

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

Институт природных ресурсов
Направление подготовки «Химическая технология органических веществ и полимерных материалов»
Кафедра ТОВПМ

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проект установки пиролиза этана

УДК 661.716.092.-977.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2А	Раков Алексей Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Троян Анна Алексеевна	К.Х.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.ЭК.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Раденков Тимофей Александрович	К.Б.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТОВПМ	Юсубов Мехман Сулейманович	Д.Х.Н.		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ООП 18.03.01)

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

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

Институт природных ресурсов

Направление Химическая технология

Кафедра Технологии органических веществ и полимерных материалов

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

Юсубов

М.С.

«___» _____ 2016 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2А	Раков Алексей Андреевич

Тема работы:

Проект установки пиролиза этана
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Производительность по этилену – 300000 тонн/год. 2. Состав этановой фракции: C_2H_4 – 0,69 % мас. C_2H_6 – 91,5 % мас. C_3H_6 – 3,35 % мас. C_3H_8 – 4,44 % мас. C_4H_8 – 0,02 % мас. 3. Годовой фонд рабочего времени – 8000 ч
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Литературный обзор. 2. Объекты и методы проектирования. 3. Расчеты. 4. Результаты разработки. 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение. 6. Социальная ответственность.
Перечень графического материала	1. Технологическая схема. 2. Реактор. Вид общий. 3. Реактор. Сборочные единицы.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжаккина Татьяна Гавриловна, Кафедра менеджмента, доцент, к.э.н.
Социальная ответственность	Раденков Тимофей Александрович, Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности, к.б.н.
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
–	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Троян А.А	к.х.н., ст.преподаватель		09.09.2015г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2А	Раков Алексей Андреевич		09.09.2015г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2А	Ракову Алексею Андреевичу

Институт	Природных ресурсов	Кафедра	ТОВПМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	180301 Химическая технология

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
<i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
<i>Планирование процесса управления НИТ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИТ</i>
<i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности пиролиза этана</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Оценка конкурентоспособности технических решений
Матрица SWOT
График проведения и бюджет НИТ
Расчёт денежного потока
Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИТ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2А	Раков Алексей Андреевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 112 с., 3 рис., 30 табл., 24 источника,

Ключевые слова: Печь пиролиза этановой фракции, змеевик, конвективная камера, радиантная камера, закалочно – испарительный аппарат, пиролиз, пирогаз

Объектом исследования является (ются) Производство ЭП–300

Цель работы – Расчет действующей мощности производства на примере этановых печей и расчет выхода этилена с этих печей пиролиза

В процессе исследования проводились материальный расчет печи пиролиза – этановой фракции, конструктивный расчет печи и подбор вспомогательного оборудования

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Приведенные ниже расчеты показали, что основное производственное оборудование с возросшей производительностью справляется и замены не требует

Степень внедрения: Значительные изменения по модернизации производства не вводились

Область применения: Получаемые в процессе пиролиза мономеры необходимы для производства полиолефинов

Введение

Пиролиз – наиболее жесткий из деструктивных процессов переработки углеводородного сырья. Этот процесс является одним из основных при получении низкомолекулярных олефинов, преимущественно этилена, являющихся ценным сырьем для синтеза важнейших нефтехимических продуктов. Сырьевая база пиролиза может меняться от попутных газов до газойля и даже сырой нефти. Предназначавшийся вначале лишь для производства этилена, этот процесс в настоящее время является также крупнотоннажным поставщиком пропилена, бутадиена, бензола и других продуктов. Пиролиз получил в современной мировой нефтехимии широкое распространение. Последние мировые тенденции развития нефтехимии свидетельствуют о том, что увеличивается потребность в ароматических углеводородах, которые являются сырьем для многих нефтехимических процессов. В процессе пиролиза, в качестве побочного продукта, получается значительное количество ароматических углеводородов, которые составляют основу смолы пиролиза. Следовательно, процесс пиролиза в настоящее время является востребованным производством, обеспечивающим сырьем многие нефтехимические процессы.

Процесс производства этилена и других олефинов из углеводородного сырья включает стадии пиролиза углеводородов, компримирования газа пиролиза, удаление тяжелых углеводородов, осушки, газофракционирования, удаления сероводорода, углекислого газа и ацетилена. Преимуществом пиролиза является относительная простота его технологического и аппаратного оформления.

1 Теоретическая часть

1.1 Технико-экономическое обоснование проекта

Этилен — самое производимое органическое соединение в мире; общее мировое производство этилена в 2008 году составило 113 миллионов тонн и продолжает расти на 2—3% в год

В настоящее время в структуре производства этилена 64% приходится на крупнотоннажные установки пиролиза, ~ 17% - на малотоннажные установки газового пиролиза, ~ 11% составляет пиролиз бензина и 8% падает на пиролиз этана.

Этилен является ведущим продуктом основного органического синтеза и применяется для получения следующих соединений

- Винацетат;
- Дихлорэтан / винилхлорид (3-е место, 12% всего объёма);
- Окись этилена (2-е место, 14—15% всего объёма);
- Полиэтилен (1-е место, до 60% всего объёма);
- Стирол;
- Уксусная кислота;
- Этилбензол;
- Этиленгликоль;
- Этиловый спирт.

Для получения этилена и его гомологов методом пиролиза в качестве сырья используют этан, пропан, бутан, содержащиеся в попутных газах нефтедобычи, газах термического и каталитического крекингов, а также жидкие углеводороды: газовый бензин и низкооктановые бензино-легроиновые фракции прямой гонки нефти.

Пиролиз в трубчатых печах является основным процессом производства этилена в России. Это ООО «Томскнефтехим» мощностью 300 тыс.т./год этилена; установка производства этилена и полиэтилена ООО

"Ново-Уренгоский ГХК" Мощность: 420 тыс. т./год этилена; установка производства этилена ОАО "Казаньоргсинтез" Мощность: 260 тыс. т/год; Печи новой конструкции рассчитаны на переработку 7-10 т сырья в час. Для повышения эффективности намечено создание целого ряда мощных (300 тыс. т. этилена в год) установок, способных перерабатывать после соответствующей подготовки широкий ассортимент углеводородного сырья, включая керосиновые и газойлевые фракции, предусматривается проведение процесса в жестком режиме – при высоких температурах (до 860 °С) и скоростях подачи сырья.

1.2 Общая характеристика процесса

Пиролиз – наиболее жесткий из термических процессов переработки нефти. Он проводится при температурах 750-900 °С и предназначен в основном для получения высокоценных олефинов – углеводородного сырья нефтехимического синтеза.

Пиролизу подвергаются природные УВ газы, попутные газы нефтедобычи и газы, выделяющиеся из нефти при ее стабилизации на промыслах и нефтеперерабатывающих заводах, а также продукты переработки нефти.

К продуктам нефтепереработки, применяемым для пиролиза, относятся непредельные газовые потоки установок термической переработки нефти и каталитического крекинга, прямогонный бензин и бензин - рафинат с установок экстракции ароматических УВ. При пиролизе бензиновых фракций дополнительно получают высокоценные продукты – бутадиен, бутилены, ароматические УВ, сырье для производства сажи и нафталина.

При пиролизе образуются пиролизный газ и жидкие продукты пиролиза (смола пиролиза).

Пиролизный газ содержит большое количество различных компонентов. Его состав зависит от температуры пиролиза, времени пребывания в реакционной зоне и качества исходного сырья. Пиролизный газ на блоках газоразделения установок пиролиза делится на водород, метан, этан, этилен, пропилен, пропан, бутилен-бутадиеновую фракцию. Из бутилен-бутадиеновой фракции выделяют-бутадиен 1,3 – сырье промышленности синтетического каучука [1].

Смола пиролиза. Смолой пиролиза называют получаемые в процессе жидкие УВ от C₅ и выше. Смола пиролиза содержит 10-15 % диеновых УВ, 10-15 % олефинов, 25-30 % бензола, 10-15 % толуола, а также непредельные соединения типа стирола и циклоолефины – циклопентадиен [1].

1.3 Характеристика продуктов, сырья и материалов

В настоящее время наиболее широко в качестве сырья пиролиза используют бензиновые фракции. Обычно это – широкая бензиновая фракция, выкипающая в интервале температур 40-165 °С.

Как известно, жидкое углеводородное сырьё характеризуется фракционным, групповым углеводородным и компонентным составом. В бензиновых фракциях содержится до 200 компонентов, часть из которых не всегда удаётся идентифицировать методом газожидкостной хроматографии из-за малой их концентрации. Примерно 95 % присутствующих в бензине компонентов удаётся идентифицировать. На их долю приходится 40-60 индивидуальных веществ.

Накоплен банк экспериментальных данных по пиролизу индивидуальных углеводородов, входящих в состав бензиновых фракций, а именно: алканов нормальных и изостроения с одной, двумя и тремя боковыми группами, нафтенов и алкилароматических углеводородов. Обобщение экспериментальных данных по пиролизу индивидуальных

углеводородов указанных классов, а также простых и сложных смесей этих углеводородов позволили установить основные зависимости состава продуктов разложения от строения исходных углеводородов и взаимное влияние углеводородов различных классов при их совместном пиролизе. Установлено, что максимальный выход этилена имеет место при пиролизе n-алканов. Выход этилена далее снижается в ряду: алканы изостроения разветвлённые с одной боковой CH_3 -группой, нафтены, алканы изостроения с тремя боковыми группами, ароматические углеводороды.

Для оценки жидких углеводородных фракций как сырья для пиролиза существует несколько критериев. Наиболее простые из них – это содержание n-алканов, ароматических углеводородов и плотность. Сравнение по каждому показателю даёт только приблизительную оценку. Так, с увеличением содержания n-алканов и снижением доли ароматических углеводородов выходы этилена и пропилена будут возрастать. С повышением плотности фракции выходы низших олефинов будут падать. На основании таких простых оценок могут быть сделаны и ошибочные выводы. Например, бензин с высоким содержанием ароматических углеводородов будет иметь плотность ниже, чем вакуумный газойль с очень высоким содержанием n-алканов, а выход олефинов из него будет выше.

В связи с широкими перспективами добычи и переработки газовых конденсатов в качестве сырья может быть использована выделенная из них бензиновая фракция. По физико-химическим фракциям прямогонных бензинов, но в нём содержится обычно больше ароматических углеводородов и сернистых соединений.

При эксплуатации крупнотоннажных этиленовых производств в качестве сырья для пиролиза используют бензиновые фракции: широкие н.к. – 180 °С, н.к. – 160 °С, узкие н.к. – 62, н.к. – 85, н.к. – 110, 62 – 85 и 85 – 120 °С.

Переработка смолы пиролиза может осуществляться по двум вариантам – топливному и химическому.

При топливном варианте смола делится на две фракции – легкую и тяжелую. Из легкой фракции гидрированием удаляются непредельные УВ, очищенный продукт, называемый гидростабилизированным бензином, имеет октановое число 74-78 пунктов и используется как компонент товарного автобензина. Тяжелая фракция направляется в котельное топливо [1].

При химическом варианте смола делится на фракции н.к. -70°C , $70-130^{\circ}\text{C}$, $130-160^{\circ}\text{C}$, $160-200^{\circ}\text{C}$, $200-230^{\circ}\text{C}$, выше 230°C . Из фракции н.к. -70°C выделяют циклопентадиен и изопрен, из фракции $70-130^{\circ}\text{C}$ – бензол, толуол и ксилолы. Фракции $130-160^{\circ}\text{C}$ и $160-200^{\circ}\text{C}$ подвергаются полимеризации с получением синтетических нефтеполимерных смол – стирольной и кумарон-инденовой. Фракция $200-230^{\circ}\text{C}$ может быть использована как сырье для получения нафталина, а фракция выше 230°C – для получения технического углерода (сажи) [1].

Образующаяся при пиролизе фракция углеводородов C_4 содержит до 0,62% бутадиена-1,3, 0,14% изобутена, 0,15% бутана. Бутадиен-1,3 в мировой нефтехимии используется для получения эластомеров.

Основные области применения изобутена - производства изобутилметилового эфира и изопрена, спиртов и пластических масс.

1.4 Физико-химические основы процесса

1.4.1 Термодинамика

Технологические параметры процесса зависят от перерабатываемого сырья и того, какие УВ необходимо получить при пиролизе. Оптимальным считается режим, при котором обеспечивается максимальный выход олефинов.

К числу основных параметров, в наибольшей степени влияющих на процесс пиролиза, относятся температура, время пребывания сырья в реакторе и парциальное давление взаимодействующих углеводородов.

Применяемые в промышленной практике величины этих важнейших параметров устанавливаются в соответствии с известными зависимостями термодинамики и кинетики реакций углеводородов при пиролизе.

Процесс термического разложения углеводородов, состоящий из многих элементарных реакций, которые протекают одновременно и последовательно, условно можно расчленить на две последовательные стадии. На первой стадии протекают первичные реакции термического расщепления алканов с образованием олефинов, диолефинов и алканов с меньшим, чем у исходных углеводородов или равным числом атомов углерода, а также водорода. На второй стадии образовавшиеся олефины и диолефины подвергаются реакциям дегидрирования, дальнейшего расщепления и конденсации с образованием циклических ненасыщенных и ароматических углеводородов. В дальнейшем ходе реакции получают всё более сложные многоядерные ароматические углеводороды. В итоге эти соединения, выделяя водород и частично адсорбируясь на поверхности реакторов, образуют твёрдую плёнку углерода, так называемый, пиролизный кокс. Последний может получаться и при прямом разложении углеводородов на углерод и водород[2].

Энергетические характеристики реакций, определяют направления и максимальную равновесную степень превращения по ним исходных веществ. Равновесную степень превращения по химической реакции можно вычислить из уравнения зависимости энергии Гиббса (свободной энергии, G°)[3]:

$$\ln K_p = \frac{-G^\circ}{RT} \quad (1)$$

где K_p – константа равновесия;

G – энергия Гиббса;

R – газовая постоянная;

T – температура.

Изменение стандартной энергии Гиббса определяется разностью стандартных значений энергии Гиббса образования конечных и исходных веществ реакции. Степень превращения χ исходных веществ по реакции является однозначной функцией константы равновесия K_p , аналитическое выражение которой определяется стехиометрией реакции.

В результате термического разложения углеводородов получают различные продукты и в том числе низшие олефины, метан, а также другие алканы меньшей молекулярной массы, чем исходный. Так, при описании пиролиза этана молекулярными реакциями основной является реакция дегидрирования с образованием этилена.

Равновесное дегидрирование алканов C_2-C_4 может пройти до конца при 800-850 °С. Реакции расщепления алканов могут завершиться при более низкой температуре, порядка 250-450 °С, причём чем больше атомов углерода в молекуле исходного углеводорода, тем более низкой температуре соответствует его полное равновесное расщепление. Одной из реакций пиролиза алканов является разложение их на углерод и водород. С повышением температуры равновесная степень разложения алканов и олефинов по этой реакции возрастает, а ацетилена – падает. Поэтому при температуре ≈ 1400 К ацетилен становится термодинамически более стойким, чем этилен. Стабильность углеводородов к разложению по этому направлению уменьшается с увеличением числа атомов углерода в молекуле. Практически в условиях пиролиза, то есть при малом времени пребывания сырья в зоне реакции, распад алканов и олефинов на углерод и водород, несмотря на его большую равновесную вероятность, осуществляется из-за кинетических ограничений в небольшой степени[2].

Данные расчётов равновесных степеней превращений углеводородов при пиролизе по отдельным реакциям могут быть использованы лишь для

качественных, сравнительных оценок стабильности веществ и состава продуктов, так как не учитываются результаты других, параллельно протекающих реакций. В процессе пиролиза вещества участвуют в нескольких одновременно протекающих реакций, и их концентрация меняется в соответствии с этим. Поэтому при количественных равновесных расчётах следует учитывать все превращения. Для расчёта равновесного состава продукта пиролиза необходимо решить систему алгебраических уравнений, связывающих концентрации исходных веществ, образующихся соединений и константы равновесия молекулярных реакций, которыми условно описывается процесс. Результаты расчётов показали, что для пиролиза этана, пропана и н-бутана равновесная концентрация этилена в продукте для диапазона температур 900-1300 К имеет максимум, который приходится для этана на 900 К, для пропана – на 1050 К и для н-бутана – на 1100 К. При более низких температурах равновесные концентрации этана и пропилена велики, а при более высоких резко возрастает равновесная концентрация ацетилена и снижается равновесная концентрация не только этилена, но и метана.

Позднее аналогичные расчёты были проведены с применением ЭВМ, причём наряду с температурой изменялись такие параметры пиролиза пропана, как общее давление в системе и разбавление сырья водяным паром. Результаты показывают, что с увеличением давления в системе равновесные выходы этилена снижаются, алканов – возрастают, в частности снижается равновесная степень превращения исходного пропана. С другой стороны, увеличение разбавления сырья водяным паром приводит к благоприятным результатам: равновесный выход этилена несколько возрастает, повышается также степень превращения пропана, выход алканов – продуктов реакции – уменьшается.

Температура процесса не только влияет на время, необходимое для достижения заданной глубины, но сильно изменяет состав продуктов.

Повышение температуры снижает селективность образования радикалов при реакциях замещения, что повышает образование первичных радикалов и снижает роль изомеризации первичных радикалов во вторичные. Это приводит к увеличению выхода этилена.

В соответствии с результатами термодинамических расчётов пиролиз углеводородов для производства низших олефинов целесообразно осуществлять при довольно высоких температурах, превышающих 600-700. Верхний предел температуры определяется возможностью проведения его без значительного образования ацетилена. Согласно данным термодинамических расчётов пиролиз следует проводить при низком давлении, желательно приближающемся к атмосферному, и при достаточном разбавлении сырья водяным паром.

1.4.2 Образование и отложение кокса

В процессе пиролиза образуется и большей частью откладывается на стенках трубчатого реактора твердый коксообразный продукт (пиролизный кокс), состоящий почти целиком из углерода. Глубина превращения исходных УВ в кокс в промышленных печах не велика: выход кокса составляет менее 0,01%, но неблагоприятное воздействие пленки кокса, отлагающихся в трубах, на результаты пиролиза значительно.

Отложение кокса затрудняет теплопередачу через стенку ректора, способствует ускорению коррозии и износа материала труб, что ведет к снижению выходов олефинов, снижению срока службы труб, уменьшению длительности межремонтных периодов эксплуатации печей.

Скорость отложения кокса зависит от состава сырья, от основных параметров процесса и от материала стенок реакторов

Кокс может образовываться путём конденсации и дегидроконденсации алкенов и ароматических углеводородов, получившихся

на первых стадиях реакции, либо в результате разложения исходных углеводородов непосредственно или через промежуточные радикалы на углерод и водород.

В первом варианте имеющиеся в реакционном объёме алкены и ароматические углеводороды подвергаются реакциям конденсации, поликонденсации и дегидрополиконденсации с образованием поликонденсированных ароматических углеводородов. В результате реакций конденсации образуются плоские структуры из углеродных атомов. Молекулы могут конденсироваться на поверхности реакционной системы постепенно, образуя за счёт дегидрогенизации пироуглерод (кокс), или могут образовывать в газовой фазе стабильные жидкие капли (зародыши кокса), которые оседают на поверхности либо формируют частицы кокса в объёме, уносимые далее из зоны реакции потоком пирогаза.

В пользу представления о двух различных путях образования кокса при пиролизе углеводородов свидетельствует, в частности, разнообразие типов и структур кокса, формирующегося при термическом разложении жидких и газообразных углеводородов. При температурах промышленного пиролиза – от 650 до 900 °С – может формироваться кокс трёх типов, отличающихся строением (макроструктурой): волокнистый нитевидный ленточный (дендрит) или игольчатый, слоистый анизотропный, образующий относительно непрочную плёнку чёрного цвета.

Количественное соотношение двух путей образования кокса зависит от условий ведения процесса образования кокса зависит от условий ведения процесса. Кокс, образованный каталитическими реакциями (нитевидный), очевидно, преобладает при относительно низких температурах и на ранних стадиях процесса. При более высоких температурах и значительных степенях превращения исходного сырья возрастает значение конденсационного механизма, причём тип кокса зависит от парциального давления углеводородов, от свойств поверхности, на который кокс отлагается,

строения исходных углеводородов, температуры и ряда других факторов. С увеличением парциального давления углеводородов повышается доля образующего аморфного кокса.

Повышение давления при одной температуре повышает роль реакций замещения, в результате снижаются выходы низших алкенов и водорода и возрастают выходы этана, пропана, изобутана.

1.4.3 Влияние параметров пиролиза на жесткость процесса

Жесткость пиролиза углеводородного сырья определяется уровнем температуры его переработки и временем пребывания его в области высоких температур, в которой осуществляется реакция. За меру жесткости переработки сырья при пиролизе могут принимаются некоторые показатели, характеризующие состав или свойства продукта реакции. Применяют для этого, в частности, степень превращения (конверсии) сырья. При пиролизе бензиновых фракций применяют в качестве показателя жесткости отношение образующихся водорода и метана к этилену, поскольку выходы водорода и метана с увеличением жесткости увеличиваются постоянно, а выход этилена при высокой жесткости не возрастает или несколько уменьшается. Используют также в качестве показателя жесткости отношение выходов пропилена к этилену, которое снижается по мере увеличения жесткости. При равной степени превращения прямогонного бензина выходы этилена, бутадиена-1,3 и ацетиленов с уменьшением времени пребывания возрастают.

Важнейший параметр процесса – температура – определяет степень превращения исходных веществ по реакциям, протекающим при пиролизе. Так как первичные реакции термического разложения исходных веществ можно рассматривать как реакции первого кинетического порядка, скорости их протекания линейно зависят от концентрации исходных веществ, а степень разложения не зависит от их концентрации, но зависит от

температуры. От температуры зависит также и доля образовавшихся на первой стадии различных радикалов, подлежащих распаду и, следовательно, выходы различных низших олефинов. Таким образом, температура процесса – фактор, определяющий как степень разложения исходного вещества, так и распределение продуктов пиролиза.

В условиях обычного пиролиза, когда глубина разложения исходных веществ достаточно велика, с определенной глубиной протекают и вторичные реакции, например разложение олефинов и диолефинов, образовавшихся на первой стадии, реакции типа присоединения и т.д. При этом наиболее стабильным соединением из первичных олефинов является этилен. Пропилен и бутены на второй стадии реакции в присутствии атомарного водорода разлагаются; из пропилена и бутена-1 дополнительно получается этилен. В свою очередь последний при повышении температуры увеличивает скорость реакций присоединения с образованием в итоге бензола, а при значительном повышении температуры ускоряется отщепление водорода с образованием ацетилена. Хотя скорость вторичных превращений в меньшей степени зависит от температуры, чем первичных, однако такая зависимость существует и характеризуется величинами энергии активации соответствующих реакций[2]. Поэтому выходы продуктов реакции пиролиза углеводородов при различных температурах определяются не только зависимостью глубины превращения исходного вещества от температуры.

Процессы распада сырья начинаются при температуре ~ 600 °С и идут с заметной скоростью с образованием газообразных продуктов при температурах выше 650 °С. В интервале от 600 °С до 680 °С из алканов и нафтенев в заметном количестве образуются наряду с пропиленом и этиленом высшие олефины – пентены и гексены. При более высоких температурах увеличивается выход более легких углеводородов, причем выходы олефинов C₂-C₄ проходят через максимум. Стабильность олефинов

возрастает с уменьшением их молекулярной массы, и максимум их выхода сдвигается в сторону более высоких температур.

В условия промышленного пиролиза температура перерабатываемого сырья неодинакова по длине реактора и обычно достигает максимума на выходе из него.

Другим важным параметром пиролиза является *время пребывания пиролизуемых веществ в зоне реакции, называемое иногда временем контакта*. Под временем пребывания понимают промежуток времени, в течении которого поток реагирующего вещества находится в реакционном змеевике при таких температурах, когда реакция пиролиза протекает с значительной скоростью. Кривые выходов ряда продуктов в зависимости от времени пребывания проходят через максимумы для каждой температуры. Выходы водорода и метана с увеличением времени пребывания непрерывно возрастают.

Таким образом, увеличение температуры пиролиза с одновременным сокращением времени пребывания способствует достижению более высоких выходов целевых продуктов, в том числе этилена.

1.4.4 Влияние параметров пиролиза на селективность процесса

Важным фактором, влияющим на селективность пиролиза, является давление в зоне реакции, точнее – парциальное давление углеводородной части реагирующего потока. Этилен и другие низшие олефины образуются в результате первичных реакций первого кинетического порядка, степень превращения сырья по этим реакциям от давления не зависит, но олефины реагируют дальше, превращаясь в продукты полимеризации или конденсации и степень их превращения по этим направлениям пропорциональна парциальному давлению. Парциальное давление

углеводородной части реагирующей смеси определяется суммарным давлением в реакторе и разбавлением сырья водяным паром.

О давлении смеси в реакторе судят, как правило, по давлению, на выходе из реактора. Снижения давления на выходе из реактора благоприятно влияет на выход бутадиена-1,3. Выход этилена меняется мало, а выход метана снижается. Выход легкой фракции жидких продуктов (пироконденсата) в результате повышения давления в точке на выходе реактора увеличивается, а выход тяжелой фракции жидкого продукта (пиролизного масла) увеличивается в большей степени, чем выход пироконденсата. Расчеты показали, что оптимальное давление на выходе из реактора в среднем находится в пределах 0,16-0,20 МПа.

Парциальное давление углеводородов в зоне реакции зависит, кроме указанных факторов, также от перепада давления в потоке по длине реактора, который в свою очередь зависит от расхода сырья и его физических свойств, размеров и конструкции реактора.

Важным и относительно легко варьируемым фактором, определяющим парциальное давление углеводородов, является разбавление углеводородного сырья водяным паром. С увеличением разбавления сырья паром (снижением парциального давления углеводородов) возрастают выходы этилена, бутадиена-1,3 и бутенов, но снижаются выходы ароматических углеводородов и метана, следовательно селективность пиролиза повышается. Замечено также повышение выхода ацетилена с увеличением степени разбавления бензиновой фракции водяным паром при времени пребывания 0,4 с[2].

Парциального давления УВ на выход пропилена не влияет. Пропилен в ректоре пиролиза взаимодействует не только в направлении образования более тяжелых продуктов уплотнения, но и вступает во взаимодействие с атомарным водородом с образованием этилена; причем этой реакции способствует низкое парциальное давление УВ.

С увеличением разбавления УВ водяным паром снижается коксообразование в реакторе, так как уменьшается скорость реакций второго и более высоких кинетических порядков.

Так как добавление водяного пара снижает скорость отложения кокса на внутренней поверхности пиролизных труб, уменьшается скорость роста перепада давления и температуры поверхности труб за время рабочего пробега, а длительность его до очистки труб от кокса увеличивается. Таким образом, за счет разбавления сырья паром можно повысить жесткость пиролиза и увеличить выход этилена без снижения селективности процесса

1.5 Выбор основного аппарата

Чтобы осуществлять термическое разложение углеводородов применяется более распространенный аппарат – трубчатая печь, представленный на рисунке 1 [5].

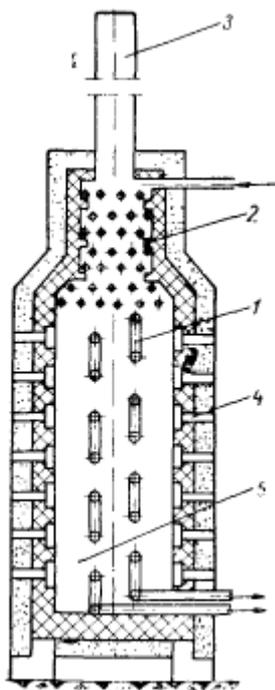


Рисунок 1 – Схема трубчатого реактора градиентного типа

Данная схема, трубчатого реактора градиентного типа, включает в себя следующие основные элементы: собственный реактор 1, который выполнен в виде трубчатого змеевика, подогреватель змеевика 2, тяговые устройства 3, газогорелочные устройства 4, камеру сгорания 5 (облицована огнеупорной кладкой и имеющая металлический корпус) [5].

В зависимости от расположения змеевика в камере сгорания различают следующие виды трубчатых печей: с боковыми экранами; с экраном двустороннего облучения; с потолочным и подовым экраном; с потолочным экраном на наклонном своде [5].

Пиролиз в трубчатых печах осуществляется, как известно, за счет переноса теплоты от источника (дымовых газов) к сырью через стенки стальной трубы [4].

Поскольку для достижения приемлемых глубин конверсии и выхода олефинов необходимо вести процесс при температурах намного выше обычных температур, то нужны трубы из высоколегированных сталей и сплавов [4].

В настоящее время трубчатый пиролизный реактор с наружным огневым обогревом является самым распространенным как в России, так и за рубежом. Простота конструкции, относительно небольшие эксплуатационные расходы, удовлетворительные показатели работы являются главными и положительными качествами трубчатых печей.

В настоящее время в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности при меняются печи радиантно - конвекционного типа.

Эти печи имеют радиантную и конвекционную секции. Трубы радиантной секции размещены на стенах, под крышей или на полу печей. Радиантная секция получает основное тепло за счет излучения и является наиболее эффективной частью пиролизного змеевика. В конвекционной секции теплопередача в основном идет от потока дымовых газов к трубам змеевика.

Наибольшее распространение получили трубчатые печи с экраном из труб двустороннего облучения. Печь обогревается панельными беспламенными горелками конструкции Гипронефтемаша, собранными в виде двух излучающих стен.

Каждая труба радиантной секции получает тепло с двух сторон. Это в большой мере устраняет неравномерность обогрева радиантных труб по окружности трубы в печах, где трубы висят под сводом печи или лежат на поду печи, т. е. облучаются односторонне.

Это способствует интенсификации передачи тепла через стенки труб и позволяет значительно увеличить теплонапряженность поверхности труб и производительность печи по сырью. По имеющимся данным теплонапряженность поверхности труб в печах двустороннего облучения можно увеличить на 20 - 30%, а производительность по сырью - на 50% по сравнению с факельными пиролизными печами.

Трубы радиантной секции висят на специальных опорах из жаростойкой стали, так что ось трубы перпендикулярна направлению движения газов в горелке. Это самое выгодное положение трубы. Против каждого горизонтального ряда горелок расположено несколько пиролизных труб радиантной секции.

Изменяя количество подаваемого в ряд горелок топливного газа, можно варьировать количество подводимого тепла по длине радиантной секции пиролизного змеевика. При этом становится возможным обеспечить оптимальную температуру (и максимальную теплонапряженность) на каждом участке радиантной секции.

Применение печей градиентного типа снижает удельные капитальные затраты на строительство печи более чем на 20 % и расход топлива на 20- 25 %, а также повышает выход этилена и пропилена на 1,0-1,5 % за счет более равномерного обогрева пиролизного змеевика

1.6 Описание технологической схемы установки

Этановая фракция, предварительно подогретая в теплообменнике поступает четырьмя потоками в 1-ю секцию камеры конвекции печи пиролиза.

После 1-ой секции камеры конвекции, сырье смешивается с водяным паром (пар разбавления), давление которого (0,60 – 1,32) МПа, подаваемым с узла выработки пара для снижения парциального давления этановой фракции. Пар разбавления подается через распределительный коллектор в каждый поток печи.

Далее, паросырьевая смесь с температурой (140 – 300) °С поступает в 5 и 6 секции камеры конвекции, где нагревается до температуры (400 – 650°С) а затем направляется в камеру радиации печи.

В камере радиации происходит процесс пиролиза в трубчатых змеевиках. Образовавшийся пирогаз с температурой (780 – 850 °С) и давлением на выходе из печи перед ЗИА не более 0,17 МПа поступает из змеевиков радиантной камеры печи пиролиза в трубное пространство ЗИА где охлаждается до температуры (320 – 450 °С), за счет испарения питательной воды в межтрубном пространстве ЗИА. Для предотвращения вторичных реакций, которые несут за собой потерю выхода целевого продукта, необходимо быстро охлаждать пирогаз.

В процессе охлаждения пирогаза в ЗИА, происходит выработка насыщенного водяного пара давлением .

Питательная вода из экономайзера пароперегревателя поступает в коллектор питательной воды печей пиролиза, затем направляется в экономайзер печи, расположенный в конвекционной камере печи (2-ая и 4-ая секции), где подогревается и далее направляется в отделительный барабан.

Из барабана вода самотеком поступает в ЗИА где частично испаряется за счет тепла охлаждаемого пирогаза. Образовавшаяся пароводяная смесь возвращается в барабан на сепарацию.

Образовавшийся насыщенный пар высокого давления из барабана подается в перегреватель пара высокого давления печи, расположенный в камере конвекции печи (3-я секции). Там он перегревается до температуры (325 – 345) и, с давлением (10,4 – 12,85) МПа , через электродвижку поступает в коллектор насыщенного пара высокого давления и далее направляется в пароперегреватель.

4. Контроль производства и управление технологическим процессом

4.1 Аналитический контроль технологического процесса печей пиролиза

Методы контроля, которые используются на производстве:

- a. хроматографический метод – определяют этилен, , углекислый газ в пирогазе, состав легких и тяжелых смол, кислород в газе продувке;
- b. йодометрическим методом – определяют в пирогазе пиролиза водород, в питательной воде кислород, который подается в котел-утилизатор и ЗИА;
- c. трилонометрическим методом – в питательной воде определяют жесткость;
- d. титрование – анализируют рабочий раствор ингибитора и определяют, сколько в нем содержится KHCO_3 и K_2CO_3 ;
- e. потенциометрическим методом – в паре из котла-утилизатора и котле-утилизаторе определяют рН питательной воды.
- f. колориметрическим методом – анализируют питательную воду и определяют содержание солей железа.

4.2 Автоматическое управление основными параметрами

Таблица 16 – Карта контроля технологических параметров

Место измерения параметра	Контролируемый параметр	Нормы технологических показателей	Частота и способ контроля	Кто анализирует	Методы и средства контроля (регулирования)
1	2	3	4	5	6
Трубопровод подача этановой фракции	Расход, FIRC	2,5-3,5 м ³ /ч	Непрерывно по прибору с записью в режимном листе каждый час	Аппаратчик	Датчик РП-10ЖУЗ, диапазон измерений 0-10 м ³ /ч, класс точности 1,5. Вторичный прибор ПВ10.1Э, шкала 0-10 м ³ /ч, кл.точности 1,0.
Трубопровод подача топливного газа	Расход, FIRC	2,5-3,5 м ³ /ч	Непрерывно по прибору	Аппаратчик	Датчик РП-6,3 ЖУЗ, диапазон измерений 0-10 м ³ /ч, класс точности 1,5. Вторичный прибор РПВ4.2Э, шкала 0-6,3 м ³ /ч, кл.точности 1,0.
Трубопровод подача водяного пара	Расход, FIRC	2,5-3,5 м ³ /ч	Непрерывно по прибору	Аппаратчик	Датчик РП-10ЖУЗ, диапазон измерений 0-10 м ³ /ч, класс точности 1,5. Вторичный прибор ПВ10.1Э, шкала 0-10 м ³ /ч, кл.точности 1,0.

Продолжение таблицы 16

Трубчатая печь	Температура, TIRC	900 - 1100 °С	Непрерывно по прибору с записью в режимном листе каждый час	Аппаратчик	Пирометр ЛУЧ-Н, диапазон измерений 500-1200 °С, класс точности 1,5.
Трубопровод парогазовой смеси перед трубчатой печью	Соотношение пар:газ, FFR	н/м 0,4:1 (моль.)	Непрерывно по прибору	Аппаратчик	Датчик РП-6,3 ЖУЗ, диапазон измерений 0-10 м ³ /ч, класс точности 1,5. Вторичный прибор РПВ4.2Э, шкала 0-6,3 м ³ /ч, кл.точности 1,0.
Трубопровод парогазовой смеси перед трубчатой печью	Температура, TIR	н/б 540 °С	Непрерывно по прибору	Аппаратчик	Пирометр М90ЗВ, диапазон измерений - 50-1000 °С, класс точности 1,0.
Трубопровод выхода дымовых газов	Температура, TIR	до 1000 °С	Непрерывно по прибору	Аппаратчик	Пирометр ЛУЧ-Н, диапазон измерений 500-1200 °С, класс точности 1,5.
Трубопровод к основным горелкам печи	Давление, PIS	н/б 3,0 кг/см ² н/м 0,2 кг/см ²	Непрерывно по прибору	Аппаратчик	Манометр Тип 222.30, диапазон измерений 0-7000 бар, класс точности 1,0.
Конвекционная секция печи	Температура, TIRC	500-550 °С	Непрерывно по прибору	Аппаратчик	Пирометр ЛУЧ-Н, диапазон измерений 500-1200 °С, класс точности 1,5.
Трубопровод на выходе из радиантных труб составляет	Температура, TIR	850-880 °С.	Непрерывно по прибору	Аппаратчик	Пирометр ЛУЧ-Н, диапазон измерений 500-1200 °С, класс точности 1,5.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время пиролиз – основной способ получения важнейших мономеров промышленного органического синтеза – низкомолекулярных ненасыщенных углеводородов – этилена и пропилена, являющихся ценным сырьем для синтеза важнейших нефтехимических продуктов. Поэтому производство низших олефинов осуществляется в крупных масштабах и непрерывно растет.

Основные направления использования этилена включают производства: полиэтилена, поливинилхлорида, стирола, этиленгликоля, этанола, ацетальдегида, винилацетата, пропионовой кислоты, пропионового альдегида.

Пропилен применяют в синтезах полипропилена, акрилонитрила, пропиленгликоля, ацетона, изопропилбензола, олигомеров, изопропанола, оксоспиртов, аллилацетата, глицерина.

Потребление низкомолекулярных олефинов в мире с каждым годом все увеличивается. Это связано с увеличением мощностей нефтехимических производств. Наличие сырьевой базы определяет развитие установки пиролиза, а ее изменчивость приводит к необходимости делать эту установку гибкой, способной к максимальному выходу ценных продуктов вне зависимости от используемого сырья. Кроме того, последние мировые тенденции развития нефтехимии свидетельствуют о том, что увеличивается потребность в ароматических углеводородах, которые являются сырьем для многих нефтехимических процессов. В процессе пиролиза, в качестве побочного продукта, получается значительное количество ароматических углеводородов, которые составляют основу смолы пиролиза. Следовательно, процесс пиролиза в настоящее время является востребованным

производством, обеспечивающим сырьем многие нефтехимические процессы[24].

5.1 Сегментирование

По результатам проведенного сегментирования рынка были определены основные сегменты, а также выбраны наиболее благоприятные из них (рисунок 3).

	Характеристики метода			
	Высокий выход продукта	Высокая чистота целевого продукта	Наращиваемая мощность установки	Дешевое сырье
НИ ТПУ				
ОАО "Казаньоргсинтез"				
ООО «Томскнефтехим»				

Рис. 3. Карта сегментирования:

 – пиролиз этановой фракции;  – пиролиз бензиновой фракции.

Таким образом, самым оптимальным методом получения продуктов является метод пиролиза этана, т. к. данный метод имеет много преимуществ.

5.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в

научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов [24].

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

Таблица 17 – 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}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
2. Удобство в эксплуатации	0,05	3	3	3	0,15	0,15	0,15
3. Энергоэкономичность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
4. Надежность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
5. Безопасность	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
6. Простота эксплуатации	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	2	2	0,2	0,1	0,1
3. Цена	0,1	4	4	3	0,32	0,32	0,24
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
5. Финансирование научной разработки	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
6. Срок выхода на рынок	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
7. Наличие сертификации разработки	0,05	1	3	3	0,05	0,15	0,15
Итого	1				4,17	3,82	3,39

Где Б_{к1} - ООО «Томскнефтехим», Б_{к2}- ОАО «Казаньоргсинтез»

5.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой

комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [24].

Таблица 18– SWOT – анализ

	<p>Сильные стороны: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии пиролиза этана С2. Экологичность технологии пиролиза этана С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями С4. Наличие бюджетного финансирования С5. Квалифицированные работники (аппаратчики 5го и 6го разрядов)</p>	<p>Слабые стороны: Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Отсутствие подрядной компании, способной построить производство «под ключ» Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для построения лабораторной установки Сл4. Удаленность потенциальных потребителей Сл5. Большой срок поставок материалов и комплектующих, необходимых для построения установки</p>
<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Использование инфраструктуры ТомскНефтеХим г.Томска В3. Появление дополнительного спроса на продукты В4. Снижение таможенных пошлин на исходное сырье: этан. В5. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>Выход этилена и пропилена на рынок, будет способствовать развитию разработки, что увеличит спрос на продукцию. За счет инфраструктуры ТПУ возможно увеличение потенциала разработки.</p>	<p>Использование инфраструктуры ТПУ, а так же заводов Томска ТомскНефтехим позволят создать прототип научной разработки, а так же обеспечит возможность построения производства.</p>

Продолжение таблицы 18

Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Ограничения на экспорт технологии У4. Введение дополнительных требований к сертификации продукции У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования	Угрозу отсутствия спроса и наличие развитой конкуренции уменьшит качество получаемого продукта с помощью пиролиза этана. Наличие необходимого оборудования для исследования образца покроет несвоевременное финансовое обеспечение, а квалифицированный персонал увеличит качество продукции.	Слабые стороны проекта это развитие конкуренции. Высока вероятность производительность других способов получения этилена. Отсутствие своевременного финансового обеспечения со стороны государства приведет к тому, что установка не будет опробована в производственных масштабах, следовательно будет увеличение срока выхода разработки на рынок. Именно поэтому, необходимо найти пути усовершенствования технологии получения этилена, для повышения ее конкурентной активности относительно других существующих компаний
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

5.4 Планирование научно-исследовательских работ

5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке [24]:

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

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

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления работ и этапов, распределение исполнителей по данным видам работ приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность Исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр
	3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	Руководитель, бакалавр
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр
Теоретическое обоснование и проведение экспериментальных исследований	5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	Руководитель, бакалавр
	6	Построение моделей и проведение экспериментов	Руководитель, бакалавр
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, бакалавр
Обобщение полученных результатов, выводы по проделанной работе	8	Оценка эффективности провед. Исследований	Руководитель, бакалавр
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, бакалавр
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка принципиальной схемы	Руководитель, бакалавр
	11	Расчет конструкции нового оборудования	Руководитель, бакалавр
	12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Руководитель, бакалавр
Оформление отчета по НИР	13	Составление пояснительной записки	Руководитель, бакалавр
	14	Сдача работы на рецензию	Бакалавр
	15	Предзащита	Руководитель, бакалавр
	16	Подготовка к защите дипломной работы	Бакалавр
	17	Защита дипломной работы	Руководитель, бакалавр

5.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула [1]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5},$$

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

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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

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

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой [24]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле[24]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48,$$

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

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

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

Рассчитанные значения T_{ki} в календарных днях по каждой работе необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу 20.

Таблица 20 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Наименование работ	Трудоёмкость работ						Исполнители	
		t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{\text{ож}}$, чел-дни			
		Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр
1	Составление и утверждение технического задания	4	3	5	6	4,4	4,2	Р	Р
2	Выбор направления исследований	3	3	5	5	3,8	3,8	Р	Р
		3	3	5	5	3,8	3,8	Б	Б
3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	2	2	7	6	3,4	3,6	Р	Р
		2	2	7	6	3,4	3,6	Б	Б
4	Календарное планирование работ по теме	1	2	2	3	1,4	2,4	Р	Р
		1	1	2	2	1,4	1,4	Б	Б
5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	20	25	45	45	30	33	Р	Р
		10	10	20	20	14	14	Б	Б
№	Наименование работ	Трудоёмкость работ						Исполнители	
		t_{min}		t_{max}		$t_{\text{ож}}$			

		чел-дни		чел-дни		чел-дни			
		Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр
6	Построение моделей и проведение экспериментов	14	14	30	30	20,4	20,4	Р	Р
		14	14	30	30	20,4	20,4	Б	Б
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	5	5	7	7	5,8	5,8	Р	Р
		5	5	7	7	5,8	5,8	Б	Б
8	Оценка эффективности проведенных исследований	1	1	3	3	1,4	1,4	Р	Р
		1	1	3	3	1,4	1,4	Б	Б
9	Определение целесообразности проведения ОКР	3	3	7	7	4,6	4,6	Р	Р
		3	3	7	7	4,6	4,6	Б	Б
10	Разработка принципиальной схемы	3	3	7	7	4,6	4,6	Р	Р
		3	3	7	7	4,6	4,6	Б	Б
11	Расчет конструкции нового оборудования	5	5	14	14	8,6	8,6	Р	Р
		5	5	14	14	8,6	8,6	Б	Б
12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	1	1	1	1	1	1	Р	Р
		1	1	1	1	1	1	Б	Б
13	Составление пояснительной записки	7	7	8	9	7	7	Р	Р
		7	7	8	9	7	7	Б	Б
14	Сдача работы на рецензию	2	2	6	7	3,6	4	Б	Б
15	Предзащита	1	1	2	2	1,4	1,4	Р	Р
		1	1	2	2	1,4	1,4	Б	Б
16	Подготовка к защите дипломной работы	5	5	6	6	5	5	Б	Б
17	Защита дипломной работы	1	1	1	1	1	1	Р	Р
		1	1	1	1	1	1	Б	Б

Р – руководитель; Б – бакалавр.

На основе таблицы 20 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 21 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 21 – Расчет длительности исполнения работ

№	Наименование работ	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работ в календарных днях, T_{ki}		Исполнители	
		Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр
1	Составление и утверждение технического задания	4,4	4,2	6,5	6,2	Р	Р
2	Выбор направления исследований	1,9	1,9	3	3	Р	Р
		1,9	1,9	3	3	Б	Б
3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	1,7	1,6	3	2,4	Р	Р
		1,7	1,6	3	2,4	Б	Б
4	Календарное планирование работ по теме	0,7	1,2	1	1,8	Р	Р
		0,7	0,7	1	1	Б	Б
5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	15	16,5	22,5	24,7	Р	Р
		7	7	10,5	10,5	Б	Б
6	Построение моделей и проведение экспериментов	20,4	20,4	30,6	30,6	Р	Р
		20,4	20,4	30,6	30,6	Б	Б
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	5,8	5,8	9	9	Р	Р
		5,8	5,8	9	9	Б	Б
8	Оценка эффективности проведенных исследований	1,4	1,4	2	2	Р	Р
		1,4	1,4	2	2	Б	Б
9	Определение целесообразности проведения ОКР	4,6	4,6	7	7	Р	Р
		4,6	4,6	7	7	Б	Б

Продолжение таблицы 21

№	Наименование работ	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работ в календарных днях, T_{ki}		Исполнители	
		Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр
10	Разработка принципиальной схемы	4,6	4,6	7	7	Р	Р
		4,6	4,6	7	7	Б	Б
11	Расчет конструкции нового оборудования	8,6	8,6	13	13	Р	Р
		8,6	8,6	13	13	Б	Б
12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	1	1	1	1	Р	Р
		1	1	1	1	Б	Б
13	Составление пояснительной записки	7	7	11	11	Р	Р
		7	7	11	11	Б	Б
14	Сдача работы на рецензию	3,6	4	5,4	6	Б	Б
15	Предзащита	0,7	0,7	1	1	Р	Р
		0,7	0,7	1	1	Б	Б
16	Подготовка к защите дипломной работы	5	5	7	7	Б	Б
17	Защита дипломной работы	1	1	1	1	Р	Р
		1	1	1	1	Б	Б

Таблица 22 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февраль		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	6	■												
2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр	3		▨											
3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	Руководитель, бакалавр	3		▨											
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр	1		▨											
5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	Руководитель, бакалавр	18			■	▨									
6	Построение моделей и проведение экспериментов	Руководитель, бакалавр	31				■	▨								
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, бакалавр	9								■	▨				
8	Оценка эффективности проведенных исследований	Руководитель, бакалавр	2													▨

Продолжение таблицы 22

№	Вид работ	Исполнители	T _{кi} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февраль		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
9	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, бакалавр	7													
10	Разработка принципиальной схемы	Руководитель, бакалавр	7													
11	Расчет конструкции нового оборудования	Руководитель, бакалавр	13													
12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Руководитель, бакалавр	1													
13	Составление пояснительной записки	Руководитель, бакалавр	11													
14	Сдача работы на рецензию	Бакалавр	8													
15	Предзащита	Руководитель, бакалавр	1													
16	Подготовка к защите дипломной работы	Бакалавр	7													
17	Защита дипломной работы	Руководитель, бакалавр	1													

■ – руководитель ▨ бакалавр

5.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

5.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле[1]:

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

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

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы. Примем $k_T = 0,2$.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 23.

Таблица 23 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., с НДС тыс.руб.			Затраты на материалы, тыс.руб. (Z _м)		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Этан	т	10	15	15	21	21	21	252	378	378
Водяной пар	т	5	6	7,5	0,12	0,12	0,12	0,72	0,87	1,08
Итого								252,72	378,87	379,08

5.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье заносится в таблице 24.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений. Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблице 24.

Таблица 24 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование оборудования	Кол-во	Стоимость с НДС, руб.
Компьютер	1	36499
Лицензия Chemcad	1	26290
Лицензия AutoCAD	1	39163
Струйный принтер	1	3990
ИТОГО		105942

Расчет затрат на электроэнергию определяется по формуле [1]:

$$E_{\text{э}} = \sum N_i \cdot T_{\text{э}} \cdot C_{\text{э}}$$

где N_i – мощность электроприборов по паспорту, кВт;

$T_{\text{э}}$ – время использования электрооборудования, час;

Цэ – цена одного кВт*ч, руб. (2,93 руб. в городе Томске).

$$0,8 \times 250 \times 2,93 = 589 \text{ руб}$$

5.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 25.

Таблица 25 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн., Тр		Зарплата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.з дн.		Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.з осн.	
		Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр
Бакалавр	Студент	144,6	147,1				
Руководитель	Старший преподаватель, к.х.н.	5	22,9	1,6	1,6	48	1,3
Итого						48	1,3

Таблица 26 – Расчёт основных показателей

Исполнители	З _б , руб.	k _р	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	T _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	33162,9	1,3	43111,7	1960	22	43340
Бакалавр	2700	1,3	3510	125	56	7000
Итого						50340

5.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [1]:

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 26.

Таблица 27 – Социальные отчисления и дополнительная заработная плата

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			
	Руководитель	Бакалавр		
Руководитель проекта	48000	2700		
Социальные отчисления				
	ПФР (22%)	ФСС (2,9%)	ФОМС (5,1%)	Страхование по классу опасности (0,5%)
Руководитель	10560	1392	1081,2	240

5.5.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле [1]:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}},$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16% [24].

5.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 27.

Таблица 28– Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, тыс.руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты НИИ	252,72	378,87	379,08
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	105,942	105,942	105,942
3. Затраты на электроэнергию	0,589	0,589	0,589
4. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	50,340	50,340	50,340

5. Социальные отчисления	13,2732	13,2732	13,2732
6. Накладные расходы	67,66	87,84	87,88
7. Бюджет затрат НИИ	490,5	637,85	636,1

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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 следующим образом [24]:

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

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 проведен в форме таблицы 29.

Таблица 29 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,2	3	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,2	4	5	4
3. Энергосбережение	0,1	4	5	5
4. Надежность	0,2	3	5	3
5. Воспроизводимость	0,2	4	4	3
6. Материалоемкость	0,1	5	4	4
ИТОГО	1	3,7	4,7	3,7

$$I_{исн1} = 3*0,2+4*0,2+4*0,1+3*0,2+4*0,2+5*0,1=3,7;$$

$$I_{исн2} = 5*0,2+5*0,2+5*0,1+5*0,2+4*0,2+4*0,1=4,7;$$

$$I_{исн3} = 4*0,2+4*0,2+5*0,1+3*0,2+3*0,2+4*0,1=3,7;$$

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

$$I_{рук} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}}, \quad I_{бак} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}} \text{ и т.д.}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволяет определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}) [24]:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}}$$

Таблица 30 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,98	1	0,96
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,05	4,45	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	4,13	4,45	4,06
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,93	1	0,91

Вывод: Сравнение значения интегральных показателей эффективности позволило понять, что более эффективным вариантом решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является исполнение 2.

Заключение

В течении последних лет ведется целый комплекс научных работ по разработке вариантов переработки различных видов сырья пиролиза. Увеличение выхода этилена за счет расширения ассортимента сырья важная задача для этилен производящих предприятий, так как в их составе есть производства окиси этилена, этилен - пропиленового каучука, альфа олефинов, этилбензола для которых этилен является сырьем, также ведется строительство комплекса по получению полиэтилена, этилен поставляется и на другие предприятия. Этот вопрос очень актуален, так как по мнению аналитиков спрос на этилен будет расти со скоростью приблизительно 4,3%.

В данном дипломном проекте был рассмотрен пиролиз этановой фракции. На данном этапе пиролиза углеводородного сырья в трубчатых печах в присутствии водяного пара остается единственным методом, широко освоенным в промышленном масштабе.

Проведен расчет установки пиролиза этановой фракции.