

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проект производства этилена пиролизом этановой фракции.

УДК 661.716.2.32:661.716.1.2.097-977.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д31	Родиков Павел Германович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бондалетова Людмила Ивановна	к. х. н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волгина Татьяна Николаевна	к.х.н.		

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки (специальность) 18.03.01 Химическая технология
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись)

(Дата)

Волгина Т.Н.
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврская работа

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д31	Родиков Павел Германович

Тема работы:

Проект производства этилена пиролизом этановой фракции.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	10135/с от 26.12.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:

28 мая 2018 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

1. Производительность 270000 тонн в год.
2. Режим работы производства – непрерывный.
3. Состав этановой фракции: C_2H_4 – 1,5 %; C_2H_6 – 90,3 %; C_3H_6 – 4,5 %; C_3H_8 – 3,7 %.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(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).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Теоретическая часть. 2. Объект исследования. 3. Инженерные расчеты.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Чертеж общего вида. 2. Чертеж сборочных единиц. 3. Технологическая схема.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Король Ирина Степановна</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p> </p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>02 октября 2017 г.</p>
--	---------------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Старший научный сотрудник</p>	<p>Бондалетова Людмила Ивановна</p>	<p>К. х. н., доцент</p>		<p>02 октября 2017 г.</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>3-2Д31</p>	<p>Родиков Павел Германович</p>		<p>02 октября 2017 г.</p>

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки (специальность) 18.03.01 Химическая технология
Уровень образования бакалавриат
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28 мая 2018 г.
--	----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.12.17	<i>Работа с литературой: теоретическая часть, выбор метода производства, описание технологической схемы (с учетом вопросов охраны ОС)</i>	25
12.02.18	<i>Расчет материального баланса</i>	10
04.03.18	<i>Расчет теплового баланса, аппаратные расчеты. Контроль производства (КИП реактора)</i>	15
19.03.18	<i>Выполнение чертежа общего вида реактора</i>	10
08.04.18	<i>Оформление пояснительной записки КП и защита проекта</i>	10
13.05.18	<i>Выполнение чертежа технологической схемы, чертежа сборочных единиц реактора</i>	10
27.05.18	<i>Завершение разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент». Контроль производства (аналитич. контроль). Подбор вспомогательного оборудования.</i>	10
30.05.18	<i>Сдача готовой работы</i>	
04.05.18	<i>Размещение в ЭБС</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бондалетова Людмила Ивановна	к. х. н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волгина Татьяна Николаевна	к.х.н.		

Перечень результатов обучения (профессиональных и универсальных компетенций), запланированных к достижению выпускниками данной образовательной программы

Код Результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии
P4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико- технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве, ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д31	Родиков Павел Германович

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	ОХИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	180301 Химическая технология
Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:			
1. Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих		Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; опрос.	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов			
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования			
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:			
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта		Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта	
2. Разработка устава научно-технического проекта		Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.	
3. Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок		Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности. Расчет технико-экономических показателей	
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности		Проведение оценки экономической эффективности проекта узла синтеза бутадиен-стирольного каучука.	
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):			
1. Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.			
2. Расчет технико-экономических показателей			
3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности проекта			
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику			

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д31	Родиков Павел Германович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д31	Родиков Павел Германович

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	ОХИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	180301 Химическая технология

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

*Объектом исследования является узел синтеза бутадиен-стирольного каучука.
Методика – проектирование.
Рабочая зона – лаборатория ТПУ.
Область применения -химическая промышленность.*

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.
1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.

Анализ вредных факторов:
- отклонения показателей микроклимата в помещении;
Анализ опасных факторов:
- повышенные давления;
- динамические воздействия;
- термические опасности;
- механические истирания материалов;
- электробезопасность;
ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

2. Экологическая безопасность

Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы).
Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы).
Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).
ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
ГН 2.1.6.1338 – 03. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.
ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Анализ Возможные ЧС на объекте:
- пожар;
- взрыв.
ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в ЧС. Основные положения.

<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</p>	<p>Правильное расположение и компоновка рабочего места, удобной позы и свободы трудовых движений.</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.</p>
--	---

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д31	Родиков Павел Германович		

РЕФЕРАТ

Дипломная работа в количестве 126 стр., 13 рисунков, 47 таблиц, 3 приложения,

46 литературных источников, 3 графич. материала.

Ключевые слова: этилен, печь пиролиза этана, конвективная камера, радиантная камера, пиролиз.

Объектом разработки установка пиролиза этановой фракций.

Целью работы является инженерный расчет установки пиролиза этановой фракции.

Произвел расчет материального, теплового баланса основного и вспомогательного оборудования.

Вырабатываемый этилен предназначается для получения полиэтилена, поливинилхлорида, окиси этилена, этилового спирта, этилбензола, уксусного альдегида и других продуктов органического синтеза.

ABSTRACT

Thesis in the amount of 126 p., 13 figures, 47 tables, 3 appendices, ... references, 3 graphic.material.

Key words: ethylene, pyrolysis oven gasoline, the convective chamber, a radiant chamber, a pyrolysis.

The proposed development facility pyrolysis ethane.

The aim of the work is the engineering calculation of the ethylene production by ethane pyrolysis .

The ethylene produced is intended to produce polyethylene, polyvinyl chloride, ethylene oxide, ethyl alcohol, ethyl benzene, acetic aldehyde and other products of organic synthesis.

ВВЕДЕНИЕ.....	1
1 Теоретическая часть.....	2
1.1 Характеристика этилена	3
1.2 Способы получения этилена	4
1.2.1 Получение этилена из этанола	5
1.2.3 Производство этилена из этана	7
1.2.4 Пиролиз с применением катализаторов.....	9
1.2.5 Некаталитический способ получения этилена из этана и диоксида углерода.....	11
1.2.6 Окислительный пиролиз этана.....	12
1.3 Физико-химические основы процесса пиролиза	14
1.4 Конструкции аппаратов	14
1.4.1 Печь с вертикальным расположением змеевика	14
1.4.2 Многопоточная печь	17
1.5 Термодинамика процесса	18
1.6. Модели печи	20
1.6.1 Модель печи идеального смешения	21
2. Характеристика производства	23
2.1 Основные физические свойства этилена	23
2.2 Химические свойства этилена.....	24
2.3 Исходные данные	24
2.4 Характеристика исходного сырья	25
2.5 Технологическое оформление процесса	26
2.6 Технологический процесс и его описание.....	26
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	71

4.1.Потенциальные потребители результатов исследования	71
4.2 SWOT-АНАЛИЗ	71
4. 3 Организация и экономика производства установки пиролиза этана...	72
4.4. Расчет производственной мощности.....	72
4.5 Режим работы работающих	74
4.6 Организация оплаты труда.....	82
4.7 Расчет затрат на производство продукции	85
4.8 Расчет годовой потребности в сырье и материалах.....	85
4.9 Расчет годовой потребности в электроэнергии.....	87
4.10 Основные фонды предприятия. Расчет амортизационных отчислений.....	87
4.11Планирование себестоимости продукции	90
4.12 Калькуляция себестоимости 1 тонны продукции	90
4.13 Определение цены готовой продукции	91
4.14 Анализ безубыточности по действующему производству	91
4.6. Определение потребности в инвестициях в проектом году	93
4.15 Срок окупаемости инвестиций.....	94

ВВЕДЕНИЕ

Полное наименование производства крупнотоннажное производства этилена методом пиролиза этана. В течение последних 30 лет в сырьевой базе отечественной и мировой нефтехимии ведущая роль принадлежит низшим олефинам - этилену и пропилену. Основным источником их производства служит процесс термического пиролиза углеводородов с водяным паром. Именно на установках пиролиза получают сегодня первичные продукты, обеспечивающие сырьем производства пластических масс, синтетических смол, каучуков и волокон. Современный процесс производства низших олефинов - термический пиролиз углеводородов с водяным паром - выделился из процессов нефтепереработки и превратился в основной промышленный метод получения этилена и пропилена в период 1920-1940 гг.

В настоящее время наибольшее распространение в мировой нефтехимии получил процесс термического пиролиза этана в трубчатых печах, достигший практически предельного выхода целевого продукта.

Актуальность работы состоит в том, что для увеличения объемов производства этилена, необходимость которого расчет все большими темпами, необходимо спроектировать установку.

Объектом исследования является процесс производства этилена.

Предметом исследования является расчет печи пиролиза этана и закалочно-испарительных аппаратов.

Практической значимостью работы является то, что результаты исследования можно использовать для проектирования установки.

1 Теоретическая часть

Рынок этилена в России и в мире растет большими темпами. Одной из причин роста, безусловно, является увеличение использования данного вещества как мономера для производства крупнотоннажных полимеров, например, полиэтилена [1].

Основные производители и объемы производства этилена представлены на рисунке 1.1 [2].

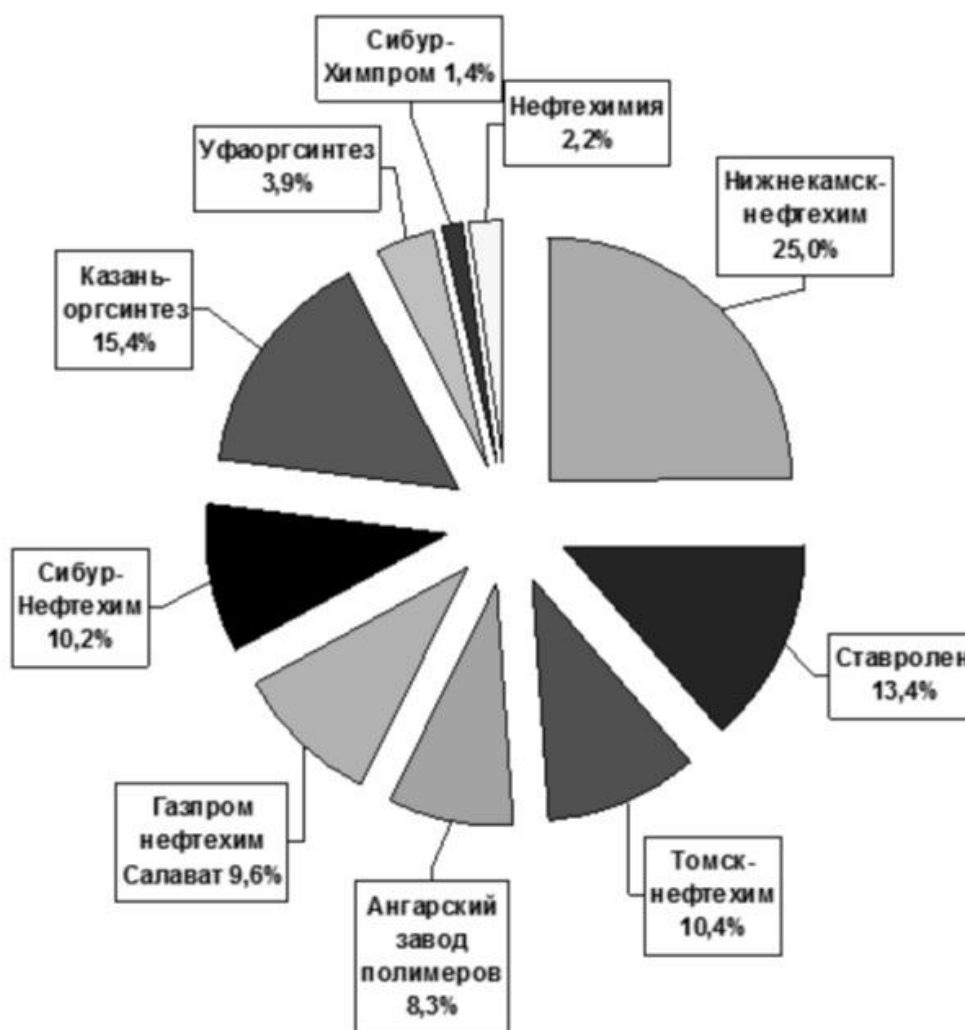


Рисунок 1.1. Производители этилена в России

Одним из самых распространенных в мире способов получения этилена является процесс термического пиролиза в смеси этановой фракции

и водяным паром в трубчатых печах, в связи с достижением высокого выхода требуемой продукции. В этом процессе ранее применялись печи с малой производительностью, которая составляла 4 - 6 тыс. тонн. С течением времени появились печи с более высокой мощностью, имеющие высокое теплонапряжение, малое время пребывания сырья.

На данный момент такие установки отличаются не только большой мощностью, но и высокой степенью утилизации тепла дымовых газов и продуктов.

1.1 Характеристика этилена

Этилен (C_2H_4 , структурная формула $CH_2 = CH_2$) бесцветный горючий газ со сладковатым запахом. Этилен в свободном виде в природе не встречается, его получают в больших масштабах путем переработки органического сырья. Он является основным сырьевым материалом для получения широкого ассортимента продуктов органического и нефтехимического синтеза, прежде всего полиэтилена и поливинилхлорида, а также полистирола, полиэфиров, оксида этилена и др [2,30,32].

Впервые этилен был получен голландским химиком И. Денманом в 1795 г. отщеплением воды от этанола концентрированной серной кислотой. Существуют также указания на то, что этилен был получен Дж. Пристли в 1778 г. пропусканием паров этанола через горячую глиняную курительную трубку — первая известная гетерогенно-каталитическая реакция [2, 32].

Этилен подвергается полимеризации с получением полиэтилена, пластикового материала, который имеет много применений, в частности, в упаковочных пленках, покрытиях для проволоки, детских игрушках и бутылках. Полимеризацию можно проводить при высоких давлениях и температурах или в результате недавно введенного процесса Циглера, который используется как катализатор. С серной кислотой этилен образует смесь сульфатов, которые могут быть гидролизованы до этилового спирта; он сочетается с хлором или бромом с получением соответствующих

этилендигалогенидов, полезных растворителей и бензиновых добавок. Реакция этилена и кислорода дает этиленоксид, используемый при производстве антифриза, детергентов и других производных. Этилен и бензол объединяются с образованием этилбензола, который дегидрируют до стирола для использования в производстве пластмасс и синтетического каучука.

В ботанике этилен является растительным гормоном, который ингибирует рост и способствует падению листьев. Однако во фруктах этилен считается созревающим гормоном.

1.2 Способы получения этилена

Существует множество способов получения этилена. Одним из них является высокотемпературный пиролиз.

В настоящее время именно высокотемпературный пиролиз углеводородов стал основным методом для крупнотоннажного производства этилена, так как углеводородное сырье самое доступно, наиболее ниже цена за сырье (по сравнению с другими видами сырья), возможность реализации побочных продуктов (тяжелая смола пиролиза, пироконденсат), возможность вести процесс с достаточно высокой степенью конверсии [2, 24,25].

Структура сырьевой базы производства этилена в России и зарубежных странах изображено на рисунке 1.2 [39].

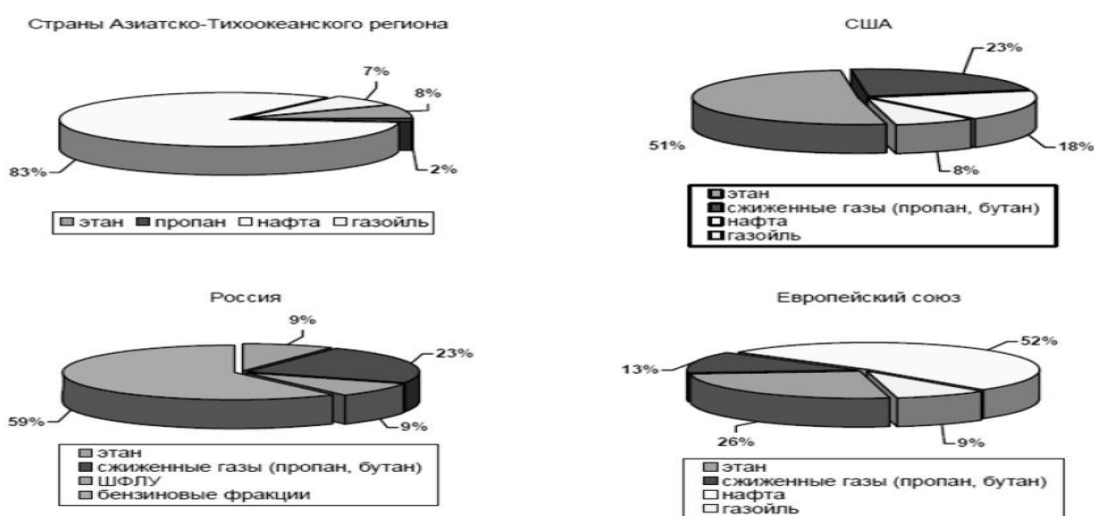


Рисунок 1.2. Структура сырьевой базы производства этилена

1.2.1 Получение этилена из этанола

Одним из старейших способов получения этилена – дегидратация этанола, протекающая по схеме (1.1), [2]:



Как описано в патенте Gregory Cameron процесс может быть осуществлен в жидкой или газовой фазе в присутствии кислотных катализаторов (серной или фосфорной кислоты, ароматических сульфокислот, кислых солей, например, сульфатов и фосфатов, хлоридов цинка, алюминия и др.). Катализаторами дегидратации могут служить также оксиды алюминия и тория, фосфорный и фталевый ангидриды. Достаточно чистый этилен можно получить, проводя процесс на пемзе, пропитанной пирофосфорной кислотой при 280-300 °С. Выход этилена в процессе составляет примерно 90% при фактическом отсутствии примесей [24.]

Процесс получения следующий: этанол насосом подается в испаритель, обогреваемый паром высокого давления и затем в реактор, заполненный активированным оксидом алюминия. Выход этилена за проход составляет 94% при конверсии этанола 99%. Реакционный газ подвергается закалке и водной промывке для удаления непрореагировавшего этанола, а также следов альдегидов и кислот как побочных продуктов. После этого он направляется на отмывку каустической содой для связывания диоксида углерода. Далее газ компримируется, охлаждается и направляется на узел адсорбции «тяжелых» примесей, таких, как бутан и бутадиен, с помощью активированного угля. Содержание этилена в газе после очистки превышает 99 мол., %. Получение этилена из этанола может иметь промышленное значение[2].

1.2.2 Производство этилена из продуктов переработки нефти

Практически весь этилен, производимый в мире, получают из нефтяного сырья. В зависимости от того или иного региона и связанных с этим экономических показателей в качестве сырья могут быть использованы

этан, пропан, тяжелые парафины, а также фракции перегонки нефти: прямогонный бензин, нефтя, керосин, газойль. Получение этилена непосредственно из нефти не нашло мирового промышленного применения [2].

Пиролиз углеводородного сырья с целью получения этилена как целевого продукта проводят при 800- 900 °С и времени контакта 0,2-0,5 с. Конструкции печей и условия процесса могут существенно меняться в зависимости от состава.

Принципиальная технологическая схема пиролиза бензина (пиролизная печь и ЗИА, так как в данной работе это основной рассматриваемый процесс) частично представлена на рисунке 1.1.

В трубчатую печь I подают пары бензина и воды для частичного конвертирования кокса и снижения парциального давления сырья. Печь обогревается топливом, подаваемым в специальные горелки. Испарение бензина и воды осуществляется в теплообменниках с использованием тепла топочных газов. Продукты пиролиза выходят из печи с температурой 800-850 °С и поступают в закалочный аппарат 2, где за счет испарения водяного конденсата охлаждаются до 650-700 °С. Тепло горячих продуктов снимается в котле-утилизаторе 3 с получением водяного пара (10-12 МПа) и охлаждением их до 350-400 °С. Пирогаз охлаждается далее в колонне 4 циркулирующим захлажденным «средним» маслом, отбираемым в виде жидкости с одной из нижних тарелок колонны 4.

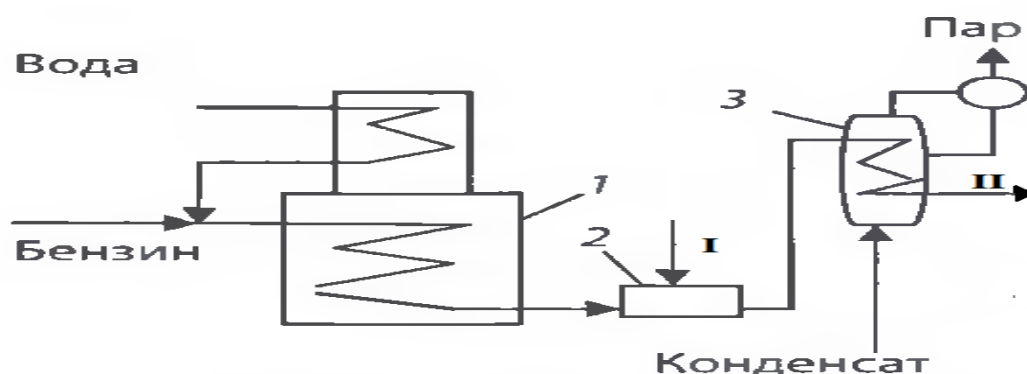


Рисунок 1.3 – Получение этилена пиролизом бензина
1- трубчатая печь, 2 – ЗИА, 3-котел-утилизатор, 4 колонна

Потоки: I - «легкое масло», II – пирогаз

1.2.3 Производство этилена из этана

Наилучшим сырьем по выходу этилена и стоимости установки является этан. [2].

Пиролиз этана проводится в таком режиме, что степень его конверсии составляет 60-65%. Непрореагировавший этан выделяется в системе газоразделения и возвращается на пиролиз. При полной конверсия этана (65% за один проход реактора и рецикл этана) выход продуктов пиролиза, мол. %, следующий: H_2 — 5,5; CH_4 — 11,6; C_2H_4 — 75,1; C_3H_6 — 2,1; C_3H_8 — 0,5; C_4H_6 — 2,1; C_4H_8 — 0,85; C_5 (180 °C) — 2,2 [2].

На рис. 1.2 показан вариант технологической схемы получения этилена пиролизом этана (пиролизная печь и ЗИА).

Сырьевой и рецикловый этан подаются в секцию конвекционной зоны печи П-1 для подогрева до 150 °C. Подогретый этан поступает в колонну К-1, где он насыщается парами воды при 140 °C до содержания воды 30 мас.% по отношению к этану. Пароэтановая смесь проходит по трем секциям конвекционной зоны печи П-1 и при 670 °C поступает в радиантный змеевик, расположенный в топочной камере. Грется топочная камера собственной метан-водородной фракцией.

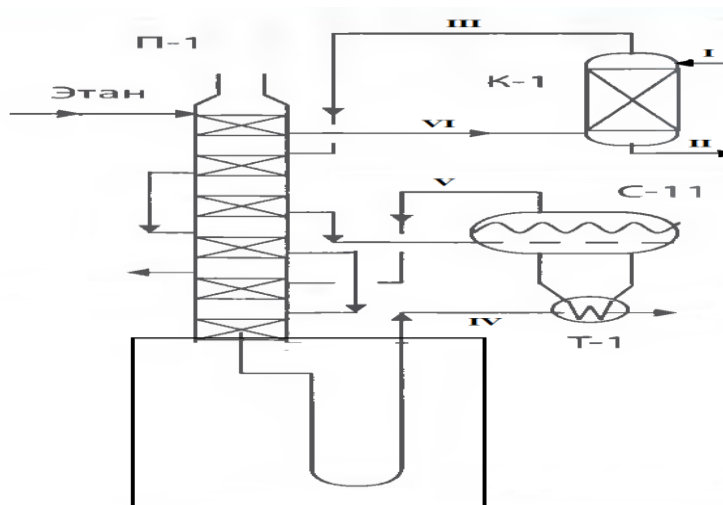


Рисунок 1.4 - Получение этилена пиролизом этана

П1- трубчатая печь, Т1 – ЗИА, К1 – колонна, С11 – парогенератор.

Потоки: I - пар, II –топливный газ, III- парэтановая смесь , IV-пирогаз , V – охлажденный пирогаз , VI - сырье.

Пиролиз этана проводится при 830-850°C. Степень конверсии этана 60-65%. Продукты пиролиза, выходящие из радиантного змеевика, быстро охлаждаются до 370 °С в закально-испарительном аппарате Т-1. Тепло снимается за счет генерации пара с давлением 0,4 -12 МПа. Пар с давлением >10 МПа получают, если компрессоры приводятся от паровых турбин. Полученный пар отделяется от воды в парогенераторе С-11 и перегревается в одной из секций конвективной зоны печи П-1.

Выход этилена при пиролизе этановой фракции может составить до 80% [2]. Например, при мощности в 200 тыс. т. этилена в год расход этановой фракции ~270 тыс. т/год [4].

Одновременно с данным количеством этилена будет получено, тыс. т/год, 31,2 водородной фракции (90% об. H₂), 17,0 метановой фракции, 15,5 фракции углеводородов C₃-C₄, 6,3 пироконденсата и тяжелого жидкого топлива.

Ниже, в таблице 1.1 приведены показатели расхода сырья и энергоресурсов на получение 1 т этилена при использовании этана и всех углеводородов C₂-C₄, содержащихся в природном газе (расходы пара и электроэнергии даны для случая выработки пара высокого давления 10 МПа) и использования его для привода пирогазового компрессора и компрессоров холодильных циклов) [2];

Таблица 1.1 – расход сырья в процессе пиролиза [2].

Пиролиз	Этана	Углеводородов C ₂ -C ₄
Расход:		
Сырья, т	1,35	1,63
Электроэнергии, квт·ч	65,0	85,0
Теплоэнергии, ГДж	8,8	10,6
Азота, нм ³	25,0	50,0
Химочищенной воды, м ³	2,5	3,2

Оборотной воды, м ³	300,0	380,0
Воздуха нм ³	18,0	38,0

1.2.4 Пиролиз с применением катализаторов

Одним из перспективных направлений является гетерогенных катализаторов. На и более часто используют оксиды переходных металлов или их композиции с оксидами щелочных и щелочноземельных металлов, нанесенные на носители.

Попытки реализовать пиролиз с использованием катализаторов, позволяющих снизить температуру процесса, повысить выход этилена осуществлялись давно. Для этих целей обычно применяли металлы и их оксиды, которые оказались малоэффективными. К тому же среди практиков до середины 70-х годов прочно утвердилось мнение о том, что катализ при 800 °С невозможен.

К этому времени рядом ученых на Стерлитамакском опытном заводе, в отраслевых научно-исследовательских и проектных институтах: МИНХ, Гипрокаучук, ВНИИОС был накоплен экспериментальный материал и опытные данные об использовании ванадата калия в качестве катализатора процесса пиролиза. Были изучены различные носители и модификаторы этого катализатора и установлено, что оптимальными свойствами обладает катализатор на основе ванадата калия, нанесенного на пемзу или муллитокорундовую смесь, получаемую из фракций корунда и каолина. Катализатор готовили путем нанесения активной массы на носитель с последующим упариванием полученной массы досуха.

Процесс каталитического пиролиза осуществляли в обогреваемых вертикальных трубах печей специальной конструкции. При 780 °С и времени контакта 0,1-0,2 сек. выход этилена составлял 37-40 %, сумма ненасыщенных углеводородов — 58-62 % мас. на сырье.

Проведенные исследования позволили установить, что при переработке жидкого и газообразного углеводородного сырья выход этилена

может быть увеличен на 20-30 % по сравнению с термическим пиролизом при более низких (на 40-60 °С) температурах.

В процессе работы установки каталитического пиролиза в слое катализатора отлагались продукты уплотнения (кокс), которые образуются и в классическом варианте пиролиза. Отлагающийся кокс легко выжигается из катализатора путем подачи паровоздушной смеси при 500-600 °С.

Испытания процесса каталитического пиролиза были проведены на опытной установке производительностью 40-50 кг/час по сырью. В качестве сырья использовали прямогонный бензин или бензин-рафинат. Время непрерывной работы катализатора составляло 1500-2000 часов, выход этилена 35-36 %, т.е почти вдвое выше, чем при термическом пиролизе. Выход высококипящих продуктов составлял 15-18 %, при этом температуры их кипения были ниже, чем при термическом пиролизе. Экономические показатели процесса каталитического пиролиза свидетельствовали о том, что себестоимость этилена ниже на 10-12 %, а капиталовложения - на 10 %.

В последние годы предложен новый вариант каталитического пиролиза, исключая применение гранул катализатора, создающих дополнительное гидравлическое сопротивление в реакционной зоне. Эта технология предусматривает использование в реакционной зоне радиантного змеевика обычной трубчатой печи пиролиза плоскостных керамических вставок с нанесенным на их поверхность катализатором в виде SrSO_4 (рисунок 1.5)

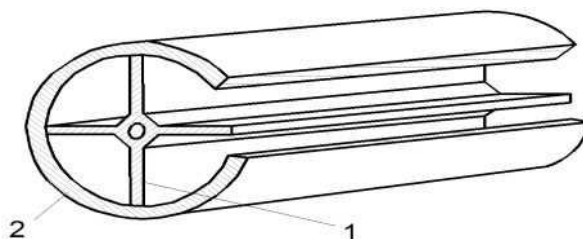


Рисунок 1.5 Схема расположения насадки в трубе змеевика: 1 - насадочное устройство, 2 - пиролизная труба

Суммарная совокупность экспериментов по термическому и каталитическому пиролизу этановой фракции (35-160 °С) с разбавлением водяным паром. Проводимые на пилотной установке. Что применение указанной каталитической системы, позволило суммарно увеличить на 12-15 % выход этилена на превращенное сырье при конверсии 90-94 %, уменьшить расходные показатели по сырью на 15-20 %, тем самым снизить себестоимость на 20 %. Однако при применении этого варианта каталитического пиролиза почти в 2 раза снижается выход БД и бензола.

1.2.5 Некаталитический способ получения этилена из этана и диоксида углерода

В патенте описан некаталитический способ получения этилена из этана. Реакции некаталитического этан-крекинга проводились в кварцевом реакторе с непрерывным потоком. Реактор выдерживали в трубчатой электрической печи так, чтобы реакционная зона находилась в зоне постоянной температуры печи.

Сырье представляло собой смесь чистого этана и CO_2 с или без кислорода. Термическое крекинг этана в присутствии CO_2 проводили в разных условиях процесса с кислородом или без него. . Все соотношения компонентов сырья являются молярными так как объем газообразного сырья (измеренный при 0 °С и давлении 1 атм) пропусклся через единицу объема реактора в час. Температура на входе и выходе реактора были измерены хромел-алюмельными. Максимальная разница в температуре входа и выхода в реактор составляла 7 °С [5].

После удаления воды (образованной, в частности, при окислении этана) путем конденсации при 0 °С сырье и продукты анализировали с помощью газового хроматографа с детектором теплопроводности (TCD) и детектором пламени ионизации (FID) с использованием столбцов Poropak-Q и Spherocarb. Сконденсированная вода из продуктов, была взвешен. Образование O-содержащих продуктов, отличных от CO , CO_2 и H_2 , не

наблюдалось. Рассмотрены экспериментальные проскоки с ошибками в массах С, Н и О менее 6%; проскоки с более высокими ошибками были отброшены. Данные о распределении продукта предоставляются для потока продукта без CO_2 и воды.

Селективность продукта, описанная в этом исследовании, основана на превращении углерода из этана в конкретный продукт [4].

Основными выводами в данном патенте являются следующие:

1) Наличие CO_2 в среде реакции оказывает благотворное влияние.

2) В обоих случаях конверсия этана возрастает с увеличением отношения $\text{CO}_2/\text{C}_2\text{H}_6$ в сырье; этан активизируется в присутствии CO_2 .

3) При различных условиях процесса превращение этана выше, но селективность по этилену ниже, когда O_2 добавляется в поток этана-диоксида углерода, потому что образование CO связано с частичным сжиганием этана. Однако в присутствии и CO_2 , и O_2 , процесс, как ожидается, станет высоко- энергоэффективной с большой энергосберегающей способностью для получения этилена из этана [4].

1.2.6 Окислительный пиролиз этана

На протяжении многих лет интенсивные исследования проводились по альтернативным технологиям производства этилена. Одним из перспективных путей является добавление кислорода к углеводородному сырью. В патенте [5] описан способ окислительного пиролиза этана. Энтальпия экзотермической реакции окислительных реакций частично компенсирует эндотермичность реакции крекинга. Как сообщается в данном патенте, доступную литературу по окислительному пиролизу можно разделить на три области: ранние работы в некаталитическом окислительном крекинге, кислородсодержащий крекинг фракций тяжелых масел и каталитическое окислительное дегидрирование этана до этилена при более низких температурах [5].

В патенте [5] сообщается, что эксперименты проводились с использованием газов с чистотой 99,995% для N_2 и N_2 и 99,5% для этана; пар получали из дистиллированной воды. Перед загрузкой в пустой трубчатый реактор реагенты предварительно смешивали. Используемые реакторные трубки изготавливаются из спеченного плотного α -оксида алюминия, корунда или нержавеющей стали (Incoloy 800) с внешним диаметром 16,0 мм и внутренним диаметром 8,0 мм, как описано в патенте [5]. По оси реактора была установлена алюминиевая термопарная скважина с внешним диаметром 4,0 мм и внутренним диаметром 2,0 мм. Корундовый реактор и трубки термопары предварительно обрабатывали 60% раствором HNO_3 в течение 1 часа с последующей тщательной промывкой дистиллированной водой и последующим нагреванием на воздухе при 1123 К. Трубу Incoloy 800 предварительно обрабатывали путем контакта со смесью 50% пара в гелия в течение 20 ч при 1123 К для исключения ненужных веществ в среде реакции, как указано в патенте [5].

Диаметр реактора, длина реактора и общие скорости потока были такими, что допускалось допущение о режиме потока пробки. Поскольку обычно возникают турбулентные режимы потока.

Условия эксперимента, при которых проводились начальные испытания, были подобраны как можно ближе к условиям промышленного применения; это время пребывания 0,1-0,4 с, температура 1173 К, общее давление 141 кПа и отношение этана к пару равно 0,3:1. Для экспериментов по окислительному пиролизу было выбрано исходное молярное содержание кислорода 5 мол.%. Все эти условия были различными, чтобы найти оптимальные условия для сравнения нормального пиролиза с окислительным пиролизом [5].

Реакция процесса представлена схемой 1.17:



Эффекты добавления кислорода к исходному продукту этанового парового крекинга были исследованы как экспериментально, так и

смоделирован компьютерной программе. Данные эксперименты показали, что с увеличением добавления кислорода увеличивает превращение этана. Выходы этилена незначительно уменьшаются при композициях исходного кислорода выше 5 мол.%, что является следствием небольшого снижения селективности этилена. Кислород почти полностью превращается в CO, но, вообще говоря, добавление кислорода не оказывает существенного влияния на распределение продукта.

Компьютерное моделирование показало, что добавление кислорода оказывает большое влияние на тепловой эффект реакции крекинга. Тепловой эффект может быть полезен для операций промышленного крекинга тремя различными способами. Время пребывания может быть снижено, что может быть переведено на увеличение пропускной способности. Тяжесть растрескивания этана может быть дополнительно увеличена; до 80% однократного этанового превращения достижимо с добавлением 5 мол.% кислорода [5].

1.3 Физико-химические основы процесса пиролиза

Пиролиз — это процесс деструктивного и целенаправленного превращения углеводородов (предпочтительно нефтяных) в низшие олефины при температуре выше 750 °С в присутствии перегретого водяного пара с последующим резким охлаждением продуктов до 370 — 420 °С. Для пиролиза характерно глубокое разложение исходного сырья

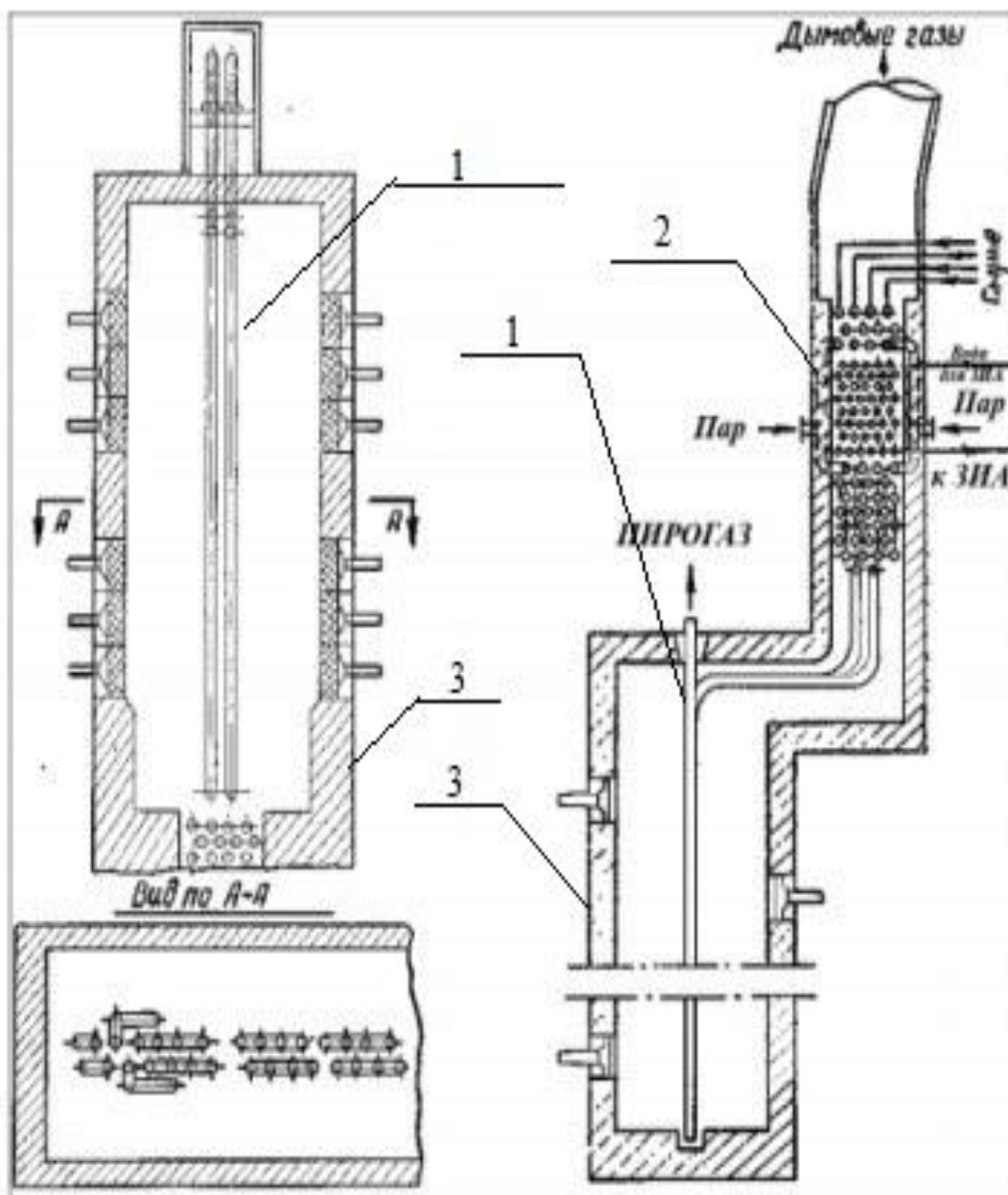
1.4 Конструкции аппаратов

На и более чаще в промышленности используются трубчатые печи, рассмотрим их виды и конструкции [1].

1.4.1 Печь с вертикальным расположением змеевика

Печи с вертикальным расположением змеевика появились в середине 60-х. Такая конструкция была обусловлена тем, что трубы змеевика не выдерживали высоких температур и были достаточно хрупкими, поэтому их

решили располагать свободно. На рисунке 1.6 можно увидеть примеры таких печей [9].



Печь с вертикальным змеевиком (Гипрокаучук)

Печь фирмы «Lummus» типа SRT-1

Рисунок 1.6 – Печи пиролиза

1-змеевики, 2-конвекционная зона, 3 –топочная камера

Более подробное описание печи «Limmus» представлено ниже, на рисунке 1.7.

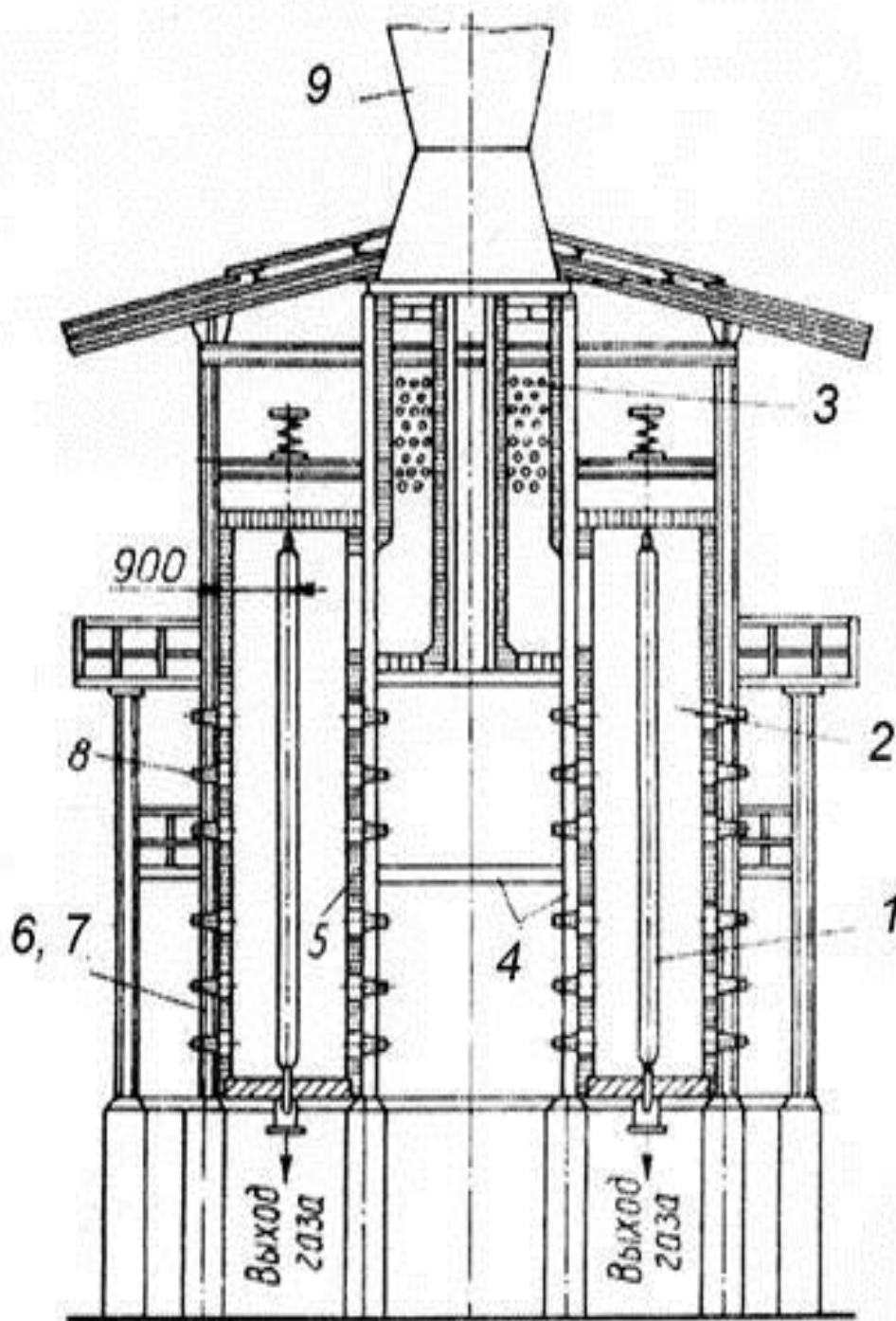


Рисунок 1.7 Печь пиролиза «Limmus»

1 - пиролизный змеевик; 2 - радиантная камера; 3 - конвективная камера; 4 - каркас; 5 - навесная футеровка; 6 - термоизоляция; 7 - металлический кожух; 8 - горелка; 9 - дымовая труба.

1.4.2 Многопоточная печь

Позже, с учетом всем недостатков и преимуществ была разработана многопоточная печь. (Фирма «Kellogg») Благодаря этой печи можно проводить процесс пиролиза при температурном интервале 900 – 930°C и времени пребывания сырья в трубах, равном 0,03 – 0,1 с.

Змеевики данного вида печей состоят из прямых труб, соединенных на входе коллектором, через который поступает сырье с паром. На выходе два потока объединяются и поступают в ЗИА типа «труба в трубе». Так как время охлаждения пирогаза до температуры, при которой прекращаются вторичные реакции (обычно ≤ 650 °C) должно быть равным приблизительно 0,1 от времени пребывания потока в змеевике, то только такая сборка змеевиков и ЗИА возможна в данной печи, поскольку любой коллектор пирогаза сильно увеличит время реакции. На рисунке 1.8 представлена многопоточная печь [39].

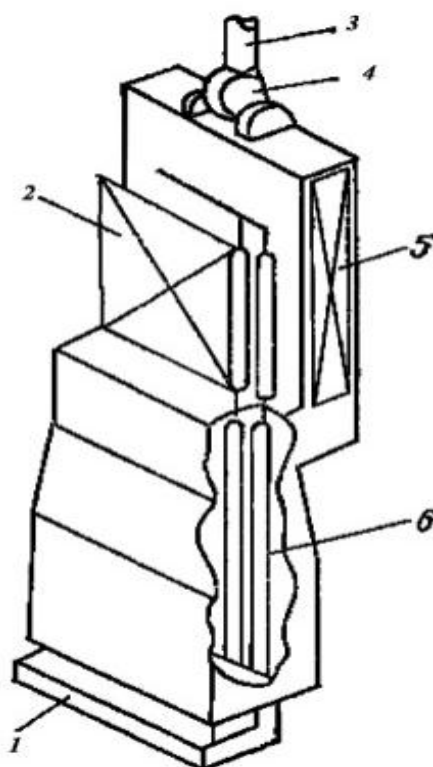


Рисунок 1.8 – Пиролизная печь фирмы «Kellogg»

1-подовые горелки, 2 –система ЗИА, 3-дымовая труба, 4-дымосос, 5-конвекционная зона, 6-многопоточный змеевик.

1.5 Термодинамика процесса

Тепло выделяется в топке сгорания в результате сгорания топливного газа, а скорость тепловыделения равна скорости горения топлива, умноженной на его более низкую теплоту сгорания (1.5), [10]:

$$Q_f = M_f \Delta h_f , \quad (1.5)$$

где Q_f – скорость тепловыделения, M_f – скорость горения топлива, Δh_f – теплота сгорания.

Количество теплоты, выделяемое в процессе горения топливного газа, первоначально проявляется как осязаемое тепло в паре горячих газов, состоящее из продуктов сгорания и избыточного воздуха, проходящих через печь со скоростью Q_f . Часть этого тепла переносится в теплоотвод со скоростью Q_p , часть теряется через стенки печи со скоростью Q_l , а оставшаяся часть осуществляется из печи через выхлопную трубу в качестве тепла частично охлажденных продуктов сгорания со скоростью Q_g . Как показано на рисунке [1.7], тепловой баланс для этого процесса может быть выражен как (1.6):

$$Q_f = Q_g + Q_l + Q_p , \quad (1.6)$$

где Q_f – скорость тепловыделения, Q_p – скорость тепла с газом, переносимого в теплоотвод, Q_l – скорость потерь тепла стенок, Q_g – частично охлажденных продуктов сгорания.

Если бы не было теплоотвода и никаких потерь, все тепло, выделяемое при сгорании, включалось бы в нагрев произведенных газов, которые затем достигали бы температуры T_f , известной как адиабатическая температура пламени. Поэтому температура адиабатического пламени определяется следующим образом (1.7):

$$Q_f = M_g c_{pg} (T_f - T_0) , \quad (1.7)$$

где Q_f – скорость тепловыделения, T_0 – температура на входе воздуха,

c_{pg} - соответствующее среднее значение удельной теплоемкости газа для диапазона $T_f - T_0$.

В реальной печи газовой смеси не достигнет адиабатической температуры пламени из-за потерь радиатора и стенок. Например, пренебрегая потерями, но позволяя удалять тепло от приемника, теоретическая температура газа T_g дается формулой (1.8):

$$Q_f - Q_g = M_g c_{pg} T_g - T_0, \quad (1.8)$$

где Q_f – скорость тепловыделения, T_g – теоретическая температура газа, Q_g – скорость частично охлажденных продуктов сгорания, c_{pg} - соответствующее среднее значение удельной теплоемкости газа для диапазона, M_g – скорость горения газа.

Следовательно, объединяя уравнения (1.7) и (1.8), получим (1.9):

$$\frac{Q_f - Q_g}{Q_f} = \frac{T_g - T_0}{T_f - T_0}, \quad (1.9)$$

где Q_f - количество теплоты, выделяемое в процессе горения, Q_g – скорость теплоотдачи, T_g – температура газа, T_f – адиабатическая температура пламени,

T_0 - температура на входе воздуха.

Это уравнение показывает, как температура газа связана со скоростью теплоотдачи камеры тепловым балансом. Однако Q_g также связана с T_g теплопроводностью горячего газа и камеры. Тепловой баланс печи пиролиза представлен на рисунке 1.9.

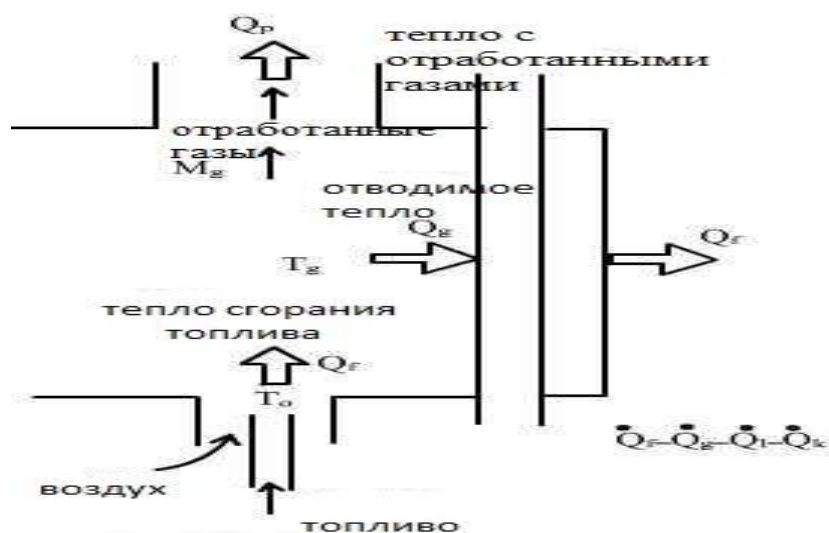


Рисунок 1.9 Тепловой баланс печи пиролиза

M_g , Q_p , T_g – температура газа, Q_g – скорость теплотдачи, Q_f - количество теплоты, выделяемое в процессе горения, T_f – адиабатическая температура пламени, T_0 - температура на входе воздуха.

I – тепло сгорания топлива, II – отводимое тепло, III – тепло с отработанными газами, 1 -топливо, 2 - воздух, 3 – отработанные газы.

1.6. Модели печи

Полное математическое описание практических печей чрезвычайно сложно, сочетая аэродинамику, химические реакции и теплопередачу, а компьютерные программы необходимы для детальных решений. Передовые методы расчета можно разделить на зонные методы и методы потока [11].

Зональные методы используются, когда известна схема тепловыделения из пламени. Они начинают с деления печи и ее стенок на отдельные зоны. Определены эффективные зоны обмена между зонами и рассчитывается радиационный теплообмен, соответствующий заданной схеме теплоотдачи. В методах потока вместо деления пространства на зоны излучение, попадающее в точку в системе, само по себе делится на ряд характерных направлений, представляющих средние значения по заданному телесному углу. Флюсовые методы хорошо подходят для использования в сочетании с современными методами прогнозирования потока текучей среды и схемы смешивания. Возможны одновременные решения уравнений

радиационного теплообмена с использованием методов потока и моделей турбулентного течения.

Это самый простой подход к оценке производительности печи. Одной из первых версий является метод Лобо и Эванса (Lobo and Evans, 1939), который использовался в Process Heat Transfer (Kern, 1986). Впоследствии улучшенная версия, выраженная в нечетных терминах, облегчающая расчеты, была представлена в книге «Радиационный теплообмен» (Hottel and Sarofim, 1967). Эти авторы также внесли дополнительные условия, чтобы обеспечить неполное перемешивание и потери на стенках. Их модель, рассмотренная позднее Hottel (1974), по-прежнему составляет основу самых простых процедур расчета (например, Truelove, 1983) [11,12].

Печь смоделирована в трех зонах, как показано, рис.2.10 а именно: центральная зона горячего газа, теплоотвод и огнеупорные стенки. Область горения и пространство, занятое горячими продуктами сгорания, объединяются в центральную зону горячего газа (отсюда и альтернативная название «сосредоточенная модель»), которая передает тепло от радиации в теплоотвод, здесь схематично показана в виде трубки, и к огнеупорным стенкам, содержащим печь.

1.6.1 Модель печи идеального смешения

Модель печи идеального смешения основана на комбинации уравнения баланса для печи, а именно (1.10):

$$\frac{Q_f - Q_g}{Q_f} = \frac{T_g - T_0}{T_f - T_0}, \quad (1.10)$$

где Q_g – скорость теплотдачи, Q_f – количество теплоты, выделяемое в процессе горения, T_f – адиабатическая температура пламени, T_0 – температура на входе воздуха, T_g – температура частично охлажденных газов.

И выражение для теплопередачи на приемник на основе модели «пятнистой поверхности», а именно (1.11):

$$Q_f = A_1 \left\{ \frac{1}{\left(\frac{1}{\varepsilon_1}\right) + C\left(\frac{1}{\varepsilon_g} - 1\right)} \right\} \sigma(T_g^4 - T_1^4) = g_r \sigma(T_g^4 - T_1^4), \quad (1.11)$$

где Q_f - количество теплоты, выделяемое в процессе горения, A_1 - константа, Q_g - количество теплоты и его скорость, T_g^4 - температура газа, T_1^4 - температура после излучения, ε_1 - излучаемая способность поверхности, ε_g - способность газа поглощать излучение,

Если печь содержит секцию с конвективным нагревом, общий коэффициент теплопередачи можно изменить, чтобы ввести как излучение, так и конвекцию, так как (1.12).

$$g_r = A_1 \left\{ \frac{1}{\left(\frac{1}{\varepsilon_1}\right) + C\left(\frac{1}{\varepsilon_g} - 1\right)} \right\}, \quad (1.12)$$

где, g_r - общее тепло коэффициент переноса для излучения от газа к камере, включая пере излучение от огнеупорных стенок и множественное отражение, α - коэффициент конвективной теплопередачи от газа к камере, A_1 - константа, C - площадь камеры, подлежащая конвективной теплопередаче.

Поскольку конвективная составляющая обычно мала по сравнению с радиацией, ее можно представить в виде g_r следующим образом. Возьмем (1.13):

$$Q_g = g_r \sigma(T_g^4 - T_1^4) + \alpha A_c (T_g - T_1), \quad (1.13)$$

$$T_{g1} \approx (T_g + T_1)/2, \quad (1.14)$$

$$Q_g = g_{rc} \sigma(T_g^4 - T_1^4), \quad (1.15)$$

$$g_{rc} = g_r + \left(\alpha \frac{A_c}{4\sigma T_{g1}^3} \right). \quad (1.16)$$

Уравнения выше можно объединить, чтобы дать (1.17) и (1.18):

$$(Q_g/\sigma g_{rc}) + T_1^4 = T_f^4 \left\{ 1 - (Q_g (T_f - T_0)/Q_f T_f) \right\}^4, \quad (1.17)$$

$$T_{g1} \approx (T_g + T_1)/2. \quad (1.18)$$

где Q_f - количество теплоты, выделяемое в процессе горения, Q_g - количество теплоты и его скорость, T_g - температура газа, T_1 - температура

после излучения, T_f – адиабатическая температура пламени, T_0 - температура на входе воздуха.

Это выражение удобнее видоизменить, подставив члены, представленные ниже, где приведенная плотность печи (1.19):

$$g = Q_g = Q_g (T_f - T_0) / Q_f T_f, \quad (1.19)$$

где Q_f - количество теплоты, выделяемое в процессе горения, Q_g – количество теплоты и его скорость, T_1 - температура после излучения, T_f – адиабатическая температура пламени, T_0 - температура на входе воздуха.

Уменьшенная плотность среды (1.20):

$$D = Q_f / \sigma r_{gc}^3 (T_f - T_0), \quad (1.20)$$

где Q_f - количество теплоты, выделяемое в процессе горения, T_1 - температура после излучения, T_f – адиабатическая температура пламени, T_0 - температура на входе воздуха.

Пониженная температура камеры (1.21):

$$T_1 = T_1 T_f, \quad (1.21)$$

где T_1 - температура после излучения, T_f – адиабатическая температура пламени,

Уравнение (34) затем сводится к Q, (1.22):

$$Q_g D + (T_1)^4 = (1 - Q_g)^4, \quad (1.22)$$

где T_1 – пониженная температура камеры, D - уменьшенная плотность стрельбы, Q_g – скорость газа с учетом всех операций.

2. Характеристика производства

2.1 Основные физические свойства этилена

Температуры кипения и плавления этилена:

$$t_{\text{кип}} = -103,70 \text{ }^\circ\text{C}, \quad t_{\text{пл}} = -169,15 \text{ }^\circ\text{C}$$

Этилен – горючий газ, горит в воздухе слабокопящим пламенем. Температура саповоспламенения минимальная, $^\circ\text{C}$

Область воспламенения, об. %:

в воздухе 3-32

в кислороде 2,9-

79,9

Минимальное содержание кислорода при разбавлении этилено воздушных смесей, об. %:

азотом 10

диоксидом углерода 12,1

Устойчив до 350 °С, при более высокой температурах разлагается на метан и ацетилен [2].

2.2 Химические свойства этилена

Этилен является чрезвычайно важным веществом в нефтехимической промышленности [8]. Он может подвергаться многим типам реакций, с помощью которых получают множество химических продуктов.

Некоторые из его основных реакций включают: 1) полимеризацию, 2) окисление, 3) галогенирование и гидрогалогенирование, 4) алкилирование, 5) гидратацию, 6) олигомеризацию и 7) оксо - реакцию [6].

2.3 Исходные данные

Производительность установки по этилену 270000 т/г;

годовой фонд рабочего времени 8500 ч;

Соотношение водяной пар: этановая фракция = 0,5: 1,0 в массовом отношении ;

температура процесса 845 °С.

Годовой фонд рабочего времени рассчитывается:

Среднее количество дней в году составляет 365 .

$$365 \cdot 24 = 8760 \text{ ч}$$

В резерве остаётся 260 часов или 11 дней выделяются на выполнения ремонтных работ.

$$11 \cdot 24 = 260$$

Среднее количество часов в году составляет 8760.

$$\tau_{\text{рез.}} = \tau_{\text{ср.год}} - \tau_{\text{год.фонд.}} \quad (2.1)$$

$$\tau_{\text{рез.}} = 8760 - 8500 = 260 \text{ ч ;}$$

$$260/24 = 11 \text{ сут}$$

Таблица 2.1- состав исходной этановой фракции.

Компонент	$\varphi_i, \%$
C_2H_4	1.5
C_2H_6	90.3
C_3H_6	4.5
C_3H_8	3.7
Всего:	100

2.4 Характеристика исходного сырья

Характеристика исходного сырья, показатели проверки по стандарту и контролирующая документация представлена в таблице 2.2.

Исходным сырьем является бензин, этановая, пропановая фракции, катализаторы, вода, масло промышленное, цеолит и т.д.

Таблица 2.2– Характеристика сырья, материалов

Наименование сырья, материалов, полупродуктов	ГОСТ, ТУ, регламент или методика на подготовку сырья	Показатели по стандарту, обязательные для проверки
2. Этановая фракция	Проект	1. Состав этановой фракции: C_2H_4 --1,5 % , C_2H_6 -90,3%, C_3H_6 -4,5%, C_3H_8 -3,7%.
3. Пропан- бутановая фракция – газы углеводородные сжиженные топливные для коммунально-бытового потребления	ГОСТ 20448-90 с изм. № 1, 2	Углеводородный состав (массовая доля), %: C1-C2(этан+метан+этилен), C3, C4, C5 и выше, сера.
4. Деаэрированная вода (питательная вода)	РТМ 108.030.130-79	1.Содержание O2 в воде,мкг/кг 2. pH при 250С

2.5 Технологическое оформление процесса

Благодаря надежности и легкости регулирования, а также простоте аппаратного оформления, наибольшее распространение в России и в мире получил процесс пиролиза в трубчатых печах [14,15].

Основным аппаратом, используемым в данной технологии, естественно, является трубчатая печь пиролиза, имеющая конвекционную, радиантную камеру. Для ускоренного охлаждения применяют закалочно-испарительный аппарат. Для дополнительного охлаждения продуктов, а также для разделения тяжелой части продукта от газообразной смеси, которая затем подается на компримирование и газоразделение используют аппараты ряда промывных колонн [15].

Сырье испаряется в конвекционной камере, далее проводится процесс смешения с водяным паром и нагревание до необходимой температуры. Затем смесь пара и сырья направляется в радиантную камеру, в частности пиролизный змеевик. В нем происходит пиролиз с образованием целевых продуктов. Все это ведется при подводе тепла. Для того, чтобы не протекали реакции разложения полученных продуктов, в узле закалочного охлаждения, то есть в закалочно-испарительном аппарате, происходит их охлаждение с 850-870 °С до 350 - 400 °С [16,17].

2.6 Технологический процесс и его описание

Печь пиролиза этана (далее по тексту – печь пиролиза) включает в себя камеру конвекции, камеру радиации и дымоход. Камера конвекции печи пиролиза предназначена для подогрева в трубчатых змеевиках паро-этановой смеси за счет использования тепла дымовых газов и состоит из 2 секций.

Камера радиации предназначена для проведения процесса пиролиза этана в трубчатых змеевиках. Камера радиации оборудована панельными горелками, позволяющими вести двусторонний нагрев радиантных змеевиков. В камере радиации находится однопоточный змеевик с

вертикально расположенными в одной плоскости трубами центробежного литья.

Паро-сырьевая смесь проходит секцию камеры конвекции, нагревается до температуры (450-660) °С и далее направляется в камеру радиации печи пиролиза.

В камере радиации происходит процесс пиролиза в трубчатом змеевике. Образовавшийся пирогаз с температурой 845 °С из радиантной камеры печи пиролиза поступает в трубное пространство ЗИА, где охлаждается до температуры (320-450) °С за счет испарения питательной воды в межтрубном пространстве ЗИА. Быстрое охлаждение пирогаза необходимо для прекращения вторичных реакций, ведущих к потере выхода целевых компонентов. Давление пирогаза на выходе из печи перед ЗИА должно быть не более 0.17 МПа (не более 1.7 кгс/см²).

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Продукт: установки пиролиза этановой фракции.

Целевой рынок: предприятия нефтеперерабатывающей отрасли промышленности

4.2 SWOT-АНАЛИЗ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта.

Таблица 4.1 - SWOT-анализ

Внешняя среда	Возможности 1. Растущий рынок 2. Отсутствие жесткой конкуренции на рынке 3. Наличие стабильного рынка сбыта 4. Хорошая репутация среди потребителей . 5. Поддержка со стороны государственных органов власти. 6. Снижение процентных ставок	Возможности 1. Растущий рынок 2. Отсутствие жесткой конкуренции на рынке 3. Наличие стабильного рынка сбыта 4. Хорошая репутация среди потребителей . 5. Поддержка со стороны государственных органов власти. 6. Снижение процентных ставок
Внутренняя среда	Сильные стороны 1. Опыт 2. Команда высококвалифицированных специалистов 3. Четкая организационная структура 4. Высокотехнологичное оборудование 5. Известность предприятия 6. Приемлемый уровень цен 7. Динамичное развитие отрасли 8. Система профессионального обучения и повышения квалификаций	1. Увеличение объемов производства 2. Установление конкурентоспособных цен и быстрая обработка заказов 3. Поддержание репутации предприятия 4. Освоение новых рынков 5. Улучшение корпоративной культуры 6. Стремление к увеличению объема совместных с иностранными партнерами проектов по производству
		1. Модернизация оборудования 2. Закупка сырья по наиболее выгодным ценам и на более длительный период 3. Поддержка местной власти по финансированию социальных проектов

<p>Слабые стороны</p> <p>1. Высокие издержки производства</p> <p>2. Непостоянство денежного потока из-за большого периода оборота</p> <p>3. Нечеткое распределение обязанностей сотрудников</p> <p>4. Недостаток финансовых средств (оборотных и для осуществления стратегических инициатив)</p>	<p>1. Уменьшить постоянные издержки производства</p> <p>2. Контроль за издержками на производстве, сокращение количества незавершенной продукции, поиск путей сокращения переменных затрат</p> <p>3. Установление четкой системы обязанностей внутри компании</p> <p>4. Перевооружение производственных мощностей</p> <p>5. Продажа или сдача в аренду лишних территорий и площадей</p>	<p>1. Стратегия долгосрочного привлечения финансового капитала</p> <p>2. Создать из своих работников единую команду</p> <p>3. Привлечение инвестиций.</p> <p>4. Изучение и проработка всех возможных кризисных ситуаций</p>
---	---	---

4.3 Организация и экономика производства установки пиролиза этана

4.4. Расчет производственной мощности

$$M = P_{\text{час}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot K_{\text{об}}, \quad (4.1)$$

где M – производственная мощность.

$P_{\text{час}}$ – часовая производительность оборудования в натуральных единицах;

$T_{\text{эфф}}$ – эффективный фонд времени работы оборудования (час.);

$K_{\text{об}}$ – количество однотипного оборудования, установленного в цехе.

В общем виде величина эффективного времени выразится следующим образом:

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{ном}} - T_{\text{ппр}} - T_{\text{то}}, \quad (4.2)$$

где $T_{\text{ном}}$ – номинальный фонд работы оборудования;

$T_{\text{ппр}}$ – время простоя в ремонтах за расчетный период;

$T_{\text{то}}$ – время технологических остановок;

$$T_{\text{ном}} = 8760 \text{ ч};$$

$$T_{\text{ппр}} = 760 \text{ ч (согласно графику ППР по предприятию)};$$

По формуле (4.2) находим эффективное время работы оборудования:

$$T_{\text{эфф}} = 8760 - 760 = 8000 \text{ ч};$$

$$M = 8000 \cdot 33,75 = 270\,000 \text{ т/год.}$$

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен:

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эф}}/T_{\text{н}}, \quad (4.3)$$

где $K_{\text{экс}}$ – коэффициент экстенсивности;

$T_{\text{эф}}$ – эффективный фонд времени работы оборудования (час.);

$T_{\text{н}}$ – номинальный фонд работы оборудования (час).

По формуле (4.3) коэффициент экстенсивности равен:

$$K_{\text{экс}} = 8\,000 / 8\,760 = 0,913$$

Коэффициент интенсивности характеризует
использование

оборудование по производительности.

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен:

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}}/Q_{\text{мах}}; \quad (4.4)$$

$$K_{\text{инт}} = 31,725/33,758 = 0,94;$$

где $Q_{\text{пп}}$ – производительность единицы оборудования в единицу времени;

$Q_{\text{мах}}$ – максимальная производительность в единицу времени.

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им}} = K_{\text{экс}} \cdot K_{\text{инт}}, \quad (4.5)$$

$$K_{\text{им}} = 0,94 \cdot 0,913 = 0,94$$

Для определения фактического выпуска продукции рассчитывается производственная программа ($N_{\text{год}}$):

$$N_{\text{год}} = \text{Ким} \cdot M, \quad (4.6)$$

Где Ким-коэффициент использования мощности;

M - производственная мощность, т/год.

$$N_{\text{год}_{2017}} = 0,94 \cdot 270\,000 = 253\,800 \text{ т/год}$$

$$N_{\text{год}_{2018}} = 1 \cdot 270\,000 = 270\,000 \text{ т/год}$$

Таблица 4.2 - Баланс рабочего времени оборудования.

Показатели	Количественно дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8760)
Режимные потери рабочего времени	
- выходные	0
- праздничные	0
Номинальный фонд рабочего времени	365 (8760)
Простой оборудования в ремонтах	31 (760)
Эффективное время работы оборудования за год	

4.5 Режим работы работающих

Производства этилена методом пиролиза этана работает непрерывно, поэтому бригада формируется по принципу сменности. Согласно заводским данным графиком работы персонала является четырёх сменная бригада. График сменности представляет собой изображение очередности выхода работающих на работы, А, Б, В, Г – условное обозначение бригад.

График сменности режима работы четырех бригад на март 2018 года приведен в таблице 4.2.

Штатное расписание производства этилена методом пиролиза этана приведено в таблице 4.3.

Для эффективного фонда рабочего времени составим баланс времени одного среднесписочного рабочего.

Эффективное количество часов работы одного среднесписочного рабочего определяется:

$$T_{\text{эфф. раб}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пл. пот}} \quad (4.7)$$

$$T_{\text{эфф. раб}} = 365 - 128 - 38 = 199 \text{ дн,}$$

где $T_{\text{кал}}$ – календарный фонд времени работы одного среднесписочного рабочего, человек;

$T_{\text{пл. пот}}$ – время плановых потерь, ч.;

$T_{\text{вых}}$ – число нерабочих часов в выходные дни, ч.

Находим количество персонала (производственного) работающего посменно:

$$N_{\text{яв}} = N_{\text{шт}} \cdot S, \quad (4.8)$$

где $N_{\text{яв}}$ – явочная численность производственного персонала, работающего посменно, человек;

$N_{\text{шт}}$ – штатное количество человек, работающих в смену, человек;

S – число бригад, $S = 4$.

$$N_{\text{яв}} = 15 \cdot 4 = 60 \text{ человек.}$$

Таблица 4.3 - График режима работы смен на март 2018 г.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
А	2				1	1		2	2				1	1		2	2				1	1		2	2				1	1	
Б			1	1		2	2				1	1		2	2				1	1		2	2				1	1		2	2
В	1	1		2	2				1	1		2	2				1	1		2	2				1	1		2	2		
Г		2	2				1	1		2	2				1	1		2	2				1	1		2	2				1

- 1- смена с 8 до 20 часов,
- 2- смена с 20 до 8 часов.

Таблица 4.4 - Штатное расписание

Наименование должности, профессии	Категория	Кол. штат. ед.	Оклад/ часовая тариф	Районный коэффициент	МФЗП
Руководство					
1. Директор	ИТР	1	Контракт		
2. Зам. директора по общим вопросам	ИТР	1	Контракт		
3. Главный инженер	ИТР	1	Контракт		
4. Главный механик	ИТР	1	Контракт		
5. Зам. гл. механика	ИТР	2	16800	10080	43680
6. Главный энергетик	ИТР	1	17200	5160	22360
7. Инженер по организации, эксплуатации и ремонту оборудования	ИТР	1	Контракт		
8. Инженер по комплектации оборудования и материалов	ИТР	1	17420	5226	22646
9. Главный метролог	ИТР	1	Контракт		
10. Инженер по организации, эксплуатации и ремонту КИПиА	ИТР	1	17200	5160	22360
11. Инженер по комплектации оборудования и материалов КИПиА	ИТР	1	17200	5160	22360
12. Инженер – технолог 1 категории	ИТР	2	17150	10290	44590

13. Начальник ПЭО	ИТР	1	22890	6867	29757
14. Ведущий экономист по труду	ИТР	1	18250	5475	23725
15. Инженер контролер	ИТР	2	16030	9618	41678
16. Зам. гл. энергетика по тепловодогазо-снабжению	ИТР	1	17050	5115	22165
17. Зам. гл. энергетика по электроснабжению	ИТР	1	17050	5115	22165
18. Инженер по организации, эксплуатации и ремонту электрооборудованию	ИТР	1	14920	4476	19396
19. Начальник ПТО	ИТР	1	15670	4701	20371
20. Мастер АХО	ИТР	1	11200	3360	14560
21. Делопроизводитель	ИТР	1	11420	3426	14846
22. Табельщик	ИТР	1	9900	2970	12870
Итого по руководству		25		92199	399529
Установка пиролиза углеводородного сырья					
23. Начальник установки	ИТР	1	Контракт		
24. Заместитель начальника установки	ИТР	2	Контракт		
25. Механик установки	ИТР	1	Контракт		
26. Начальник отделения пиролиза углеводородного сырья	ИТР	2	17650	10590	45890

27. Начальник смены	ИТР	5	17300	25950	112450
28. Начальник лаборатории по контролю производства	ИТР	1	Контракт		
29. Химик цеховой лаборатории	ИТР	2	15370	9222	39962
30. Инженер по ремонту и обслуживанию технологического оборудования	ИТР	1	18420	5526	23946
31. Механик отделения пиролиза	ИТР	2	17230	10338	44798
Итого по установки		17		61626	267046
Общехеховой персонал					
32. Маляр 5 разряда	МОП	1	9830	2949	12779
33. Уборщик производственных помещений	МОП	4	7580	9096	39416
34. Рабочий, занятый на погрузочно – разгрузочных работах	МОП	2	11900	7140	30940
35. Заведующий складом	МОП	2	8370	5022	21762
Итого общехехового персонала		9		24207	104897
РАБОЧИЕ					
Участок по ремонту и обслуживанию средств КИП и А					
36. Слесарь КИПиА 6 разряда	раб	5	76,4	20628	89388
37. Слесарь КИПиА 5 разряда	раб	8	72,8	31145	135977

Итого по участку		13		51773	225365
Участок по ремонту и обслуживанию электрооборудования					
38. Электромонтёр по ремонту и обслуживанию электрооборудования 6 разряда	раб	4	76,4	16502	71510
39. Электромонтёр по ремонту и обслуживанию электрооборудования 5 разряда	раб	4	72,8	15725	68141
Итого по участку		8		32227	139651
Участок по ремонту и обслуживания технологического оборудования					
40. Слесарь - ремонтник 6 разряда	раб	8	76,4	33005	143021
41. Слесарь - ремонтник 5 разряда	раб	4	72,8	15725	68141
Итого по участку		12		48730	211162
Отделение пиролиза углеводородного сырья					
42. Аппаратчик 6 разряда	раб	8	76,4	33005	143021
43. Аппаратчик 5 разряда	раб	8	72,8	31145	135977
Итого по отделению		16		64150	278998
Цеховая лаборатория по контролю производства					
44.Лаборант химанализа 5 разряда	раб	8	68,1	29419	127483
45.Лаборант химанализа 4 разряда	раб	4	59,8	12917	55973
Итого по лаборатории		12		42336	183456
Итого по заводу		112		388248	1810104

Списочная численность:

$$\text{Нсп} = \text{Няв} \cdot \text{Кпер}, \quad (4.9)$$

где Кпер – коэффициент перехода от явочной численности к списочной.

$$\text{Кпер} = \text{Тэфф. об.} / \text{Тэфф. раб.}, \quad (4.10)$$

$$\text{Тэфф. об.} = \text{Твых} + \text{Тэфф. раб.}, \quad (4.11)$$

$$\text{Тэфф. об.} = 1536 + 2388 = 3924 \text{ ч.};$$

Где Тэфф. раб. – эффективный фонд рабочего времени одного среднесписочного рабочего, ч.;

$$\text{Тэфф. раб.} = 2388.$$

$$\text{Кпер} = 3924 / 2388 = 1,64$$

По формуле 102 списочная численность равна:

$$\text{Нсп} = 60 \cdot 1,64 = 98 \text{ человек.}$$

Таблица 4.5. - Баланс рабочего времени одного среднесписочного рабочего

Показатели	Дней	Часы
Календарный фонд рабочего времени, Ткал	365	4380
Выходные дни, Твых	128	1536
Номинальный фонд рабочего времени, Граб	237	2844
Очередные и дополнительные отпуска	28	336
Невыходы по болезни	10	120
Выполнение государственных обязанностей	0	0
Отпуск по учебе без отрыва от производства	0	0
Итого по отпуску	38	456
Эффективный фонд рабочего времени	199	2388

4.6 Организация оплаты труда

На рассматриваемом предприятии оплата труда рабочих повременнo– премиальная, на основе часовых тарифных ставок, установленных и утвержденных на предприятии, присвоенных квалификационных разрядов (семнадцатиразрядная сетка) и фактически отработанного времени.

Труд руководителей, специалистов и служащих оплачивается согласно установленной разрядной таблицы за фактически отработанное время.

Рабочим руководителям и специалистам работа в ночное время оплачивается в повышенном размере на 40% . Компенсационная доплата выплачивается в размере 10% за тяжелые условия труда.

Работа в праздничные дни оплачивается работникам, труд которых оплачивается по часовым тарифным ставкам – в размере двойной часовой тарифной ставки.

Тарифный фонд заработной платы рассчитывается на основе тарифной сетки.

Для примера приведен расчёт месячной заработной платы аппаратчика

5 разряда (8 человек).

Заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{тар} + D_{ноч} + D_{празд} + D_{прем} + D_{р. к.} + D_{усл. тр.}, \quad (4.12)$$

где: $Z_{тар}$ – тарифная ЗП, руб.;

$D_{ноч}$ – доплата за работу в ночное время, т. руб.;

$D_{празд}$ – доплата за работу в праздничные дни, т. руб.;

Дпрем – премиальная ЗП, руб.;

Др. к. – районный коэффициент, т руб.;

Дусл. тр – компенсационная доплата за условия труда, т. руб.;

Тарифная заработная плата рассчитывается:

$$Зтар = Тст \cdot Тфак \cdot Н, \quad (4.14)$$

где Тст – тарифная ставка данной категории рабочих, т.руб./ч.;

Тфак = 180 ч. – среднемесячная выработка;

Н – количество рабочих данной категории, человек;

$$Зтар = 72,8 \cdot 180 \cdot 8/1000 = 104,83 \text{ т. руб.}$$

Доплата за работу в ночное время:

$$Дноч = 0,4 \cdot Тст \cdot Тноч \cdot Н, \quad (4.14)$$

где Тноч = 64ч. – время ночных смен.

$$Дноч = 0,4 \cdot 72,8 \cdot 64 \cdot 8/1000 = 14,91 \text{ т. руб.}$$

Доплата в праздничные дни:

$$Дпразд = Тпразд \cdot Тст \cdot 2 \cdot Н, \quad (4.15)$$

где Тпразд – количество часов, отработанное в праздники, ч;

(8 марта Тпразд = 12 часа)

$$Дпразд = 12 \cdot 72,8 \cdot 2 \cdot 8/1000 = 13,98 \text{ т. руб.}$$

Премиальная ЗП:

$$Дпрем = Зтар \cdot Прем/100\%, \quad (4.16)$$

где Зтар – тарифная ЗП, т. руб.;

Прем – Премиальные, % за март 2017 года Прем = 60%.

$$\text{Дпрем} = 104,83 : 60 / 100 = 62,90 \text{ т.руб.}$$

Районный коэффициент:

$$\text{Др.к.} = 0,3(\text{Зтар} + \text{Дноч} + \text{Дпразд} + \text{Дпрем}), \quad (4.17)$$

$$\text{Др.к.} = 0,3 (104,83 + 14,91 + 13,98 + 62,90) = 58,99 \text{ т.руб.}$$

$$\text{Дусл.тр} = \text{Зтар} \cdot 10 / 100, \quad (4.18)$$

$$\text{Дусл.тр} = 104,83 \cdot 0,1 = 10,48 \text{ т.руб.}$$

Итак, по формуле (4.12), основная заработная плата 8 аппаратчиков производства этилена методом пиролиза этана за март месяц 2018 года составит:

$$\text{Зосн} = 104,83 + 14,91 + 13,98 + 62,9 + 58,99 + 10,48 = 266,09 \text{ т.руб.}$$

$$\text{ЗП} = \text{Зосн} + \text{Здоп}, \quad (4.19)$$

где Зосн - основная ЗП, т. руб.;

Здоп – дополнительная ЗП, т. руб.;

$$\text{Здоп} = \text{Зосн} \cdot \text{К} / \text{Ткал}, \quad (4.20)$$

где К – число законных невыходов, дней;

Ткал – календарный фонд работы одного среднесписочного рабочего, дней;

$$\text{Здоп} = 266,09 \cdot 38 / 365 = 27,70 \text{ т.руб.}$$

Заработная плата 8 аппаратчиков пиролиза этана за 1 месяц составит:

$\text{ЗП} = 266,09 + 27,70 = 293,79 \text{ т.руб}$ Аналогично производится расчёт месячного фонда ЗП всех работающих на заводе. Месячный и годовой фонд ЗП представлен в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Фонд заработной платы

№	Наименование	МФЗП, т. руб	ГФЗП, т. руб.
1	Инженерно–технические работники	906,32	10875,9
2	Основные рабочие	1038,63	12463,58
3	Вспомогательные рабочие	517,28	6207,36
4	Итого по заводу	2462,24	29546,84

4.7 Расчет затрат на производство продукции

4.8 Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Определение затрат на сырье и вспомогательные материалы

производим исходя из принятого объема производства, удельных норм расхода сырья и материалов и планово-заготовительных цен. Расчет годовой потребности в сырье и материалах приведен на 253 800 т и на 270 000 т продукта в таблице (4.7).

Таблица - 4.7 Потребность в оборотных средствах

Наименование сырья, материалов и энергии.	Цена за ед. сырья, т.руб.	Норма расхода сырья, ед./т.	Стоимость сырья на ед. продукта, т.руб./т.	Количество сырья на весь выпуск		Стоимость сырья на весь выпуск, тыс. руб.	
				253800	270000	253800	270000
Этан, т	5	2,4	12	720000	763200	3600000	3816000
ПБФ, т	2	0,85361	1,70722	256083	271448	512166	542896
Олигомеры, т	1,5	0,01622	0,02433	4866	5157,96	7299	7736,94
Бутан, т	1	0,003	0,003	900	954	900	954
Тринатрий фосфат, т	8,86	0,0000008	0,00000709	0,24	0,2544	2,1264	2,253984
Тосол, т	13,3	0,00547	0,072751	1641	1739,46	21825,3	23134,82
Натр едкий, т	8,53	0,00622	0,0530566	1866	1977,96	15916,98	16872
Ингибитор коррозии,	129	0,00002	0,00258	6	6,36	774	820,44
Эл.энергия, ткВт/ч	1,05	0,05047	0,0529935	15141	16049,46	15898,05	16851,93
Пар собственный, тГкал	0,20	2,96268	0,592536	888804	942132,2	177760,8	188426,4
Газ природный, тм³	1,11	0,38074	0,4226214	114222	121075,3	126786,4	134393,6
Деминерализ. вода, т м³	11,6	0,00407	0,047212	1221	1294,26	14163,6	15013,42
Итого						4493492	4763102

4.9 Расчет годовой потребности в электроэнергии

Таблица 4.8 - Расчет потребности электроэнергии

Наименования оборудования	Мощность кВт	Эффективный фонд времени оборудовани	Суммарно-потребляемая электроэнергия кВт · ч
Насос центробежный Н1	75	8000	600000
Насос центробежный Н2	88	8000	704000
Насос центробежный Н3	75	8000	600000
Вентиляция	37	8000	296000
Освещение установки пиролиза	1,2	8000	9600
Итого			2217600

4.10 Основные фонды предприятия. Расчет амортизационных отчислений.

Амортизация – постепенное перенесение основных средств на готовую продукцию в целях накопления денежных средств для простого воспроизводства основных средств.

Норма амортизации – отношение годовой суммы амортизации к стоимости основных средств, выраженная в %. Норма амортизации показывает какую долю своей балансовой стоимости ежегодно переносят основные средства на производимый продукт

Амортизацию проводим по линейному методу согласно классификации ОС, включаемых в амортизационные группы (постановление правительства РФ №1 от 01.01.2002 г.)

Начисление нормы амортизации:

$$Na = 1/T_{сл} \cdot 100\%, \quad (4.21)$$

где $T_{сл}$ – срок полезного использования ОС.

Начисление амортизации:

$$Am = \text{Сперв.} \cdot Na / 10, \quad (4.22)$$

где Сперв. – первоначальная цена ОС.

Таблица 4.9 - Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс. руб.
1. Здания, сооружения, инвентарь	700000	5	35000
2. Оборудование			
Печь F-1	9543,54	10	954,354
Печь F-2	9543,54	10	954,354
ЗИА Е-1А	1966	10	196,6
ЗИА Е-1В	1966	10	196,6
ЗИА Е-2А	1966	10	196,6
ЗИА Е-2В	1966	10	196,6
Отделительный барабан пара высокого давления V-1	738,72	10	73,872
Отделительный барабан пара высокого давления V-1	738,72	10	73,87
Коксосборник Т-1	561,92	5	28,10
Коксосборник Т-2	561,92	5	28,10
Коксоотделитель (циклон) S-1	320	5	16,00
Коксоотделитель (циклон) S-2	320	5	16,00
Холодильник W-1	753	10	75,30
Холодильник W-2	753	10	75,30

Холодильник W-10	753	10	75,30
Холодильник W-11	753	10	75,30
Холодильник W-6	753	10	75,30
Насос центробежный Н1	50	20	10,00
Насос центробежный Н1	50	20	10,00
Насос центробежный Н1	50	20	10,00
3.Приборы КИП и А, лабораторное оборудование	47850	10,3	4929
ИТОГО			428665,5

Таблица 4.10 - Расходы на наладку и монтаж оборудования

Наименование основных средств	Стоимость, тыс.руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс. руб.
1.На устройство фундаментов	2521	10	252,1
2.На технологические трубопроводы	5042	20	1008,4
3.На антикоррозионные работы	1250,5	5	62,525
4.На кабельные разводки	1250,5	5	62,525
5.На КИПиА	2521	10	252,1
6.На монтаж оборудования	5546,2	22	1220,164
7.На вспомогательное оборудование	1250,5	5	62,525
Итого:			2920,339

4.11 Планирование себестоимости продукции

4.12 Калькуляция себестоимости 1 тонны продукции

N2017= 253,8 тыс. т/год, N2018 = 270 тыс. т/год

Таблица 4.11 Калькуляция себестоимост

и

Наименование затрат	253 800 т		270 000 т	
	Сумма на 1 т, тыс. руб.	Сумма затрат на объем производства, тыс. руб	Сумма на 1 т, тыс. руб.	Сумма затрат на объем производства, тыс. руб
1. Сырье и материалы	13,86	3517668	13,86	13,86
2. Электроэнергия На технологические цели	1,12	334609	1,12	354685
Итого условно-переменные издержки:	14,98	3855277	14,98	4096885
Заработная плата ИТР, МОП	0,06	17083,26	0,05	17083,26
Отчисления на социальные нужды ИТР, МОП	0,017	5125	0,016	5125
Амортизация	1,43	428665,5	1,35	428665,5
Ремонты	1,05	315896,7	0,99	315896,7
Заработная плата основных работающих	0,042	12464	0,04	12464
Отчисления на социальные нужды основных рабочих	0,012	3739	0,011	3739
Итого условно-постоянные издержки:	2,611	782973,5	2,457	782973,5
Цеховая себестоимость	17,591	4638250,5	17,437	4879858,5
Управленческие расходы	0,88	263823	0,83	263823
Общезаводская себестоимость	18,471	5540288,5	18,267	5809897,5
Коммерческие расходы	0,18	55403	0,17	55403
Полная себестоимость	18,65	55403	18,49	5189084,5

Итого условно-переменные издержки:	14,98	3855277	14,98	4096885
Итого условно-постоянные издержки:	3,671	1102199,5	3,487	1102199,5

4.13 Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле

$$Ц = С \cdot (1 + P/100), \quad (4.23)$$

где C – полная себестоимость единицы готовой продукции;

P – рентабельность продукции, %.

Рентабельность продукции можно принять от 10 % до 25 %.

$$Ц = 18,65 \cdot (1 + 25/100) = 23,3 \text{ тыс. руб./т } (N = 253\,800 \text{ т/год})$$

$$Ц = 23,3 \text{ тыс. руб. } (N = 270\,000 \text{ т/год}).$$

4.14 Анализ безубыточности по действующему производству

Цель анализа – определение точки безубыточности, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. В точке безубыточности выручка от продажи продукции (ВПП) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$B_{253800} = 23,3 \cdot 253800 = 5913540 \text{ руб.}$$

$$B_{270000} = 23,3 \cdot 270000 = 6291000 \text{ руб.}$$

Определение точки безубыточности: 1. Аналитическим способом

$$Q_{кр.} = \text{Изд}_{\text{пост.}} / (Ц_{1т} - \text{Изд}_{\text{пер.за 1т}}), \quad (4.24)$$

где $Q_{кр.}$ – критический объем продаж, т;

$\text{Изд}_{\text{пост.}}$ – постоянные затраты на весь объем, руб.;

$I_{\text{Дпер.за 1т}}$ – переменные затраты на 1 т продукции, руб./т;

$C_{1т}$ – цена 1 т продукции, руб./т.

Найдем критический объем продаж на 253800 т/год

$$Q_{\text{кр. 2017}} = 1102199,5 / (23,3 - 14,98) = 132,476 \text{ тыс. т}$$

$$Q_{\text{кр. 2017}} = 1102199,5 / (23,3 - 14,98) = 132,476 \text{ тыс. т.}$$

Точка безубыточности - минимальный объем продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков.

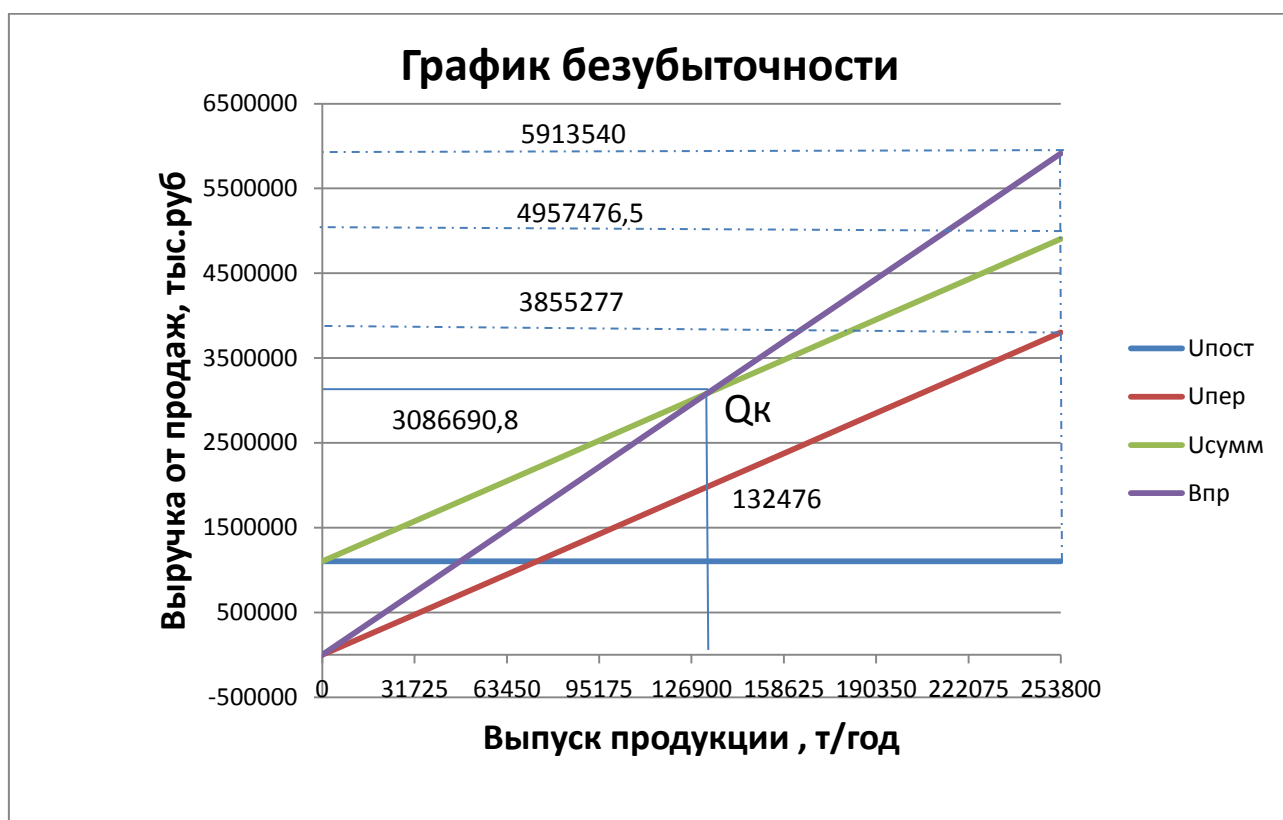


Рисунок 1 – График безубыточности при N = 253 800 тонн

4.15 Срок окупаемости инвестиций

Метод расчета срока окупаемости инвестиций **PP** (Токуп.) состоит в определении того периода, через который первоначальные инвестиции будут возвращены прибылью или чистыми денежными поступлениями. Этот метод ориентирован на краткосрочную оценку, рассматривает, как скоро инвестиционный проект окупит себя. Чем быстрее проект окупит первоначальные затраты, тем эффективнее проект. Использование данного показателя предполагает установление приемлемого значения срока окупаемости как меры оценки эффективности инвестиций.

Чем больше нужна ликвидность инвестору, тем короче должен быть срок окупаемости.

Расчет срока окупаемости заключается в том, что сумма первоначальных инвестиций делится на величину годовых поступлений (чистой прибыли):

$$PP = \frac{I_0}{\text{ЧДП}}, \quad (4.25)$$

где I_0 – первоначальные инвестиции;

ЧДП – чистый денежный поток от операционной деятельности.

Данный подход применяется в тех случаях, когда величины чистых денежных поступлений примерно равны по годам.

$$\text{ЧДД} = (23,3 - 15,03) * 270000 = 2232900 \text{ тыс. руб.}$$

$$PP = 734107,36 / 2232900 = 0,328 \text{ лет}$$

Таблица 4.13 Техничко–экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	2017	2018
Объем производства	тыс. т	253,800	270,000
Объем продаж	тыс. т	253,800	270,000
Цена за тонну	тыс. руб.	23,3	23,3
Выручка от продаж	тыс. руб.	5913540	6291000
Суммарные издержки,	тыс. руб.	4957476,5	5199084,5
в т.ч переменные издержки	тыс. руб.	3855277	4096885
в т. ч. постоянные издержки	тыс. руб.	1102199,5	1102199,5
Операционная прибыль	тыс. руб.	956063,5	1091915,5
Налог на прибыль	тыс. руб.	810223,31	925352,12
Чистая прибыль	тыс. руб.	145840,195	166563,38
Себестоимость 1 тонны продукции	тыс. руб.	18,65	18,49
Стоимость основных средств	тыс. руб.	781957	781957
Численность основных рабочих	чел.	60	60
Фондовооруженность	тыс. руб./чел	13033	13033
Фондоотдача	руб./руб.	8,94	9,48
Фондоёмкость	руб./руб.	0,11	0,105
Производительность труда	тыс. руб./чел	98559	104850
Рентабельность производства	%	12,22	14,0
Рентабельность продаж	%	9,73	11,35
Qкр. (критический объем продаж)	тыс. т	132,476	132,476
Qкр. (критический объем продаж)	тыс. руб.	3086690,8	3086690,8
Капитальные затраты	тыс. руб.	734107,36	734107,36
Срок окупаемости	Лет	0,328	0,325

Вывод:

В результате увеличения загрузки производственной мощности на 6 % и, соответственно, использования «эффект масштаба», мы получили следующий экономический эффект:

1. Снижение себестоимости на 1 тонну с 18,65 до 18,49 (на 0,86 %)
2. Увеличение выручки от продажи с 5913540 до 6291000 (на 6,38 %)
3. Увеличение чистой прибыли с 145840,195 до 166563,38 (на 12,4 %)
4. Увеличение выплат по налогам с 810223,31 до 925352,12 (на 12,4%)
5. Увеличение показателя фондоотдачи с 8,94 до 9,48 (на 5,7 %)
6. Увеличение производительности труда с 98559 до 104850 (на 6 %)
7. Увеличение рентабельности производства с 12,22 до 14,0 (на 12,71 %)
8. Увеличение рентабельности продаж с 9,73 по 11,35 (на 14,27 %)

