однократной конверсии за проход и высокой селективностью, использовании относительно дешевого катализатора и большой срок его службы. Так же имеются недостатки, это необходимость дополнительных усилий для обеспечения непрерывной работы данной установки, ну и в состав катализатора входят токсичные соединения хрома.

Сравнительный анализ процессов дегидрирования пропана, их технико-экономических показателей, а также анализ информации о промышленном внедрении процесса каталитического дегидрирования пропана, выполненный при разработке технико-экономического обоснования строительства интегрированного газохимического комплекса, показал, что, как по техническим характеристикам, так и по экономической эффективности процесса наиболее предпочтительной является технология получения пропилена методом каталитического дегидрирования пропана по технологии CATOFIN® компании "ABB Lummus Global".

Список использованных источников

1. Макарян И.А., Савченко В. И. Каталитическое дегидрирование как путь переработки легкого углеводородного сырья // Нефтепереработка и нефтехимия. 2009. № 7. С. 20–25.
2. Макарян И.А., Диденко Л. П., Савченко В. И. Мембранно-каталитические системы и реакторы для дегидрирования легких углеводородов // Нефтепереработка и нефтехимия. 2009. № 9. С. 15–20.
3. Беренблум А.С., Фурер С.М., Воробьева Е. В., Алексеев О. И., Данюшевский В Я., Зизюкин В.К., Мухина Т. Н. Селективный процесс получения пропилена из пропана. // Хим. Пром. 1993. - № 5. - С. 35–36.
4. Ли В. Р., Донсков С. Э., Стадников А.А. Общая пояснительная записка // Технологические решения Книга 1. Раздел 1.3. 2021 - с. 21–23.
5. Специальный выпуск, посвященный выставке Atyrau oil & gas - 2014 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.petroleumjournal.kz/index.php> (дата обращения: 21.06.2021).
6. Пахомов Н. А., Кашкин В.Н., Молчанов В. В., Носков А. С., Надтогий В.И. Дегидрирование парафинов C₂-C₄ на Cr₂O₃/Al₂O₃ катализаторах // Газохимия. – 2008. – № 4. – С. 66–69.
7. Р. П. Джафаров, С.М. Гаджизаде, С. А. Джамалова, Н. А. Алиев, and А.А. Касимов, “Математическое моделирование процесса дегидрирования пропана при участии кислорода на алюмохромовом катализаторе, промотированном оксидами Co, Ni, Bi, и K”, 291–296 (2012).
8. S. Gómez-Quero, T. Tsoufis, P. Rudolf, M. Makkee, F. Kapteijn, G. Rothenberg, “Kinetics of propane dehydrogenation over Pt–Sn/Al₂O₃” Catalysis Science & Technology, 3(4), 962-971 (2013).
9. B. Barghi, M. Fattahi, & F. Khorasheh, “The modeling of kinetics and catalyst deactivation in propane dehydrogenation over Pt-Sn/γ-Al₂O₃ in presence of water as an oxygenated additive” Petroleum science and technology, 32(10), 1139-1149 (2014).
10. M. Komasi, S. Fatemi, S.H. Mousavi, “Kinetic modelling of propane dehydrogenation over a Pt–Sn/hierarchical SAPO-34 zeolite catalyst, including

catalyst deactivation” *Progress in Reaction Kinetics and Mechanism*, 42(4), 344-360 (2017).

11. Е. В. Писаренко, А. Б. Пономарев, М.В. Шостаковский, А. А. Шевченко, “Процесс получения пропилена на высокоэффективных нанокатализаторах на основе модифицированных цеолитов типа MFI” *Успехив химии и химической технологии*, 3, 89–91 (2020).

12. Волкова А. В. «Рынок крупнотоннажных полимеров», Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, 20-22 (2020).

13. Peng D.Y., Robinson D.B. A new two–constant equation of state // *Ind. Eng. Chem. Fundam*, 1976. V. 15. P. c. 59-64.

14. Фаловский, В.И. Современный подход к моделированию фазовых превращений углеводородных систем с помощью уравнения состояния Пенга-Робинсона / В.И. Фаловский, А.С. Хорошев, В.Г. Шахов // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2011.-т.13, №4.с.120-125.

15. B.-Z. Wan and H. Min Chu, “Reaction Kinetics of Propane Dehydrogenation over Partially Reduced Zinc Oxide supported on Silicalite,” *J. Chem. Soc. Faraday Trans*, vol. 88, no. 19, pp. 2943–2947, 1992.

16. UOP-LLC, “Oleflex Process for Propylene Production,” *Process Technology and Equipment*, pp. 1–2, 2004.

17. A. Stahl et al., "Process for the dehydrogenation of a hydrocarbon feedstock," U.S. Patent No. 6,326,523, 2001.

18. B. Glover, “Light Olefin Technologies,” in UOP LLC; *Journées Annuelles du Pétrole*, 2007.

18. H. A. Maddah, “Polypropylene as a Promising Plastic: A Review,” *Am. J. Polym. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–11, 2016. *Chemicals-technology*, “Tarragona Propane Dehydrogenation Project.” [Online].

19. Al-Zamil Company, “Propylene Sources Sheet in Propane-Propylene Based Industries in Saudi Arabia (Propylene by Propane Dehydrogenation) - Feasibility Study,” 2001.

20. GS Engineering/Construction, Ed., “Propylene Technology by PDH & Metathesis,” 2008.


21. Lummus-Technology-CB&I-Company, “CATOFIN Dehydrogenation,” Chicago, pp. 1–2, 2009.
22. Sahara-PCC, “Propylene and Polypropylene Plant,” 2004. [Online]. Available: <http://saharapcc.com>.
23. Law of Kazakhstan of February 28, 2017. «Labor Code of the Republic of Kazakhstan» (in Russian).
24. Order of the Minister of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan 245 «On approval of qualification requirements to the licensed type of activity in the field of environmental protection» (in Russian).
25. Земельный кодекс Республики Казахстан от 20 июня 2003 года, № 442
26. Закон РК от 28 февраля 2017 г. «Трудовой кодекс РК».
27. Михайлов, Ю.М. Охрана труда в образовательных учреждениях: практ. пособие / Ю.М. Михайлов. – М.: Альфа-Пресс, 2011. – 184 с.
28. Приказ Министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 12 июля 2021 года № 245 «Об утверждении квалификационных требований к лицензируемому виду деятельности в области охраны окружающей среды»
29. Экологический кодекс Республики Казахстан от 02 января 2021 г. № 400-VI ЗРК.
30. Статья 182 Экологического кодекса РК «Операторы объектов I и II категорий обязаны осуществлять производственный экологический контроль»

Приложение А

(справочное)

Mathematical modeling of the propane dehydrogenation process

Магистрант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ02	Шабаев Адильжан Амандыкулы		10.05.2022

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Юрьев Е.М.	к.т.н		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Надеина Л.В.	к.филол.н.		

Introduction

The project "Construction of the first integrated gas, chemical complex in the Atyrau region" is being implemented as part of the government program for the development of the petrochemical industry in the Republic of Kazakhstan and provides for the processing of gas from the Tengiz field and the production of petrochemical products with high added value.

The purpose of the construction of an integrated gas, chemical complex in the Atyrau region for the production of polypropylene is the production of gas, chemical products with high added value for subsequent sale in the domestic and export markets. The intermediate product is propylene (capacity of propylene production is 503 thousand tons per year).

Main Objectives:

- Installation of 500,000 tonnes of polypropylene propylene polymerisation;
- Propane dehydrogenation factory 503,000 tonnes of propylene;

From Appendix 2 of the Environment Code of the Republic of Kazakhstan dated January 2, 2021 No.400-VI ZRK, section 1, paragraph 4, paragraphs. 4.1, the proposed activity is classified under category I (chemical industry).

Lummus Technology Inc. has selected Catofin propane dehydrogenation technology and Novolen polypropylene production technology for the project.

Catofin propane dehydrogenation technology from Lummus Technology Inc is a unique technology that allows the production of propylene from propane with the highest selectivity and degree of conversion on an industrial scale.

Catofin Propane dehydrogenation is a process of stripping propane hydrogen to produce propylene on a stationary bed of an aluminum-chromium catalyst. The dehydrogenation reaction is performed in 8 reactors with a controlled reaction and heating/regeneration sequence for the next batch of feed charge.

1. Propane dehydrogenation

Dehydrogenation of propane to obtain propylene occurs according to a two-stage reaction mechanism with the formation of 1- or 2-propyl. For both planar Pt (111) and stepped Pt (211), the coincidence of the two corresponding potential energy diagrams indicates that propane dehydrogenation does not particularly favor either of the two

reaction paths. Taking the energy barrier for propane or propyl dehydrogenation as a descriptor, it can be seen that Pt (211) exhibits a higher catalytic activity than Pt (111), which provides a rational interpretation of experimental observations, according to which small catalyst particles are more active than large ones. Propyne is the only C₃ species that prefers the C bond cleavage of the C single bond over the C bond cleavage of the H single bond, and is therefore considered the starting point for the cracking reaction [1].

The selectivity and stability of the catalyst are largely determined by the competition between the processes of deep propylene dehydrogenation and propylene desorption. Since these two reactions are parallel competing reactions, the selectivity of the catalyst can be defined as the difference in activation energies between these two elementary steps. According to this definition, Pt (111) has a much better selectivity than Pt (211), which explains the experimental data that large particles of Pt are much more selective towards propylene than fine particles [19].

When co-adsorbed H and Sn are added to the Pt catalyst, the binding strength of the C₃ compounds is weakened, and at the same time the activation energies for deep dehydrogenation reactions are increased, both of which improve the propylene selectivity of the catalyst. However, a downward shift in the d-band also increases the energy barriers to the main reaction. Therefore, better catalyst selectivity is achieved at the expense of lower catalytic activity.

The kinetic study provides the basis not only for the development of the DHP process, but also for deep understanding of the DHP mechanism to provide principles for rational catalyst design. Significant research efforts are still required in this direction for a reliable DHP kinetics.

The interaction between experimental observations and theoretical predictions is highly desirable. Catalyst characterization can provide strong evidence to support model building in DFT calculations. On the other hand, DFT-based microkinetic modeling is able to provide the better understanding of experimental observations and ultimately leads to a rational catalyst design. To date, microkinetic analysis based on the results of DFT calculations has been successfully used to simulate the catalytic process of DHP. But the discrepancy exists, perhaps due to the pressure and gap of the material, as well

as the limitations of the DFT method itself. In situ studies of catalysts with particles of different sizes and shapes using Operando spectroscopy would provide the deep understanding of the relationship between structure and performance and the reaction mechanism under real reaction conditions. A new development in DFT methods that takes into account long-range van der Waals interactions will make it possible to obtain accurate estimates of the binding strength of adsorbates. With advances in both experimental and theoretical methods, a significant improvement over existing DHP catalysts and processes is expected [21].

Propylene is a versatile building block for the production of a variety of important monomers, polymers and intermediates. The well-known propylene derivatives include polypropylene, acrylonitrile, propylene oxide, cumene / phenol, oxo alcohols, acrylic acid, isopropyl alcohol and oligomers, etc. The global propylene demand is recently growing faster than that for ethylene and expected to reach more than 91 million tons by 2010 at a growth rate of 4.7%/year [20]. As well known, the primary sources of propylene have been as a by-product of ethylene production in steam crackers and from refinery FCC streams. The rapid increase of the propylene demand has aroused the interests of developing new processes of propylene production. Besides the improvement of the conventional technology for higher propylene yield, new technologies, such as propane dehydrogenation, olefins metathesis [3, 4], catalytic cracking of higher alkenes [5], MTO and MTP – a methanol-to-olefins process optimized for propylene yield [6], have been developed. Among the novel technologies, those to produce more propylene at the expense of ethylene may be more practical or economically advantageous, depending on the demand and alternative value for ethylene versus propylene. Recently, Svelle and co-workers observed the formation of propylene from the methylation of ethylene by methanol over H-ZSM-5 with isotopic labeling technology [17].

Conventionally, the dehydrogenation unit can be divided into hot and cold sections. The hot section is necessary for the reaction to proceed and the conversion of propane to propylene, the cold section is necessary for purification and isolation of the desired product from the by-products of the reaction. The dehydrogenation process makes it possible to obtain a propylene fraction with a minimum propylene content of

99.5 mol%.

The propane dehydrogenation unit is designed to produce propylene, which is the raw material of the polypropylene production unit. This plant uses ABB Lummus Global's CATOFIN® propane dehydrogenation technology, a technology that produces propylene from propane with the highest selectivity and conversion on an industrial scale [18].

1.1 Main reactions

The propane dehydrogenation reaction is endothermic; therefore, the feedstock is heated to the temperature of the dehydrogenation reaction before entering the reactors. While the propane dehydrogenation reaction is going on in one group of reactors, the remaining reaction product is evacuated in other reactors, coke is heated and burned off, which condenses on the catalyst during the propane dehydrogenation reaction. Operating parameters of the reactor 600°C and 0.5 bar.

Main reaction

Dehydrogenation of propane to propylene



During dehydrogenation, methylacetylene and propadiene (MAPD) will also be formed. The MAPD will accumulate at the bottom of the splitter and then be sent back to the reactor where it will be converted to coke and subsequently burned. If the concentration of MAPD reaches 62 mol%, this can lead to a rapid overpressure in the system.

1.2 CATOFIN propane dehydrogenation

The CATOFIN® technology is a unique process for the production of olefins, such as propylene (from propane) and iso-butylene (from iso-butane). Lummus Technology has exclusive worldwide licensing rights to this technology. The catalyst is produced by Clariant, a leading company in the development of process catalysts. Due to its superior thermodynamic operating conditions of vacuum and lower temperature for reactors, CATOFIN provides the highest conversion and selectivity for conversion of paraffins to olefins. Even when co-producing propylene and isobutylene, high conversions can be maintained. The CATOFIN process employs multiple reactors operating in a cyclic manner with an automated program so that the flow of process

streams is continuous.

There are nine CATOFIN propane dehydrogenation plants operating worldwide, producing more than 5.0 million tons of propylene per year. There are six CATOFIN iso-butane dehydrogenation plants operating worldwide, producing close to 3.0 million tons of iso-butylene per year. Two units are simultaneously producing propylene and isobutylene in the same reactor system [17].

The CATOFIN® process uses a single stage of reaction providing the following benefits [9]:

- Reliable and robust operation—high on-stream factor
- Highest per pass conversion (>45% for propane and >53% for iso-butane) and selectivity (>88% wt/wt for propane and >89% wt/wt for iso-butane) — lower investment and operating cost
- Lowest raw material consumption
- Raw material flexibility/feed purity—no feed pretreatment needed
- Higher hydrogen yield
- Quicker time to start up and make products (initial and re-starts)
- Easier and shorter turnarounds
- Highest single train capacity designs (>1000 kta for propane and iso-butane)—economy of scale
- Non-noble metal catalyst
- Simple CS metallurgy for reactors
- No proprietary equipment
- No catalyst make-up
- No chlorine handling/caustic scrubbing
- No hydrogen recycle or dilution steam

1.3 Technological schemes

The propane dehydrogenation plant is intended to produce purified propylene and hydrogen to meet the requirements of the propylene (PP) polymerization plant.

Propane dehydrogenation technology is a cyclic process performed in static catalytic bed discontinuous reactors. The expected intake of raw materials is 75925/78668 kg/h or 607400/629344 tonnes/year) [18].

CATOFIN reactor block consists of eight 11-R-10001/10008 reactors. Propane dehydrogenation technology is a sequential cyclic process carried out in batch reactors with a fixed bed of aluminum chromium catalyst mixed with an inert diluent, which is necessary to increase the heat capacity of the catalyst and it allows accumulate an additional amount of heat. The reactors operate in parallel in accordance with the cyclical programme established for the change of reactor.

2. Security and Legal

The following fundamental concepts are used in the present Code [19]:

1. civil service - professional activity of civil servants in the performance of official powers, aimed at the implementation of the tasks and functions of state-owned enterprises, government agencies, the implementation of maintenance and ensuring the functioning of state bodies;

2. civil servant - a person who, in accordance with the procedure established by the legislation of the Republic of Kazakhstan, holds a paid full-time position in state-owned enterprises, state institutions and exercises official powers in order to implement their tasks and functions, carry out maintenance and ensure the functioning of state bodies;

3. minimum monthly wage - a guaranteed minimum of cash payments to an employee of simple unskilled (least complex) labor when he/her performs his/her job duties under normal conditions and with normal working hours established by this Code, per month;

4. special clothing - clothing, footwear, headgear, gloves, other personal protective equipment designed to protect an employee from harmful and (or) hazardous production factors;

5. heavy work - activities of an employee associated with constant movement, moving and carrying by hand (ten kilograms or more) of weights and requiring great physical effort (energy consumption of more than 250 kcal / hour);

6. shift work - work in two or three or four shifts during the day;

- The operating mode of the enterprise is continuous, around the clock.
- Number of working shifts - 3.
- The estimated number of hours of work per year is 8000 hours.

- The overhaul run of the units is 3 years.

The most evident positive impact of the project implementation will be the creation of new jobs for the residents of Atyrau as part of the project. A small negative impact on employment may be manifested by unrealistic expectations of the employment population of certain segments of population. Factors that positively affect employment will be more important than negative ones. In the area of employment, given the implementation of the measures developed, the level of impact of project implementation is expected to be moderately positive.

The standard of living of the population is composed of many indicators. It is the income level of the population, the living minimum, the purchasing power of salaries. The remaining significant differentiation in the wages of workers in various sectors of the economy continues to have a great impact on the incomes and living standards of the population of different groups in the city of Atyrau and the Atyrau region. Carrying out the project will improve the situation with the employment of a part of the population of Atyrau, which is a positive factor. Thus, the project will have the moderate positive impact on the income and standard of living of the population in the area of planned works, due to the constant increase in employment of the part of citizens in Atyrau. Raising the standard of living of individual citizens from among the local population by increasing incomes will affect the improvement of their lives, which will not contribute to the outflow of the local population from the region.

3. Environmental Safety

In a full environmental assessment, consideration is given to the intended relationship between the designed production and the environment. The magnitude and nature of the anticipated activity determine in advance the need to consider all types of impacts. In the previous sections, a component-by-component environmental impact assessment was carried out. At the same time, the following were determined:

- volume of water consumption;
- qualitative and quantitative composition of emissions into the atmosphere from API and their influence on the formation of the level of pollution of the surface layer of the atmosphere;
- qualitative and quantitative composition of wastewater, degree of purification

and conditions of discharge (diversion);

- the level of physical impact;
- qualitative and quantitative composition of waste and the degree of their danger to human health and the environment [20].

In accordance with the performed mathematical modeling of the dispersion of pollutant emissions, made taking into account the pollutant emissions from the designed facilities, the concentration of pollutants at the border of the sanitary protection zone of the enterprise does not exceed 1 MPC. In general, the impact of the designed facilities at the stage of construction and operation on the atmospheric air is assessed as acceptable. The construction of the designed facilities will be carried out within the boundaries of the existing industrial hub with the existing development and the existing organization of the relief, therefore, additional land acquisition is not required. The source of water supply for the complex, for the period of construction and operation, is the Astrakhan-Mangyshlak water conduit. Impact on surface water during the construction and operation of the designed facilities is not planned. Discharges to the terrain and water bodies are not envisaged. In general, the impact of the designed facilities at the stage of construction and operation on groundwater is assessed as acceptable. During the construction of facilities, minor changes in the terrain will be noted due to excavation, filling of soil and planning sites for the designed facilities. The impact of chemical pollution of the soil cover of nearby areas will be indirect, through the entry of pollutants into the soil through their precipitation from the atmosphere. The impact of consumption and production waste on soils is excluded. Production and consumption waste generated at the designed facilities will be temporarily stored in containers at sites specially designated for temporary storage, and will be removed as they accumulate. Compliance with the relevant sanitary, hygienic and environmental standards when storing waste on the territory of the industrial site completely eliminates their negative impact on the environment. Thus, the impact on the soil during the construction and operation stages, taking into account the implementation of environmental measures, is assessed as acceptable. In the areas adjacent to the planned production, concentrations of some chemical elements present in emissions in gaseous form may increase due to foliar ingress of gaseous pollutants in the immediate vicinity

of emission sources. The scale and intensity of vegetation pollution will be directly dependent on the volume of emissions of pollutants into the atmosphere. According to the results of the chemical impact (mathematical modeling of the calculation of the dispersion of pollutant emissions in the atmospheric air), a significant increase in the impact on the atmospheric air is not expected, the implementation of the planned activities for the construction of the designed facilities will not lead to a significant increase in the negative impact on the atmospheric air from the sources of the enterprise, sanitary and hygienic quality of atmospheric air over residential areas will not deteriorate, the zone of pollution of the surface layer of the atmosphere (above 1 MPC) does not go beyond the boundaries of the sanitary protection zone and shift camps [11]. A significant change in the state of the animal world in the production area is not expected, since the sites in question are located on the economically developed territory. Animals and birds from this territory have long been forced out, the rest have adapted to the current situation. Synanthropic species of birds and rodents will not feel changes in habitat conditions, changes in their numbers are not expected. To reduce the negative impact on the animal world, it is necessary to create fences to prevent animals from entering production sites; keeping the premises clean. Thus, the impact on the wildlife during the construction and operation stages is assessed as acceptable. Positive impacts from the implementation of the planned economic activity are noted for most of the considered components of the socio-economic sphere, and negative impacts do not exceed a low level. At the same time, in the socio-economic sphere the implementation of the Project should play a positive role in the development of the enterprise, as a result of an increase in the number of jobs. During the operation of the designed facilities, compliance with the basic requirements for labor protection and safety is expected. To ensure the safety of operation at the designed facilities, all technological processes will be automated as much as possible. The main parameters of all technological processes provided by the production technology will be strictly controlled. Control will be carried out in compliance with performance requirements and compliance with safety regulations. In emergency situations, possible impacts on the environment are assessed as medium-level impacts on flora and soil, and tolerable (low) levels for atmospheric air and wildlife. The ecological state of the environment of the plant territory and the

sanitary protection zone at the stage of construction and operation of the designed facilities, according to calculations, is acceptable (relatively satisfactory), in the system of low-level expert assessments, when negative changes do not exceed the limit of natural variability. Regular monitoring of the state of the environment, ensuring accident-free operation and the implementation of all the measures provided for by the project will allow the implementation of the planned activities for the construction of facilities without a significant impact on the environment and public health [21].

The procedure for assessing the impact on the environment involves determining the degree of impact on its components of possible emergency situations in the process of technical re-equipment and further operation. The basis for the assessment is an analysis of the risk of accidents, which determines the list of possible sources of impact that can affect the environment. The adopted design solutions and construction methods will ensure high reliability and environmental safety of processes in the course of work. However, even if all safety requirements are met, and highly qualified personnel are present, there is a risk of an accident. This chapter identifies the potential environmental impacts that could result from such accidents. In accordance with the provisions of the Law of the Republic of Kazakhstan dated April 11, 2014 No. No. 188-V ZRK "On Civil Protection" accident - destruction of buildings, structures and (or) technical devices, uncontrolled explosion and (or) release of hazardous substances. During construction and operation, a number of emergency situations may occur [22].

During the performance of work, the following may occur: accidents that occur in a collision with other construction equipment; minor spills of diesel fuel; spill of oil products from tanks.

The main causes of accidents can be:

- technogenic reasons;
- personnel errors;
- equipment defects;
- social unrest;
- natural causes;
- extreme weather conditions;
- soil subsidence.

The probability of occurrence of such accidents during the production of works is very low. The above accidents can have an impact on the environment and cause injury and death of personnel. Therefore, a source of negative impact on the environment in the event of an accident can be a fuel leak. But in this case, the personnel will take prompt action to localize and eliminate the leakage of fuel and lubricants. The construction period, subject to safety regulations during the construction period, the impact on the environment is minimal. Only accidents associated with fuel spills during the operation of construction equipment are possible, the consequences of which will be minimized [25].

Safety measures provide for the observance of existing emergency rules and regulations, including:

- ensuring unimpeded access of emergency services representatives to any production site;
- training of workers and employees in safety regulations, fire safety and compliance with the rules when performing work;
- ensuring tightness of systems for transportation and storage of oil and gas, fuels and lubricants, liquid reagents;
- regular technical inspections of equipment, replacement of faulty equipment.

To prevent and mitigate the negative impact of the operation of the designed facilities on groundwater, the following technical and organizational measures are provided [23]:

- compliance with environmental requirements of legislative and regulatory acts of the Republic of Kazakhstan, internal documents and company standards;
- application of technological solutions allowing the use of a water recycling scheme for the economical use of water resources (minimum consumption of fresh water);
- organization of a closed cooling system for circulating water to feed the circulating water supply system;
- maximum reuse of water after treatment at treatment facilities (treated wastewater) to recharge circulation systems instead of fresh water;

Conclusion

The capacity of the Catofin propane dehydrogenation unit is 503,000 tonnes of propylene per year. As mentioned, the benefits of this technology are the high single conversion per pass and high selectivity, the use of a relatively cheap catalyst and its long lifetime. Other drawbacks include the need for additional efforts to ensure the continued operation of this facility, and the composition of the catalyst includes toxic chromium compounds.

A comparative analysis of propane dehydrogenation processes, their technical and economic indicators, as well as an analysis of information on the industrial implementation of the catalytic propane dehydrogenation process, carried out during the development of the feasibility study for the construction of the integrated gas chemical complex, showed that both in terms of technical characteristics and economic efficiency The preferred process is propylene production by catalytic propane dehydrogenation using CATOFIN® technology from ABB Lummus Global.

In accordance with Article 182 of the Environmental Code of the Republic of Kazakhstan, “Operators of objects of categories I and II are obliged to carry out industrial environmental control.” As part of the implementation of industrial environmental control, the project made proposals for the organization of environmental monitoring. During the operation of KPI LLP facilities in the normal mode, the following types of monitoring should be carried out:

- operational monitoring;
- monitoring of emissions in OS;
- impact monitoring.

According to the legislation of the Republic of Kazakhstan, an enterprise should strive to implement the best available techniques in its work. Article 113 of the Environmental Code of the Republic of Kazakhstan dated January 2, 2021 No. 400-VI ZRK defines the best available technologies (BAT) as the most effective and advanced stage in the development of activities and methods for their implementation, which indicates their practical suitability in order to serve as the basis for establishing technological standards and other environmental conditions aimed at preventing or, if it is practically impossible, minimizing the negative anthropogenic impact on the environment.

Best Available Techniques are determined based on a combination of the following criteria:

- 1) use of low-waste technology;
- 2) use of less hazardous substances;
- 3) promoting the recovery and recycling of substances generated and used in the process, as well as waste, as applicable;
- 4) comparability of processes, devices and operating methods successfully tested at the industrial level;
- 5) technological breakthroughs and changes in scientific knowledge and understanding;
- 6) the nature, impact and volumes of the relevant emissions into the environment;
- 7) commissioning dates for new and existing facilities;
- 8) the length of time required for the implementation of the best available technology;
- 9) consumption level and properties of raw materials and resources (including water) used in processes and energy efficiency;
- 10) the need to prevent or reduce to a minimum the overall level of negative impact of emissions on the environment and risks to the environment;
- 11) the need to prevent accidents and minimize negative consequences for the environment;
- 12) information published by international organizations;
- 13) industrial implementation at two or more facilities in the Republic of Kazakhstan or outside it.

According to the Environmental Code of the Republic of Kazakhstan, for enterprises that install BAT, the integrated environmental permit (IEP) is issued, and the issuance of IEP is also regulated by the Order of acting of the Minister of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan dated August 9, 2021 No. 319 “On approval of the Rules for issuing environmental permits, submitting an environmental impact declaration, as well as forms of environmental impact permit forms and the procedure for filling them out.”

To assess the inevitable damage caused to the environment during the

construction and operation of the designed facilities, an approximate calculation of standard payments for nature use was made. The value of economic damage was calculated for emissions of pollutants into the air. Payment for emissions from stationary sources of air pollution for the construction period will be: - Construction and installation works - 6,243,036 tenge,
- for operation in 2022 -18,337,733 tenge/year.