

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

---

Институт электронного обучения  
Специальность Химическая технология органических веществ  
Кафедра Технология органических веществ и полимерных материалов

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА**

Тема работы
<b>Проект производства полиэтилена высокого давления</b>

УДК 678.742.23

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5601	Мохова Светлана Ильинична		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер	Попов В.А.			

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А.	к.б.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.кафедрой	Юсубов М.С.	д.х.н. профессор		

Томск – 2016 г.

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

---

Институт электронного образования  
Специальность Химическая технология органических веществ  
Кафедра Технология органических веществ и полимерных материалов

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Юсубов М.С.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Дипломного проекта
--------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5601	Мохова Светлана Ильинична

Тема работы:

Проект производства полиэтилена высокого давления
---

Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.01.2016 №410/с
---	-------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2016
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	
<i>(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.).</i>	Получение полиэтилена высокого давления, производительность 120000 т/год; режим работы – непрерывный. Основным сырьем является этилен.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></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"> <li>1. Теоретическая часть</li> <li>2. Инженерные расчеты</li> <li>3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение</li> <li>4. Социальная ответственность</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;"><b>Раздел</b></p> <p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение</p>	<p style="text-align: center;"><b>Консультант</b></p> <p>к.э.н., Рыжакина Т.Г.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>к.б.н., Антоневи́ч О.А.</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер	Попов В.А.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5601	Мохова Светлана Ильинична		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5601	Мохова Светлана Ильинична

<b>Институт</b>	<b>Электронного обучения</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТОВПМ</b>
Уровень образования	Инженер	Направление/специальность	ХТОВ

**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, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; 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.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности производства полиэтилена высокого давления

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

1. Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.
2. Расчет технико-экономических показателей
3. Расчет чистого денежного потока
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности проекта

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5601	Мохова Светлана Ильинична		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5601	Мохова Светлана Ильинична

<b>Институт</b>	<b>НИТПУ</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТОВПМ</b>
<b>Уровень образования</b>	Инженер	<b>Направление/специальность</b>	ХТОВ

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	ПЭВД – легкий, прочный, эластичный материал с низкой газо-, паропроницаемостью. Полиэтилен устойчив к действию многих агрессивных сред, таких как кислоты, щелочи, масла. Он применяется для изготовления химического оборудования. Производство полиэтилена является пожаро- и взрывоопасным, так как в процессе применяются пожаро- и взрывоопасное сырье. Кроме того имеются и другие опасные факторы.
--	---

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

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке.</p> <p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышенная загазованность воздуха рабочей среды;</li> <li>2. Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе и в помещениях;</li> <li>3. Превышение уровней шума и вибрации;</li> <li>4. Недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>5. Химические факторы: токсические; раздражающие.</li> <li>6. Факторы, связанные с нарушениями технологических параметров и техники безопасности.</li> </ol> <p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Химические факторы проникающие в организм человека через: органы дыхания; желудочно-кишечный тракт; кожные покровы и слизистые оболочки;</li> <li>2. Разрушающиеся конструкции;</li> <li>3. Электрический ток;</li> <li>4. Подвижные части производственного оборудования;</li> <li>5. Повышенная температура поверхностей оборудования;</li> <li>6. Повышенное давление в оборудовании</li> </ol>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> </ul>	<p>При производстве полиэтилена высокого давления могут быть следующие выбросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Газовые выбросы.</li> <li>2. Сточные воды, содержащие нефтепродукты.</li> <li>3. Твердые отходы.</li> </ol>

<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Чрезвычайные ситуации на производстве возникают вследствие аварий, сопровождающихся самопроизвольным выходом в окружающее пространство вещества и (или) энергии.</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Специальные нормы для работников (льготы, ограничения), принимаем соответствии со ст. 121 Трудового Кодекса РФ.</p> <p>При размещении оборудования учитываются технологические требования согласно ВСН-3-86/Минхимпром Рекомендации по установке технологического оборудования на открытых площадках в химической промышленности.</p>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А.	к.б.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5601	Мохова Светлана Ильинична		

## Реферат

Дипломная работа содержит 173 страницы, 3 рисунков, 36 таблиц, 29 источников, 6 листов графического материала.

Цель работы - расчёт установки по производству полиэтилена с целью получения полиэтилена высокого давления.

В работе произведены расчёты материального баланса, гидравлический и тепловой расчёты оборудования, технологический и механический расчёт аппаратов установки производства полиэтилена высокого давления. В данном проекте описаны характеристика сырья, реагентов и готовой продукции, технологическая схема, рассмотрены аспекты безопасной эксплуатации производства, контроля качества выпускаемой продукции, автоматизации производства. В разделе «Социальная ответственность» были проанализированы вредные и опасные факторы, связанные с производством, рассмотрены аспекты загрязнения окружающей среды и разработаны мероприятия, снижающие ущерб жизни и человека и окружающей среде.

В разделе «Финансовый менеджмент» приведен сравнительный анализ, показывающий целесообразность работы данной установки.

## **Abstract**

Thesis contains 173 pages, 3 figures, 36 tables, 29 sources, 6 sheets of graphic material.

The purpose of work - calculation of the installation for the production of polyethylene in order to obtain a high-density polyethylene.

The work produced by the material balance calculations, hydraulic and thermal calculations of equipment, technology and mechanical calculation devices Installation of high pressure polyethylene. This project describes the raw material characteristics, reagents and finished products, technological scheme, discussed aspects of the safe operation of the production, control the quality of products, production automation. In the "Social Responsibility" were analyzed occupational hazards associated with the production, reviewed aspects of environmental pollution, and developed measures that reduce damage to life and person and the environment.

In the "Financial Management" is a comparative analysis showing the feasibility of operation of the installation.



## Оглавление

Введение	12
1. Теоретическая часть	13
1.1 Техничко-экономическое обоснование проекта	13
1.2 Характеристики продукта, исходного сырья и материалов.	16
1.2.1 Характеристика производимой продукции	16
1.2.2 Характеристика исходного сырья, материалов, полупродуктов	20
1.3 Физико-химические основы процесса.	23
1.3.1 Механизм процесса	23
1.3.2 Термодинамика процесса полимеризации	26
1.3.3 Кинетика полимеризации	27
1.3.4 Влияние основных параметров на процесс полимеризации	30
1.4. Выбор и обоснование конструкции основного аппарата	33
2. Инженерные расчеты	34
2.1. Описание технологической схемы	34
2.1.1 Подготовка и дозирование компонентов	35
2.1.1 .1 Подготовка раствора инициаторов	35
2.1.1 .2 Прием и дозирование кислорода	35
2.1.1 .3 Прием и дозирование модификатора	36
2.1.2 Компримирование этилена	36
2.1.4 Полимеризация этилена	38
2.1.5 Отделение и очистка возвратного газа высокого, среднего и низкого давления.	40
2.1.6 Первичная грануляция	43
2.1.7 Конфекционирование	43
2.2 Материальный баланс	44
2.2.1 Общий материальный баланс	49
2.2.3. Стадия компримирования (компрессор I каскада)	50
2.2.4. Стадия компримирования (компрессор II каскада)	51
2.2.5. Стадия полимеризации	52
2.2.6. Стадия выделения полиэтилена при высоком давлении	53
2.2.7 Стадия выделения полиэтилена при низком давлении	54
2.2.7. Стадия грануляции	55
2.2.8. Стадия очистки возвратного газа	56
2.3. Тепловой расчет основного аппарата	56
2.3.1 Тепловой баланс зоны нагрева газа поз.301	56
2.3.2 Тепловой баланс 1 зоны реакции поз.302	57
2.3.3. Тепловой баланс 2 зоны реакции поз.305	58
2.3.4 Тепловой баланс 2 зоны реакции поз.306	59
2.4 Технологический и гидравлический расчет основного аппарата	60
2.4.1 Определение длины реактора	60
2.4.2 Зона дополнительного нагрева поз. 301	61
2.4.3 Расчет первой реакционной зоны поз. 302	63
2.4.4 Расчёт второй зоны реакции поз. 305	66

2.4.5 Расчёт третьей зоны реакции поз. 306	68
2.5 Механический расчет	71
2.5.2 Расчет колена труба Ø 159*6	72
2.5.3 Расчет элементов рубашек труба Ø 273*12	73
2.5.4 Расчет колена труба Ø 273*12	74
2.5.5 Расчет на несущую способность труб высокого давления диаметром 146*60	76
2.5.6 Расчет колен труб высокого давления	77
2.5.7 Расчет элементов рубашек труба Ø 325*14	78
2.5.8 Расчет колена труба Ø 325*14	79
2.5.9 Расчет элементов рубашек труба Ø 219*8	81
2.5.10 Расчет колена труба Ø 219*8	82
2.5.11 Расчет укрепления отверстия	83
2.5.12 Расчет фланца du 80	83
2.5.13 Расчет фланца du 200	85
2.5.14 Расчет колен-перетоков труба Ø 89*4,5	86
2.5.15 Расчет перетока Ø 219*10	87
3.4.16 Расчет опор	89
2.5.17 Подбор вспомогательного оборудования	93
2.6 Контроль производства	95
2.6.1 Автоматический контроль	95
2.6.2 Аналитический контроль	105
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	119
3.1 Предпроектный анализ	119
3.2 SWOT-анализ	119
3.3. Расчет производственной мощности и производственной программы	120
3.4 Расчет годового фонда заработной платы персонала установки	123
3.4.1 Расчет заработной платы ИТР	129
3.4.2 Расчет заработной платы МОП	129
3.5 Расчёт стоимости основных производственных фондов и амортизационных отчислений от них	129
3.5 Рабочие машины и оборудование	131
3.6 Планирование себестоимости продукции	134
3.6 Расчет цены	134
3.8 Построение точки безубыточности	135
3.9 Техничко-экономические показатели	138
4. Социальная ответственность	139
4.1 Производственная безопасность	140
4.1.1 Химические факторы	142
4.1.2 Физические вредные и опасные факторы	145
4.2 Экологическая безопасность	155
4.2.1 Защита атмосферы	155

4.2.2 Защита гидросферы	156
4.2.3 Защита литосферы	157
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	158
4.3.1 Анализ чрезвычайных ситуации (ЧС)	158
4.3.2 Защита персонала и территории в чрезвычайных ситуациях	158
4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	159
4.4.1 Трудовое законодательство	159
4.4.2 Компоновка оборудования	160
Заключение	
Список литературы	
Спецификация технологического оборудования	
На отдельных листах:	
1. Технологическая схема	
2. Общий вид реактора	
3. Сборочный чертеж. Спецификация	
4. Компоновка оборудования	
5. Техничко-экономические показатели производства	

## Введение

Органические пластические материалы начали широко применяться в разных отраслях народного хозяйства лишь в XX веке. Начиная с 40-х годов текущего столетия, производство пластических масс развивается очень высокими темпами. Это вызвано разработкой очень широкого ассортимента пластических масс с ценными техническими свойствами.

Для России ПЭВД является традиционным видом полиэтилена. Основные мощности по производству гранул вводились во времена Советского Союза, когда ПНД и ЛПНП еще не получили достаточного распространения, а доступ к импортным технологиям был ограничен.

Во время проектирования и строительства применялись наиболее передовые технологии и мировые практики полимерных производств. В целях сохранения природной среды, в проекте предусмотрены все существующие в мировой практике мероприятия по очистке газовых выбросов, сточных вод и захоронению твердых отходов на специально оборудованных полигонах. Территория предприятия составляет 640 га.

Производство полиэтилена высокого давления состоит из трех установок:

1. Установка полимеризации этилена;
2. Установка производства и дополнительной переработки полиэтилена на основе технического углерода;
3. Установка ректификации ациклических углеводородов, компримирования и очистки возвратного этилена.

Установка полимеризации этилена Производства полиэтилена включает две технологические линии: линия А и линия Б, предназначенные для выпуска полиэтилена.

Получаемый на установке полимеризации этилена полиэтиленовый гранулят-сырец направляется на установку производства и дополнительной переработки полиэтилена для обработки и формирования партий готовой продукции.

В установку полимеризации этилена входит три отделения:

1. Отделение компримирования этилена, где происходит сжатие этилена до рабочих параметров.

2. Отделение полимеризации этилена, где получают полиэтилен методом свободно-радикальной полимеризации. Так же здесь происходит очистка и охлаждение непрореагировавшего этилена. В состав отделения входит станция горячей воды, которая необходима для подготовки и подачи циркуляционной воды в: - рубашки I,II,III-й зон реакторов для снятия избыточного тепла реакции полимеризации;

- подогреватель I-й зоны реактора для разогрева газа до температуры начала реакции;

- продуктовые холодильники, и в рубашки холодильников возвратного газа высокого давления.

В корпусе, где находится станция горячей воды, расположена инициаторная станция. Здесь готовятся растворы разнотемпературных перекисных инициаторов, используемых для увеличения производительности реактора.

3. Отделение гранулирования, где происходит переработка расплава полиэтилена в гранулы одинаковой геометрической формы, размер которых составляет 2-5 мм в любом направлении, и транспортировка гранул на установку производства и дополнительной переработки полиэтилена.

Весь процесс полимеризации этилена и все технологические стадии полимеризации регулируются и управляются с центрального пульта управления.

## 1. Теоретическая часть

### 1.1 Техничко-экономическое обоснование проекта.

Отрасль производства полимеров и полимерной продукции является одной из самых динамично развивающихся, а количество отраслей потребителей охватывает практически все сферы промышленного производства. Процесс изготовления полиэтилена является одним из самых простых процессов получения полимеров.

ПЭВД – легкий, прочный, эластичный материал с низкой газо-, паропроницаемостью. Благодаря этому он имеет широкую область применения в химической промышленности, лёгкой и пищевой промышленности, в строительстве, мелиорации и производстве товаров народного потребления. Полиэтилен устойчив к действию многих агрессивных сред, таких как кислоты, щелочи, масла. Он применяется для изготовления химического оборудования.

Так же есть возможность модифицировать полиэтилен путем введения в него различных добавок, что позволяет повысить его механическую прочность, морозостойкость, огнестойкость, химическую стойкость, физико-химические и конструктивные показатели. Благодаря этому открываются новые области применения.

Практически все крупные нефтехимические компании мира занимаются производством полиэтилена. Внутренний рынок растет быстрыми темпами, в то время как дальнейший рост производства полиэтилена в России является невозможным без ввода новых больших производственных мощностей.

В промышленности полиэтилен получают полимеризацией этилена при высоком (ПЭВД, ПЭНП) и низком давлениях (ПЭНД, ПЭВП). Полиэтилен высокого давления (низкой плотности) получается полимеризацией этилена при высоком давлении в трубчатых реакторах или реакторах с перемешивающим устройством с применением инициаторов радикального типа. Процесс полимеризации при высоком давлении протекает по

радикальному механизму, инициаторами являются кислород, пероксиды, например, лаурила или бензоила, или их смесей.

Полиэтилен низкого давления (высокой плотности), получают суспензионным методом полимеризации этилена при низком давлении на комплексных металлоорганических катализаторах в суспензии или газофазным методом полимеризации этилена в газовой фазе на комплексных металлоорганических катализаторах на носителе или полимеризацией этилена в растворе в присутствии титан-магниевого катализатора или  $\text{CrO}_3$  на силикагеле.

Свойства ПЭВД, который получают по методу радикальной полимеризации и ПЭНД, получаемого различными методами:

	ПЭВД	ПЭНД
Плотность, $\text{кг/м}^3$	910 – 935	910 – 965
Показатель текучести расплава, г/10 мин., при массе груза		
2,16 кг	0,2 – 30	-
5,0 кг	0,8 – 70	0,01 – 80
Среднемассовая молекулярная масса $M_w \cdot 10^{-3}$	800 – 100	5000 – 50
Полидисперсность $M_w / M_n$	10 – 30	3 – 20
Предел текучести при растяжении, МПа	15 – 9	35 – 10
Прочность при разрыве, МПа	16 – 9	45 – 15
Относительное удлинение при разрыве, %	700 – 400	1200 – 25
Ударная вязкость (образец с надрезом), $\text{кДж/м}^2$	Прогибается без разрушения	150 – 2
Модуль упругости при изгибе, МПа	260 – 80	1200 – 100
Теплостойкость по Вика, °С	110 – 100	130 – 110
Стойкость к растрескиванию под напряжением, ч	Более 500 – 0,1	Более 1000 – 0,1
Содержание экстрагируемых веществ, %	0,1 – 1,4	Отсутствие
Содержание золы, %	Отсутствие	0,006 – 0,035

По этим данным можно сказать, что методы производство полиэтилена низкого давления дают возможность получить полимер с большим диапазоном плотности, а так же с большей возможностью регулировать молекулярное и массовое распределение благодаря подбору катализаторов.

Линейная структура ПЭНД дает ряд преимуществ перед разветвленной молекулой ПЭВД. При похожих значениях плотности и показателей текучести, молекула ПЭНД имеет большую прочность, жесткость, ударную вязкость.

Однако для изготовления различных пленок в приоритете ПЭВД. Так как использование ПЭНД для этого менее рентабельно. Из-за высокой температуры плавления возрастают затраты на электроэнергию. Так же высокая жесткость пленок из ПЭНД исключает возможность их применения в некоторых областях.

ПЭВД не содержит остатков катализатора, поэтому у него есть преимущество в тех областях, где необходима высокая прозрачность и чистота материала. Так же ПЭВД используется для изготовления толстостенных эластичных изделий.

Кроме того, только по методу синтеза при высоком давлении есть возможность получения сополимеров этилена с полярными мономерами.

Можно сделать вывод о том, что ПЭВД может использоваться во многих областях промышленности и заменить его на ПЭНД можно только частично.

Различные мировые производители, в том числе и Россия, проводили сравнение и анализы четырех методов промышленного производства полиэтилена. В результате было показано, что для установок с одинаковой единичной мощностью капитальные вложения достаточно близки.

Сравнивая процесс полимеризации при высоком давлении в трубчатых и автоклавных реакторах, можно выделить следующие основные особенности технологии в каждом из них.

1. В автоклавах реакционное давление поддерживается постоянным. В то время как в трубчатых реакторах давление более высокое и оно снижается по длине реактора.

2. В трубчатых реакторах наблюдается широкий температурный профиль по длине, при этом максимальная температура достигает 320 °С. В



автоклавах температура поддерживается в узких пределах в каждой зоне в интервале 170-280 °С.

3. Среднее время пребывания реакционной смеси в трубчатом реакторе постоянное, оно определяется соотношением объема реактора и количества подаваемого в реактор этилена и составляет для промышленных реакторов 60—300 с; в автоклавном реакторе — переменное, изменяется в пределах 10-120 с.

4. Характер движения в трубчатых реакторах турбулентный, поршневой, в автоклавных реакторах — практически близок к идеальному смешению.

5. В качестве инициаторов полимеризации в трубчатых реакторах можно использовать кислород, растворы пероксидов, а также смеси кислород—пероксиды, тогда как полимеризация в автоклавах проводится только под влиянием перекисных инициаторов.

Невозможность применения кислорода для инициирования полимеризации в автоклавных реакторах объясняется трудностями регулирования температуры в реакторе из-за запаздывания при дозировании кислорода.

6. Пуск автоклавного реактора затруднен и требует подачи избыточного количества инициатора для предотвращения падения температуры при пуске.

Для создания высокоэкономичных производств ПЭВД важным фактором является повышение конверсии этилена. Это дает возможность понизить затраты на компримирование этилена. Так в трубчатых реакторах конверсия может достигнуть 28 – 32 %, а в автоклавных около 20 %.

Основываясь на эти данные, для проектирования выбираем метод получения полиэтилена при высоком давлении, так как он является более широко применяемым. Реактор выбираем трубчатого типа как более экономичного в эксплуатации.

## **1.2 Характеристики продукта, исходного сырья и материалов.**

### **1.2.1 Характеристика производимой продукции.**

По характеристике применяемых продуктов производство полиэтилена в соответствии с законом ФЗ №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» относится к опасным.

Готовая продукция в виде гранулированного полиэтилена относится к твердым горючим материалам. Полиэтилен высокого давления относится к высокомолекулярным продуктом, который состоит из макромолекул с различной длиной цепи и разным количеством разветвлений.

Химическая формула полиэтилена:  $(-CH_2-CH_2-)_n$ ,

где:  $n = 600-1700$  - средняя степень полимеризации или число этиленовых звеньев.

Средняя молекулярная масса 17000 – 48000.

Установка полимеризации этилена выпускает полиэтиленовый гранулят-сырец в соответствии с регламентом, а выпуск полиэтилена происходит на установке производства и дополнительной переработке по ГОСТ 16337-77.

Полиэтилен – твердый продукт, на ощупь похож на парафин. Устойчив к действию воды, не реагирует со щелочами любой концентрации, с растворами нейтральных, кислых и основных солей, органическими и неорганическими кислотами, даже с концентрированной серной кислотой, но разлагается при действии 50%-ой азотной кислоты при комнатной температуре и под воздействием жидкого и газообразного хлора и фтора. В отличие от непредельных углеводородов, не обесцвечивает бромную воду и раствор перманганата калия.

Полиэтилен высокого давления выпускается по государственному стандарту: "Полиэтилен высокого давления. Технические условия: ГОСТ 16337-77".

Полиэтилен должен выпускаться в виде гранул одинаковой геометрической формы в пределах одной партии, размер их в любом направлении должен быть 2-5 мм. Для базовых марок и композиций

полиэтилена допускаются гранулы размером свыше 5 до 8 мм, массовая доля которых не должна превышать 0,25%, и гранулы размером свыше 1 до 2 мм, массовая доля которых не должна превышать 0,5%, а для полиэтилена, предназначенного для изготовления пленок специального назначения, - 0,25%.

Для полиэтилена 2-го сорта допускаются серые и окисленные гранулы, массовая доля которых не должна превышать 0,1%. В окрашенном и неокрашенном полиэтилене не допускаются гранулы другого цвета, кроме полиэтилена 2-го сорта, в котором массовая доля гранул другого цвета не должна превышать 0,04%.

Показатели качества выпускаемых марок полиэтилена представлены в таблице 1.

Таблица 1.

## Показатели качества выпускаемых марок полиэтилена высокого давления

Наименование показателя	Норма для марки					
	15303-003			15803-020		
	Высший сорт	1-й сорт	2-й сорт	Высший сорт	1-й сорт	2-й сорт
1	2	3	4	5	6	7
1. Плотность, г/см <sup>3</sup> .	0,9205 ± 0,0015	0,9205 ± 0,0015	0,9205 ± 0,0015	0,9190 ± 0,002	0,9190 ± 0,002	0,9190 ± 0,002
2. Показатель текучести расплава (номинальное значение) с допуском, %, г/10 мин.	0,3 ± 30	0,3 ± 30	0,3 ± 30	2,0 ± 25	2,0 ± 25	2,0 ± 25
3. Разброс показателей текучести расплава в пределах партии, %, не более.	± 6	± 12	± 15	± 6	± 12	± 15
4. Количество включений, шт., не более.	2	8	30	2	8	30
5. Технологическая проба на внешний вид пленки.	А или В	В	С	А или В	В	С
6. Стойкость к растрескиванию, ч., не менее.	500	500	500	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется
7. Предел текучести при растяжении, Па (кгс/см <sup>2</sup> ), не менее.	98 * 10 <sup>5</sup> ( 100 )	98 * 10 <sup>5</sup> ( 100 )	98 * 10 <sup>5</sup> ( 100 )	93 * 10 <sup>5</sup> ( 95 )	93 * 10 <sup>5</sup> ( 95 )	93 * 10 <sup>5</sup> ( 95 )
8. Прочность при разрыве, Па (кгс/см <sup>2</sup> ), не менее.	137 * 10 <sup>5</sup> ( 140 )	137 * 10 <sup>5</sup> ( 140 )	137 * 10 <sup>5</sup> ( 140 )	113 * 10 <sup>5</sup> ( 115 )	113 * 10 <sup>5</sup> ( 115 )	113 * 10 <sup>5</sup> ( 115 )
9. Относительное удлинение при разрыве, %, не менее.	600	600	600	600	600	600
10. Массовая доля экстрагируемых веществ, %, не более.	0,4	0,6	0,6	0,4	0,6	0,6
11. Запах и привкус водных вытяжек, балл, не выше.	1	1	Не нормируется	1	1	Не нормируется

Далее представлены свойства ПЭВД, которые охватывают весь диапазон возможных выпускаемых базовых марок в мировом промышленном масштабе.

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	910-930
Характеристическая вязкость (ксилол, 85 <sup>0</sup> С), дл/г	1,5-0,8
Показатели текучести расплава (190 <sup>0</sup> С, масса груза 2,16кг), г/10мин.	0,2-70
Степень кристалличности, %	43-34
Прочность при разрыве, МПа	17-6
Прочность при изгибе, МПа	20-17
Прочность при срезе, МПа	17-14
Относительное удлинение при разрыве, %	800-150
Стойкость к растрескиванию под напряжением от более 100 (20%-ый водный раствор ОП-7, 50 <sup>0</sup> С), ч	До 0,25
Твердость по вдавливанию шарика, МПа	17-25
Модуль упругости при изгибе, МПа	260-88
Температура плавления, <sup>0</sup> С	110-103
Температура хрупкости, <sup>0</sup> С	От -120 до -45
Теплопроводность, Вт/(мК)	0,33-0,36
Удельная теплоемкость (20-25 <sup>0</sup> С), Дж/(кг · К)	1,88-2,51
Температурный коэффициент линейного расширения (0-100 <sup>0</sup> С), <sup>0</sup> С <sup>-1</sup>	2,1 · 10 <sup>-4</sup> -5,5 · 10
Водопоглощение за 30 сут при 20 <sup>0</sup> С, %	0,020

### **1.2.2 Характеристика исходного сырья, материалов, полупродуктов.**

Этилен – бесцветный горючий газ со слабым запахом. Частично растворим в воде (25,6 мл в 100 мл воды при 0 °С), этаноле (359 мл в тех же условиях). Хорошо растворяется в диэтиловом эфире и углеводородах. 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.

Свойства этилена:

Молекулярная масса	28,06
--------------------	-------

Физическое состояние	Газ
Температура кипения, °С	-103,71
Критическая температура, °С	9,50
Критическое давление, МПа	5,064
Критическая плотность, кг/м <sup>3</sup>	223
Область воспламенения в воздухе, % (об.)	2,8-36,35
Температура самовоспламенения, °С	540

В России этилен выпускается по ГОСТ 25070–81. Этилен высшего сорта, используемый в производстве полиэтилена, имеет следующий объемный состав, %

Этилен, не менее	99,9
Пропилен, не более	0,005
Метан и этан, не более	0,10
Ацетилен, не более	0,001
Водород, не более	0,001
Диоксид углерода, не более	0,0005
Оксид углерода, не более	0,0005
Серосодержащие соединения (в пересчете на серу), мг/м <sup>3</sup> , не более	2,0
Вода (массовая доля), не более	0,001
Диеновые углеводороды (пропадиен и бутадиен), не более	0,0005
Кислород, не более	0,0002
Аммиак, не более	0,0001
Метанол, не более	0,001

Для полимеризации требуется этилен высокой степени чистоты, так как даже небольшие примеси могут повлиять на процесс и свойства получаемой продукции. Например, метан и этан снижают молекулярную массу, что увеличивает текучесть расплава, некоторые примеси тормозят реакцию полимеризации, а содержание кислорода может вызвать неуправляемую реакцию.

Пропилен используется в качестве модификатора, то есть агента передачи цепи. Это не влияет на скорость процесса, но оказывает влияние на молекулярные и структурные характеристики полиэтилена, образовавшегося в процессе.

Пропилен  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$  представляет собой газообразное вещество с низкой температурой кипения. Обычно пропилен выделяют из газов нефтепереработки (при крекинге сырой нефти в кипящем слое (процесс фирмы BASF), пиролизе бензиновых фракций) или попутных газов, а также из газов коксования угля. Промышленным способом получения пропилена наряду с крекингом служит дегидратация пропанола над оксидом алюминия.

Свойства пропилена:

Молекулярная масса	42
Физическое состояние	Газ
Температура кипения, °С	-47,7
Критическая температура, °С	92
Критическое давление, МПа	4,54
Критическая плотность, кг/м <sup>3</sup>	233
Область воспламенения в воздухе, % (об.)	2,3-11,1
Температура самовоспламенения, °С	458
Предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>	300

По физико-химическим показателям пропилен должен соответствовать нормам, указанным ниже:

Пропилен, не менее	99,0
Этилен, не более	0,005
Ацетилен и метилацетилен не более	0,001
Углеводороды $\text{C}_4$ не более	0,002
Диеновые углеводороды не более	0,001
Кислород не более	0,001
Водород не более	0,001
Диоксид углерода не более	0,001

Оксид углерода	0,0005
Серосодержащие соединения (в пересчете на серу) не более, мг/м <sup>3</sup>	1
Вода (массовая доля), не более	–
Этан, пропан, азот, не более	0,2

Инициаторы – это вещества, легко поддающиеся гомолитическому распаду на радикалы. К ним относятся соединения, содержащие лабильные связи О-О, N-N, С-N, и различные пероксиды. Так же в качестве инициатора используется молекулярный кислород.

Наиболее используемые пероксиды:

1. Тригонокс-В, ди-трет-бутилпероксид –  $(\text{CH}_3)_3\text{C-O-O-(CH}_3)_3$  бесцветная жидкость. Растворим в ацетоне, толуоле, не растворим в воде. Содержание активного кислорода 12,5%. Взрывоопасен: ТНТ-эквивалент - 0,38. Получают действием Действием изобутилена или *трет*-бутилового спирта на  $\text{H}_2\text{O}_2$  или гидроперекись *трет*-бутила в присутствии концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; действием калий-*трет*-бутилгидропероксида в спиртовом растворе на *трет*-бутилбромид.

2. Тригонокс-42S, трет-бутил-перокси-3,5,5-триметилгексаноат  $(\text{CH}_3)_3\text{C-CH}_2\text{-CH(CH}_3\text{)-CH}_2\text{-CO-O-O-C(CH}_3\text{)}_3$

3. Тригонокс-С, *трет*-бутилпероксибензоат – бесцветная жидкость. Растворим в органических растворителях, не растворим в воде. Содержание активного кислорода 8,24%.  $T_{\text{вспк}}$  65,5° (открытая чашка), 18,8° (закрытая чашка). При комнатной температуре стабилен. Летучесть при 20° 530 мг/м<sup>3</sup>. Гидролизуется щелочными растворами. ТНТ-эквивалент = 0,40. Получают взаимодействием бензоилхлорида с гидроперекисью *трет*-бутила в щелочной среде. Выпускается в чистом виде, в виде раствора в уайтспирите или диметилфталате.

### 1.3 Физико-химические основы процесса.

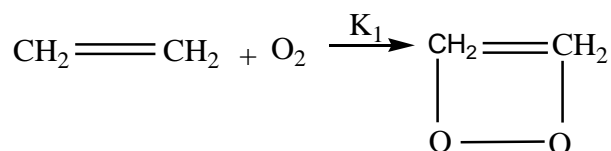
#### 1.3.1 Механизм процесса.



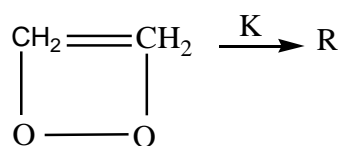
Полимеризация этилена под высоким давлением является типичным радикальным процессом, но со своими особенностями, связанными с природой мономера и условий реакции. Полимеризация этилена состоит из трех основных стадий: инициирование, рост цепи и обрыв цепи. Помимо этих стадий проходят побочные реакции, такие как передача цепи на мономер.

В качестве инициаторов применяются молекулярный кислород или органические пероксиды.

1 стадия – инициирование – состоит в образовании активных радикалов:

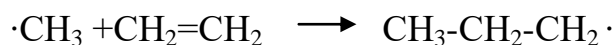


При температуре выше 150 °С пероксидные соединения распадаются, образуя радикалы, к которым присоединяются молекулы мономеров.



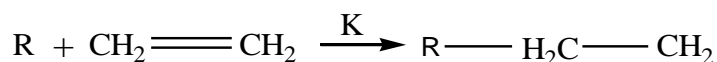
В зависимости от давления, температуры и состава смеси скорости каждой реакции могут различаться. Инициаторы разлагаются при соответствующих температурах и образуют два радикала.

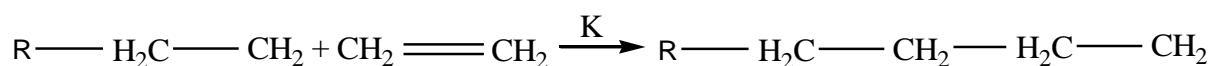
Присоединение этилена к новообразованному радикалу является началом реакции, в результате которой образуется новый радикал.



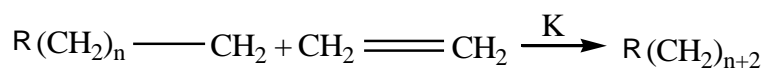
Скорость общей реакции определяется скоростью распада инициатора, так как скорость последней реакции значительно выше скорости распада пероксида.

2 стадия – рост цепи – быстрое последовательное присоединение молекул этилена к радикалу.



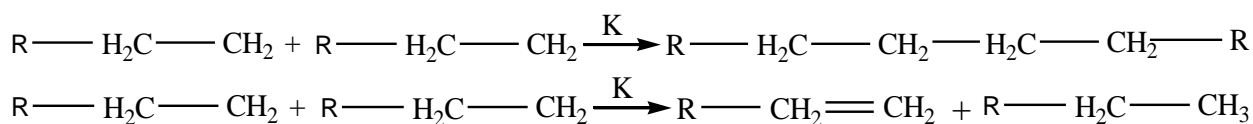


В общем виде:

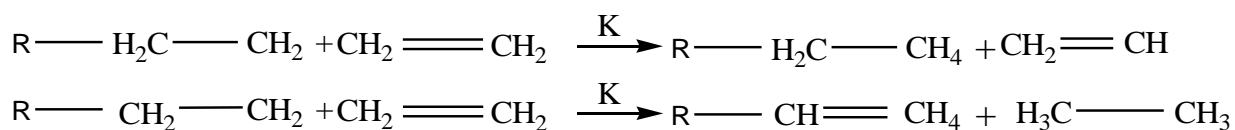


Скорость данной стадии почти равна общей скорости полимеризации из-за того, что количество образовавшегося полимера равно количеству израсходованного мономера.

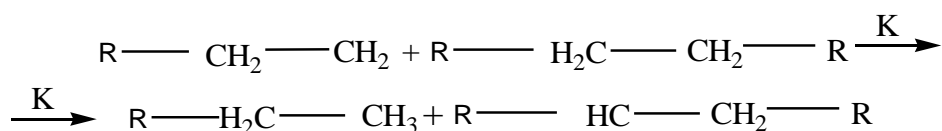
3 стадия – обрыв цепи – взаимодействие двух растущих радикалов с образованием одной или двух неактивных молекул полиэтилена рекомбинацией или диспропорционированием:



Стадия передачи цепи на мономер.

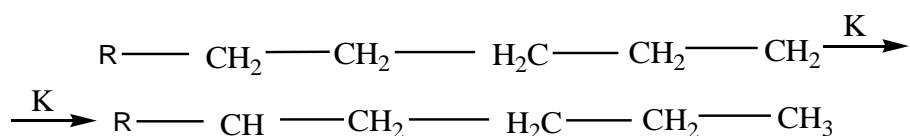


Межмолекулярная передача цепи на полимер.



Вторичные радикал может дальше участвовать в росте цепи с образованием длинноцепных ответвлений.

Внутримолекулярная передача цепи на полимер.



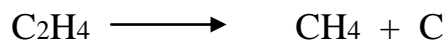
При такой реакции образуются короткие цепные ответвления.

Помимо этих реакций в процессе производства происходят реакции разложения в реакторах, реакции деструкции, то есть сшивание полиэтилена.

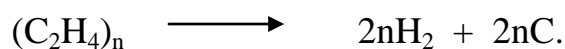
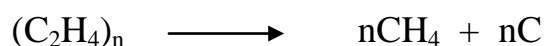
Эти реакции плохо влияют на весь процесс производства, снижая качество полиэтилена, а так же приводят к нарушениям производственным работ.

#### Реакция разложения.

Компримированный этилен при высокой температуре разлагается на углерод, водород и метан.



Такие же реакции протекают при разложении полиэтилена.



Эти реакции экзотермичны. При разложении всегда образуется смесь метана, водорода и углерода, причем доля водорода тем выше, чем более интенсивно разложение, так как с ростом температуры изменение энергии Гиббса для реакции. Опыт эксплуатации установок полимеризации этилена показывает, что разложению всегда предшествует повышение температуры в результате ускорения процесса полимеризации и превышения тепловыделения над теплоотводом.

#### Реакция деструкции (сшивание полиэтилена).

Деструкция полимеров — разрушение молекул полимеров под действием тепла, кислорода, света, механических напряжений, биологических факторов. В процессе деструкции происходит разрыв химических связей в макромолекулах, уменьшается степень полимеризации и молекулярная масса полимера. Изменение строения полимера приводит к изменению его физических и химических свойств, то есть к старению полимеров. Помимо разрыва химических связей, происходят сшивание, образование двойных связей и свободных радикалов. Сшитый полимер в виде отложения остается на стенках реактора, отделителя высокого давления и особенно низкого давления.

### **1.3.2 Термодинамика процесса полимеризации.**

Основными термодинамическими характеристиками химической реакции являются изменение энергии Гиббса  $\Delta G$  и тепловой эффект реакции  $\Delta H$ , которые связаны соотношением:

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S,$$

где  $\Delta H$  – изменение энтальпии системы,

$T$  – абсолютная температура,

$\Delta S$  – изменение энтропии системы.

Предельная температура поляризации этилена значительно выше таковой для других мономеров. Эта термодинамическая особенность позволяет проводить промышленный синтез полиэтилена при температурах выше  $300^{\circ}\text{C}$ .

Термодинамические характеристики элементарных реакций полимеризации этилена:

	$\Delta G$ , кДж/моль	$\Delta H$ , кДж/моль
Рост цепи	-51,2	-93,6
Обрыв цепи рекомбинацией	-248	-302
Обрыв цепи диспропорционированием	-215	-221
Передача цепи на мономер	+54,6	+53,6
Внутримолекулярная передача цепи	-16,4	-17,7
Передача цепи на мономер	-40,8	-43,2

Тепловые эффекты и изменения энергий Гиббса согласуются с механизмом и кинетикой элементарных реакций полимеризации этилена. Так же благодаря термодинамике можно объяснить почти отсутствие передачи цепи на мономер и интенсивную передачу цепи на полимер, в том числе и образование третичных полимерных радикалов.

### 1.3.3 Кинетика полимеризации.

Полимеризация этилена при высоком давлении протекает по обычным закономерностям реакции полимеризации винильных соединений, протекающей по свободно-радикальному механизму. Особенностью полимеризации этилена, инициированной свободными радикалами,

заключается в том, что полиэтилен с высоким молекулярным весом получается лишь при высоких концентрациях мономера. При малых концентрациях этилен присоединяется к свободным радикалам, но с реакцией их роста конкурируют реакции дезактивации свободных радикалов, и образующийся полимер имеет невысокий молекулярный вес.

Скорость реакции зависит от количества кислорода в газе, который является инициатором полимеризации. Но помимо этого влияние оказывает температура и давление, что приводит к сложной зависимости.

Так каждому значению температуры и давления будет соответствовать определенное количество кислорода в газе, при котором выход полимера будет максимальным:

Таблица 2.

Зависимость содержания кислорода от температуры и давления

Температура, °С	Давление, атм.	Содержание кислорода, %
160	1000	0,023
160	1150	0,026
160	1350	0,021
170	1150	0,022

Если концентрация кислорода слишком высока, то этилен будет разлагаться с взрывом на углерод, водород и метан.

Процесс полимеризации этилена можно описать следующими кинетическими зависимостями.

1. Скорость разложения инициатора:

$$V_{рас} = k_{рас} [I],$$

где  $k_{рас}$  – константа скорости распада инициатора,  $[I]$  – концентрация инициатора.

Так как при распаде одной молекулы инициатора возникают два радикала, их скорость можно представить как  $V_{иниц} = 2k_{рас} [I]$ .

С учетом эффективности инициирования уравнение скорости инициирования будет иметь вид:

$$V_{иниц} = 2fk_{рас}[I],$$

где  $f$  – эффективность инициирования.

2. Скорость роста цепи описывается уравнением:

$$V_p = k_p[M'] \cdot [M],$$

где  $V_p$  – скорость роста цепи,  $k_p$  – константа роста цепи,  $[M]$  – концентрация мономера,  $[M']$  – концентрация растущих радикалов.

3. Скорость обрыва цепи:

$$V_0 = k_0[M']^2,$$

где  $V_0$  – скорость обрыва цепи,  $k_0$  – константа скорости обрыва цепи,  $[M']$  – концентрация растущих макрорадикалов.

4. Скорость передачи цепи на мономер:

$$V_{пм} = k_{пм}[M'] \cdot [M],$$

где  $V_{пм}$  – скорость передачи цепи,  $k_{пм}$  – константа скорости передачи цепи,  $[M]$  – концентрация мономера,  $[M']$  – концентрация макрорадикалов.

В ходе полимеризации скорость изменения концентрации радикалов быстро приближается к нулю, а это равносильно тому, что скорость инициирования и скорость обрыва цепи равны между собой. Следовательно, уравнение скорости полимеризации:

$$V_n = k_p \left( \frac{f \cdot k_{рас}}{k_0} \right)^{1/2} [I]^{1/2} [M]$$

Длину кинетической цепи можно выразить уравнением, она пропорциональна квадрату концентрации мономера и обратно пропорциональна скорости полимеризации:

$$P = \frac{k_p^2}{2 \cdot k_0} \cdot \frac{[M]^2}{V_p}$$

Среднечисловая степень полимеризации описывается уравнением:

$$P = \frac{V_p}{V_{o.p.} + V_{o.d.} + V_n},$$

где  $V_{o.p.}$  – скорость реакции обрыва цепи рекомбинацией,

$V_{o.d.}$  – скорость реакции обрыва цепи диспропорционированием.

В реакторах полимеризации в условиях быстрого распада инициатора, высокого давления и при непрерывной работе устанавливается стационарный режим.

Превращение этилена за один проход выражается уравнением:

$$\alpha = k[I_p]^n P^m \frac{1}{V},$$

где  $k$  – эффективная константа полимеризации, зависящая от температуры.

Основываясь на материальный баланс, концентрацию инициатора можно вычислить, используя уравнение:

$$I_p = \frac{Q}{Q + k_g V} I_0$$

где  $Q$  – количество подаваемого газа, м<sup>3</sup>/ч;  $I_p$  – концентрация инициатора в реакторе, моль/л;  $I_0$  – концентрация инициатора во входящем потоке (начальная), моль/л;  $V$  – объем реактора;  $t$  – время, ч.

Общую энергию активации описывается как:

$$E_{общ} = 1/2 E_{расп} + E_{р.ц.} - 1/2 E_{o.ц.}$$

Для большинства пероксидов энергия активации распада составляет 125 кДж/моль, энергия активации роста 25 кДж/моль, энергия активации обрыва 8 кДж/моль. Отсюда следует, что общая энергия активации реакции полимеризации этилена будет равна:  $E_{общ} = 125/2 + 25 - 8/2 = 83,5$  кДж/моль.

#### **1.3.4 Влияние основных параметров на процесс полимеризации.**

Можно выделить несколько отличительных особенностей полимеризации ПЭВД:

- Высокое давление 100 – 350 МПа (1000-3500 кгс/см<sup>2</sup>) и температура 423-573 К (150-300 °С);
- Большая скорость полимеризации и выделение в зоне реакции большого количества тепла (тепловой эффект 3,55 кДж/кг);

- При некоторых условиях в реакторе происходит разделение двух фаз – этилена и полиэтилена;
- При недостаточно быстром отводе тепла из зоны реакции температура в реакторе быстро повышается и происходит разложение этилена со скоростью взрыва, с образованием метана, водорода и сажи.

### **Влияние давления.**

Концентрация этилена повышается с увеличением давления. При большом давлении его плотность может достигать в среднем  $450 \text{ кг/м}^3$ . Концентрация этилена не является линейной функцией давления, поэтому ее необходимо определять, основываясь на его плотности при нужном давлении и температуре.

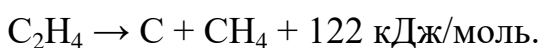
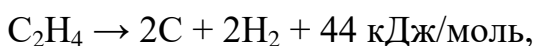
С повышением давления снижаются все скорости реакции передачи цепи. Так же это хорошо влияет на образование полиэтилена большой плотности и благодаря этому растет молекулярная масса.

Кроме того этот фактор влияет на строение полимера. Чем больше давление, тем меньше становится разветвленность и содержание непредельных групп.

### **Влияние температуры.**

С повышением температуры скорость роста цепи увеличивается меньше, чем скорость реакций передачи цепи и распада инициатора, что приводит соответственно к увеличению степени разветвленности (того и другого типа) и уменьшению молекулярной массы.

Эффективность применяемых инициаторов колеблется в пределах от 0,5 до 1,0. в связи с тем, что реакция полимеризации этилена экзотермична, возможны случаи, когда процесс выходит из-под управления и повышение температуры может превысить критическое значение – произойдет термическое разложение:





Из-за экзотремичности реакции происходит резкое повышение температуры в реакторе, что приводит к резкому подъему давления. Скорость реакции полимеризации возрастает, причем скорость передачи цепи растет быстрее, чем скорость роста. Масса полимера снижается, так же падает плотность продукта.

Для регулирования температуры необходимо следить за количеством подаваемого инициатора и давлением этилена.

### **Влияние фазового состояния реакционной системы**

В процессе полимеризации этилен и полиэтилен могут составлять как одну, так и две фазы. Этот фактор зависит от давления, температуры, а так же количества полимера.

Когда реакционная смесь расслаивается, то кинетика реакции меняется. Так как концентрации мономеров, инициатора, регулятора и полимера зависят от взаимной растворимости обеих фаз. Так же это приводит к отложению полимера на стенках реактора, а это плохо влияет на передачу тепла и может привести к взрывообразному разложению этилена.

Кроме того, фазовое состояние оказывает влияние на свойства продукта полимеризации.

Если в гомофазной системе в процессе роста цепи образуются молекулы с малым количеством коротких боковых ответвлений, то в гетерофазной системе преобладают молекулы с длинными боковыми ветвями. Так же может образоваться частично сшитый полимер с большой молекулярной массой, что снижает качество продукта.

Скорость реакции при гомофазной полимеризации значительно выше, чем при гетерофазной.

### **Влияние инициатора**

Инициатор должен хорошо растворяться в растворителях, обладать стабильностью при хранении и безопасностью при работе. Инициаторы подразделяются на низкотемпературные (140 - 180 °C), среднетемпературные (180 - 260 °C) и высокотемпературные (200 - 280

<sup>0</sup>С). Его расход зависит от давления, скорости подачи исходного сырья, а так же скорости перемешивания.

### **Влияние модификаторов.**

Для того, что получить полиэтилен с заданными свойствами, необходимо подбирать агенты передачи цепи, которые будут влиять на молекулярную массу и структуру полимера должным образом.

### **1.4. Выбор и обоснование конструкции основного аппарата.**

В современной промышленности основу производства полиэтилена составляют трубчатые реактора с высокой степенью производительности. Они представляют собой последовательно соединенные теплообменники типа «труба в трубе» с диаметром трубки реактора от 34 до 75 мм. Общая длина зоны реакции может составлять от 350 до 1500 м. Чтобы поддерживать температурный режим в реакторе, а так же чтобы обеспечить эффективный съем тепла, проводится дополнительный ввод этилена и инициатора в разные зоны реактора.

Существуют однозонные и многозонные реактора. Вторые являются наиболее производительными. Так при максимальной температуре реакции однозонный реактор может обеспечить около 16 % превращения, в то время как в двухзонном достигается в среднем 23 %, а в трехзонном показатель превращения повышается до 30 %.

Реакционная масса в таких реакторах движется в одном направлении. Единичная мощность полимеризаторов трубчатого типа достигает 120000 т/год.

На температурный профиль при одном и том же инициаторе влияет скорость реакции и интенсивность отвода тепла из реакционных зон.

### 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

#### 3.1 Предпроектный анализ

Целью экономического расчёта является определение расходов на производство полиэтилена с учетом увеличения мощности, рассчитать себестоимость на производство 100 тыс тонн полиэтилена и сравнить её с себестоимостью на 120 тыс. тонн полиэтилена.

Продукт: полиэтилен высокого давления.

Целевой рынок: пищевая промышленность (упаковка, посуда, пленка), электротехническая и энергетическая промышленность (кабеля с повышенной морозостойкостью и пожаробезопасностью), строительная промышленность (облицовочный материал), товары народного потребления.

#### 3.2 SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
<b>Внутренняя среда</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Наличие собственного производства</li> <li>Наличие патентов</li> <li>Широкие области применения продукция.</li> <li>Известность рынка, развитая сбытовая сеть</li> <li>Команда высококвалифицированных специалистов</li> <li>Возможность расширения производства</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Устаревшие основные фонды</li> <li>Наличие элементов экологической опасности производства</li> <li>Неустойчивое финансовое положение предприятия</li> <li>Слабая маркетинговая политика, и как следствие неритмичность и непредсказуемость получения заказов</li> <li>Стандартные методы продвижения на рынке</li> </ol>
<b>Внешняя среда</b>	<p><b>Возможности</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Создание новых технологий получения целевого продукта</li> <li>Возможность расширить ассортимент продукции для удовлетворения запросов потребителей в более широком диапазоне</li> <li>Развивающиеся конкурентные отношения</li> <li>Выход на новые рынки в новых географических районах</li> <li>Сокращение численности безработных</li> </ol>	<p><b>Угрозы</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Поглощение более крупной компанией</li> <li>Появление на рынке более дешевых аналогов продукции</li> <li>Высокие импортные пошлины</li> <li>Трудности поставки сырья</li> <li>Политическая нестабильность</li> <li>Неблагоприятное изменение курсов иностранных валют и политики иностранных правительств в области внешней торговли</li> <li>Дефицит молодых специалистов</li> </ol>

<b>Сильные стороны</b>	<b>СИВ</b>	<b>СИУ</b>
1. Наличие собственного производства	1. Дифференциация хозяйственного портфеля	1. Нарботка и укрепление конкурентных

2. Наличие патентов 3. Широкая область применения 4. Известность рынка, развитая сбытовая сеть 5. Команда высококвалифицированных специалистов 6. Возможность расширения производства	2. Выход на новые рынки 3. Разработка комплекса маркетинга «4Р» для каждого сегмента 4. Повышение рентабельности активов	преимуществ готового продукта 2. Укрепление имиджа предприятия 3. Поиск оптимального поставщика
<b>Слабые стороны</b>	<b>СЛиВ</b>	<b>СЛиУ</b>
1. Устаревшие основные фонды 2. Наличие элементов экологической опасности производства 3. Неустойчивое финансовое положение предприятия 4. Слабая маркетинговая политика, и как следствие неритмичность и непредсказуемость получения заказов 5. Стандартные методы продвижения на рынке	1. Модернизация оборудования 2. Проведение анализа окружающей среды на наличие вредных веществ 3. Активные продажи 4. Изучение рынков 5. Применение нестандартных методов продвижения на рынке	1. Модернизация оборудования 2. Проведение анализа окружающей среды на наличие вредных веществ 3. Активные продажи 4. Изучение рынков 5. Применение нестандартных методов продвижения на рынке 6. Нарботка и укрепление конкурентных преимуществ готового продукта 7. Укрепление имиджа предприятия 8. Поиск оптимального поставщика

### **3.3. Расчет производственной мощности и производственной программы.**

Производственная мощность – это максимально возможный выпуск продукции в определенной номенклатуре и ассортименте при наиболее полном использовании в течение года оборудования и производственных площадей, применении прогрессивных технических норм производительности оборудования и удельных норм расхода сырья и материалов. Под производственной мощностью оборудования следует понимать его максимальную способность выпускать продукцию за определенный календарный период времени при наилучших организационно-технических

условиях. Производственная мощность выражается количеством выпускаемой продукции и измеряется в натуральных единицах.

Все аппараты цехов химических предприятий делятся на несколько групп:

1. основное оборудование;
2. вспомогательное оборудование;
3. аппараты, выполняющие подготовительные функции.

Поскольку производственный процесс является непрерывным, на предприятии планируется общая остановка на капитальный ремонт.

Расчет производственной мощности осуществляется по формуле:

$M = P_{\text{час}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot n$ , где  $P_{\text{час}}$  – часовая производительность ведущего оборудования, кг/час;

$P_{\text{час}} = 15625$  кг/ч из данных материального баланса;

$T_{\text{эфф}}$  – эффективное время работы оборудования за год по выпуску данного вида продукции, час;

Расчет эффективного времени работы оборудования за год по выпуску данного вида продукции осуществляется по формуле:

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{н}} - T_{\text{ппр}},$$

где  $T_{\text{н}}$  – номинальный фонд рабочего времени оборудования,  $T_{\text{н}} = 365$  дней;  $T_{\text{ппр}}$  – время простоя в ремонтах за расчетный период, которые определяются из графика ППР;

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

График ППР для ведущего оборудования

Таблица 18

Наименование оборудования		Месяцы												Простой, дней	Длительность работы, ч
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Установка получения полиэтилена	А	5			3		34			3				45	7680
	Б		5			3	34					3		45	7680

$$T_n = 365 \text{ дней} = 8760 \text{ часов};$$

$$T_{ппр} = 45 \text{ дней} = 1080 \text{ часов};$$

$$T_{эфф} = 8760 - 1080 = 7680 \text{ часов};$$

Период времени между двумя капитальными ремонтами называется ремонтным циклом; количество и последовательность входящих в него ремонтов и осмотров составляет его структуру. Время между двумя смежными ремонтами называется межремонтным периодом.

По нормативам определяют общее количество ремонтов за год для каждой единицы оборудования по каждому виду ремонта в отдельности и затем, на основе проведенных расчетов, строят график ППР, представляющий собой таблицу, в которой отражается распределение всех видов ремонта по месяцам в течение года и последовательность их проведения для однотипного оборудования. Из графика ППР определяются простои на ремонты и длительность оборудования за вычетом их. Нормативы ППР приведены в таблице 19.

Таблица 19

Оборудование	Длительность работы между кап.ремонтами, ч	Длительность простоя в ремонте, ч
Установка получения полиэтилена	7680	1080

$$M = P_{\text{час}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot n = 15625 \cdot 7680 \cdot 1 = 120000 \text{ м / г.}$$

Таблица 20

Производственная программа выпуска продукции.

Наименование показателя	Величина показателя по годам	
	2015	2016
Этапы загрузки мощности, %	100	120
Объем производства, тыс.т/год	100	120
Цена за единицу продукции, руб./т	37640,00	37640,00

Объем продаж, тыс.руб.	37640000	45168000
------------------------	----------	----------

### 3.4 Расчет годового фонда заработной платы персонала установки

На предприятиях химической промышленности в зависимости от условий труда и степени вредности производства длительность рабочего дня составляет 12 часов. Поэтому возникает потребность в организации постоянной работы. Для этого на заводе организована 2-х сменная работа и составляется график сменности, т.к. работает 4 бригады (А, Б, В, Г) с дополнительными днями отдыха.

Таблица 21

График сменности рабочих

Смена	Время	Дни выходов																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1	8-20	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А	
2	20-8	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	
Отсыпной			Г		В		Б		А		Г		В		Б		А		Г		
Выходной		В																			
		А	А	Г	Б	Г	В	А	В	Г	Б	Б	В	А	Г	Б	Г	В	А	Г	Б

Из графика сменности можно рассчитать величину

сменооборота:

$$T_{см-о} = a \cdot b,$$

где  $T_{см-о}$  - длительность сменооборота;

$a$  - количество бригад;

$b$  - количество дней, в течение которых бригада работает одну

смену.

$$T_{см-о} = 4 \cdot 2 = 8 \text{ дней}$$

Сменооборот позволяет нам определить количество выходных

дней:

$$T_{вых} = \frac{T_{кал}}{T_{см-о}} \cdot n,$$

где  $T_{вых}$  - количество выходных за год;

$T_{кал}$  - время календарное;

$n$  - количество выходных за один сменоборот.

$$T_{\text{вых}} = \frac{365}{8} \cdot 2 = 91 \text{ день}$$

Зная количество выходных за год, можно определить эффективное время работы за год:

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{отп}} - T_{\text{нев}},$$

где  $T_{\text{эфф}}$  - эффективное время рабочего;

$T_{\text{нев}}$  - количество невыходов.

$$T_{\text{эфф}} = 365 - 91 - 31 - 10 = 233 \text{ дня}$$

Рассчитаем количество эффективного времени в часах:

$$T_{\text{эфф}} = 233 \cdot 12 = 2796 \text{ часов}$$

### Баланс времени одного среднесписочного рабочего на год при 12-ми часовом рабочем дне и 4-х бригадном графике

Таблица 22

Показатели	Дней	Часов
1. Календарный фонд рабочего времени	365	4380
2. Нерабочие дни:		
выходные	91	1092
праздничные дни	10	132
3. Номинальный фонд рабочего времени	274	3288
4. Планируемые выходные:		
отпуск	31	372
невыходы по болезни	10	120
отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	-	-
5. Эффективный фонд рабочего времени	233	2796

Количество производственного персонала, работающего посменно:

- явочная численность:  $H_{\text{яв}} = H_{\text{штат}} \cdot S,$

где  $H_{\text{штат}} = 4$  человек - штатное количество человек, работающих в смену;

$S=2$  - число смен в сутки.

Тогда явочная численность равна:  $H_{\text{яв}} = 2 \cdot 4 = 8$  человек.



– списочная численность:

$$N_{\text{чис}} = \frac{N_{\text{яв}} \cdot T_{\text{эфф.обор.}}}{T_{\text{эфф.раб.}} \cdot S},$$

где  $T_{\text{эфф.обор.}}$  - эффективный фонд рабочего времени оборудования, час ;  
 $T_{\text{эфф.раб.}}$  - эффективный фонд работы одного среднесписочного рабочего, час .

Тогда списочная численность равна:

$$N = \frac{1150 \cdot 8}{2796 \cdot 2} = 22,9 = 23 \text{ человека}$$

Структура промышленного производственного персонала установки по производству полиэтилена.

Таблица 23

№ п/п	Группы ППП	Количество человек
1	ИТР	3
2	Основные рабочие: - операторы	16
3	Вспомогательные рабочие: - слесари ремонтники;	2
4	МОП	2
	<b>Итого по установке</b>	<b>23</b>

Тарифная заработная плата включает в себя:

$ZП_{\text{тар}} = T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{эфф}}$ , где  $T_{\text{ст}}$  - тарифная ставка данной категории рабочих;  $T_{\text{эфф}}$  - эффективное годовое время одного среднесписочного работника.

Тарифный коэффициент рабочих цеха представлен в таблице 7.

Таблица 24

Часовая тарифная ставка рабочих

Категории рабочих	Часовая тарифная ставка, руб.	
	5 разряд	6 разряд
1. Оператор технологической	40	45

установки		
2. Слесарь ремонтник	-	45

Премииальные рассчитывается по формуле:

$$D_{\text{прем}} = 0,3 \cdot Z_{\text{тар}}$$

Доплата за работу в ночное время определяется по формуле:

$$D_{\text{н.вр}} = 0,4 T_{\text{см}} t_{\text{н.вр}}, \text{ где } t_{\text{н.вр}} - \text{ время ночной работы, которое для}$$

каждого рабочего в год составляет 1092 часа .

Доплата за работу в праздничные дни определяется по формуле:

$$D_{\text{пр}} = T_{\text{пр}} \cdot T_{\text{см}} \cdot H_{\text{яв}}, \text{ где } T_{\text{пр}} - \text{ количество часов, отработанных}$$

в праздник;  $H_{\text{яв}}$  - явочная численность рабочих.

Доплата из фонда мастера рассчитывается по формуле:

$$D_{\text{бр}} = 0,15 \cdot ЗП_{\text{тар}}$$

Зарботную плату рабочих за год определяется по формуле:

$$\Phi ЗП_{\text{год}} = (ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}}) \cdot K_p, \text{ где } ЗП_{\text{осн}} - \text{ плата за труд;}$$

$ЗП_{\text{доп}}$  - дополнительная плата за нерабочее время;

$K_p$  - районный коэффициент (для Томска он равен 1,3).

$$ЗП_{\text{осн}} = ЗП_{\text{тар}} + D_{\text{прем}} + D_{\text{н.вр.}} + D_{\text{праз}} + D_{\text{бр}}$$

$$ЗП_{\text{доп}} = (t_{\text{отп}} + t_{\text{зос.об}} + t_{\text{уч}}) \cdot ЗП_{\text{осн}} / T_{\text{эфф}}, \text{ где } ЗП_{\text{тар}} - \text{ зарплата по}$$

тарифу;

$D_{\text{прем}}$  - доплата премиальная;

$D_{\text{н.вр.}}$  - доплата за ночное время;

$D_{\text{праз}}$  - доплата за работу в праздничные дни;

$D_{\text{бр}}$  - доплата за бригадирство.

Начисления на зарплату за год определяется по формуле:

$$H_{\text{зач.}} = (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) / 100 \cdot 26$$

Заработная плата рабочих установки по производству полиэтилена, рассчитанная по формулам, изложенным выше, представлена в таблице 25.

Таблица 25

## Заработная плата рабочих на установке

Категории рабочих	Количество человек	ЗП тар	Д прем	Д н.вр	Д празд	Д фм	Д бр	ЗП осн	ЗП доп	ЗП год	ЗП с учетом районного коэффициента	ЗП с учетом численности	Начисления на зарплату
<b>Основные рабочие:</b>													
1. Оператор технологической установки:													
- 5-го разряда	12	111840	33552	17472	42240	3355,2	–	208459,2	36681,6	245140,8	318683	3824196	63736,6
- 6-го разряда	4	125820	37746	19656	47520	3774,6	–	234516,6	41266,9	275783,5	358518,5	1434074	71703,7
Сумма:												<b>5258270</b>	<b>135440,3</b>
<b>Вспомогательные рабочие:</b>													
2. Слесарь ремонтник 6-го разряда	2	125820	37746	19656	47520	3774,6	–	234516,6	41266,9	275783,5	358518,5	551567	71703,7
Сумма:												<b>551567</b>	<b>71703,7</b>
Итого:	18	<b>363480</b>	<b>109044</b>	<b>54784</b>	<b>137280</b>	<b>10904,4</b>	–	<b>677582,4</b>	<b>119215,4</b>	<b>796707,8</b>	<b>1035720</b>	<b>5809837</b>	<b>207144</b>

### 3.4.1 Расчет заработной платы ИТР

Примем, ИТР в количестве 3 человек работают только в день.

Расчет ЗП ИТР(оклад 10000 руб/мес), проводим аналогично расчету ЗП рабочих, принимая для них тот же график работы и такое же эффективное время работы. Результаты расчета заработной платы ИТР приведены в таблице:

Таблица 26  
Заработная плата ИТР

Количество человек	ЗПтар	Д прем	Д н.вр	Д празд	ЗП осн	ЗП доп	ЗП год	ЗП с учетом районного коэффициента	ЗП с учетом численности	Начисления на зарплату
3	165168	46553,4	_	21978	233700	41123	274823	357270	<b>1071809,7</b>	<b>71453,98</b>

### 3.4.2 Расчет заработной платы МОП

Расчет ЗП МОП (оклад 5500 руб/мес) производим по тем же формулам, что использовались при расчете ЗП основных рабочих.

Результаты расчета приведены в таблице:

Таблица 27  
Заработная плата МОП

Количество человек	ЗПтар	Д прем	Д н.вр	Д празд	ЗП осн	ЗП доп	ЗП год	ЗП с учетом районного коэффициента	ЗП с учетом численности	Отчисления на социальные нужды
2	85278	25583,4	_	8052	118913,4	20924,7	139838,1	181789,5	<b>363579</b>	<b>36357,9</b>

Полученные расчеты представим в таблице 17.

Таблица 28  
Потребность в заработной плате.

Основные рабочие	Вспомогательные рабочие	ИТР	МОП	Сумма
<b>5258270</b>	<b>717037</b>	<b>1071809,7</b>	<b>363579</b>	<b>7410695,7</b>

### 3.5 Расчёт стоимости основных производственных фондов и амортизационных отчислений от них

Производственные фонды представляют собой совокупность средств труда, необходимых для осуществления непрерывного процесса производства. Производственные фонды обслуживают производство в течение длительного времени, они участвуют в

процессе производства продукции и переносят стоимость на готовый продукт по частям, по мере своего износа и не меняют своей натуральной формы.

Оборотные фонды в химической промышленности составляют 20 -25% от основных фондов.

Таблица 29  
Стоимость основных фондов.

Наименование	Стоимость, руб.	Нормы амортизации
Здания	700 000 000	5
Машины и оборудование	250 000 000	15
Приборы КИП и А, лабораторное оборудование	376 500 000	10,3
Инвентарь и инструменты	15 000 000	1,6
Итого	1 241 500 000	

Амортизационные отчисления от зданий:

$$A_{год} = 700000000 / 100 * 5 = 35000000$$

От машин и оборудования:

$$A_{год} = 250000000 / 100 * 15 = 37500000$$

От приборов КИП и А и лабораторий:

$$A_{год} = 376500000 / 100 * 10,3 = 38779500$$

От инвентаря и инструментов:

$$A_{год} = 15000000 / 100 * 1,6 = 240000$$

$$\text{Итого: } A_{год} = 152065000$$

Основные фонды представляют собой средства труда, которые многократно используются и не меняют натурально-вещественную форму. Основные фонды делятся на производственные (здания, сооружения, рабочие машины) и непроизводственные (жилые дома, больницы, детские сады).

1. Величина капитальных затрат на строительство здания может быть определена укрупнено:

$$C_{зд} = C_{1м^3} V_{зд}, \text{ где } C_{1м^3} - \text{ стоимость одного м}^3$$

производственного здания, руб/м<sup>3</sup>;  $V_{зд}$  - объем здания, м<sup>3</sup>.

$$C_{зд} = 2250 \cdot 10000 = 22500000 \text{ руб.}$$

2. Величина капитальных затрат на приобретение и монтаж оборудования может быть рассчитана, исходя из стоимости материалов на изготовление оборудования плюс дополнительные затраты на приобретение и монтаж оборудования.

### 3.5 Рабочие машины и оборудование

По данным Интернета находим стоимость трубчатого реактора, теплообменников и насосов записываем в таблицу

Таблица 30

наименование основных фондов	кол-во	стоимость, руб, С <sub>т.п.</sub>	Стоимость с учетом количества, руб.
Реактор трубчатый (блок)	2	9 000 000.	18 000 000
Теплообменники	10	250 000.	2 500 000
Насос	9	40 000.	360 000
Емкость	5	150 000	750 000
Сепаратор	8	450000	3 600 000
Итого:	34		25 210 000

Таблица 31

#### Расходы на наладку и монтаж оборудования

Наименование нормативов	% от стоимости материалов оборудования	Сумма, руб.
1. На устройство фундаментов	10	2 521 000
2. На технологические трубопроводы	20	5 042 000
3. На антикоррозионные работы	5	1 250 500
4. На кабельные разводки	5	1 250 500
5. На КИПиА	10	2 521 000
6. На монтаж оборудования	22	5 546 200
8. На вспомогательное оборудование	5	1 250 500
Итого:		13 139 620

Расчет необходимой массы исходного сырья, материалов и энергии.

$$C_{\text{ед.с.}} = C_{\text{ед.}} \cdot N_p,$$

где:  $C_{\text{ед.с.}}$  - стоимость сырья на единицу продукта, руб/т.

$C_{\text{ед.}}$  - цена за единицу сырья, руб.

Цена за единицу сырья взяты по данным предприятий «Томскводоканал» и «Томскэнерго».

$N_p$  - норма расхода сырья взята из данных ООО «Томскнефтехим»

$$N_{\text{с.вып}} = N_p \cdot M_{\Gamma},$$

где:  $N_{\text{с.вып}}$  - количество сырья на весь выпуск.

$M_{\Gamma}$  - годовая мощность выпуска продукта, 10000 тонн в год

$$C_{\text{с.вып}} = N_{\text{с.вып}} \cdot C_{\text{ед.с.}}$$

где:  $C_{\text{с.вып}}$  - стоимость сырья на весь выпуск, тыс. руб.



**Расчет необходимой массы исходного сырья, материалов и энергии на год.**

Таблица 32

Наименование сырья, материалов и энергии.	Цена за единицу сырья, руб.	Норма расхода сырья, ед./т.	Стоимость сырья на единицу продукта, руб./т.	Количество сырья на весь выпуск,		Стоимость сырья на весь выпуск, тыс. руб.	
				120	100	120	100
Этилен, т	11819,5	1,05	12410,47	126	105	1489256,4	1241047,5
Пропилен, т	15179,5	0,095	1442,05	11,4	9,5	173046	144205
Вспомогательное сырье	1069698,3	0,00249	2663,47	0,2988	0,249	319616,4	266355
Вода деминерализованная, т*м <sup>3</sup> .	16642	0,42	6989,64	50,4	42	838756,8	698964
Электроэнергия, кВт*ч.	1092,1	0.91	993,8	109,2	91	119256	99380
Пар, Гкал.	238,62	0.389	92,58	46,68	38,9	11109,6	9258
Вода обратная, т*м	577,1	0.48	277,008	57,6	48	33240,96	27700,8
Итого:						2984282,2	2486910,3

### 3.6 Планирование себестоимости продукции

#### Калькуляция себестоимости 1 тонны продукции

$N_{2015} = 100$  тыс.т/год,  $N_{2016} = 120$  тыс.т/год

Таблица 33

Калькуляция себестоимости

Наименование затрат	100000		120000	
	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
<b>Прямые переменные затраты</b>				
1.Сырье и материалы	16,516076	1651607,627	16,516076	1981929
2.Электроэнергия на технологические цели	8,353282	835328,218	8,3532822	1002394
<b>Итого переменные затраты:</b>	<b>24,869358</b>	<b>2486935,845</b>	<b>24,8693584</b>	<b>2984323</b>
<b>Постоянные затраты</b>				
<b>Заработная плата</b>				
1.1 Заработная плата основных работающих	0,05945349	5945	0,0495417	5945
1.2 Отчисления на социальные нужды основных рабочих	0,0180144	1801,44	0,015012	1801,44
<b>Общепроизводственные расходы</b>				
Заработная плата ИТР, МОП	0,01543201	1543,201	0,01286	1543,201
Отчисления на социальные нужды ИТР, МОП	0,0046759	467,59	0,0038966	467,59
амортизация	1,115195	111519,5	0,9293292	111519,5
ремонт	0,1313962	13139,62	0,1094968	13139,62
цеховая себестоимость	1,344167	134416,700	1,1201392	134416,700
общезаводские расходы (5% к цеховой себестоимости)	0,06720835	6720,835	0,056007	6720,835
коммерческие расходы (1% к заводской себестоимости)	0,000672084	67,20835	0,0005601	67,20835
<b>Итого постоянные затраты:</b>	<b>2,756214434</b>	<b>275621,1</b>	<b>2,2968425</b>	<b>275621,1</b>
<b>Полная себестоимость:</b>	<b>27,625573</b>	<b>2762557</b>	<b>27,166201</b>	<b>3259944</b>

### 3.7 Расчет цены

Цену 1 тонны продукта рассчитываем по формуле:

$C = C \cdot (1 + P/100)$ ; где  $P$  – рентабельность 20 %;  $C$  – себестоимость;

$$C_{100} = 27626 \cdot (1 + 20/100) = 33151 \text{ руб.}$$

$$C_{115} = 27166 \cdot (1 + 20/100) = 32599 \text{ руб.}$$

Цену одной тонны полиэтилена при производстве 120 тонн в год оставляем 33151 руб. за тонну.

Цену 120 тонн (выручка) продукта рассчитываем по формуле:

$$Ц_{\text{год}} = Ц \cdot Q; \text{ где}$$

$$Q_{2015} = 100 \text{ тыс.т. (объём продаж).}$$

$$Q_{2016} = 120 \text{ тыс.т. (объём продаж).}$$

$$V_{\text{реал.2015}} = 33151 \cdot 100 = 3315100 \text{ тыс. руб.}$$

$$V_{\text{реал.2016}} = 33151 \cdot 120 = 3978120 \text{ тыс. руб.}$$

### 3.8 Построение точки безубыточности.

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

2015 ГОД

$$U_{\text{пост}} = 2,756214434 \text{ тыс.руб.}$$

$$U_{\text{перем.}} = 24,869358 \text{ тыс.руб.}$$

$$Q = 100 \text{ тыс.т. (объём продаж).}$$

$$U_{\text{пост}} \cdot Q = 2,756214434 \cdot 100 = 275621,4434 \text{ тыс.руб.}$$

$$U_{\text{перем.}} \cdot Q = 24,869358 \cdot 100 = 2486935,845 \text{ тыс.руб.}$$

$$U = U_{\text{пост}} + U_{\text{перем.}} = 275621,4434 + 2486935,845 =$$

2762557 тыс.руб.

$$Q_{\text{кр}} = U_{\text{пост}} / Ц_{1\text{т}} - U_{\text{перем.1т.}}$$

$$Q_{\text{кр}} = 275621,4434 / 33151 - 24,869358 = 33,3 \text{ тыс.т}$$

2016 ГОД

$$U_{\text{пост}} = 2,2968425 \text{ тыс. руб.}$$

$$U_{\text{перем.}} = 24,869358 \text{ тыс. руб.}$$

$$Q = 120 \text{ тыс.т. (объём продаж).}$$

$$U_{\text{пост}} \cdot Q = 2,2968425 \cdot 120 = 275621,1 \text{ тыс. руб.}$$

$$U_{\text{перем.}} \cdot Q = 24,869358 \cdot 120 = 2984322,96 \text{ тыс.руб.}$$

$$U = U_{\text{пост}} + U_{\text{перем.}} = 275621,1 + 2984322,96 =$$

3259944,06 тыс.руб.

Тогда точка безубыточности определится следующим образом:

$$Q_{\text{кр}} = U_{\text{пост}} / Ц_{1\text{т}} - U_{\text{перем.1т.}}$$

$$Q_{\text{кр}} = 275621,1 / 33151 - 24,869358 = 33,3 \text{ тыс.т}$$

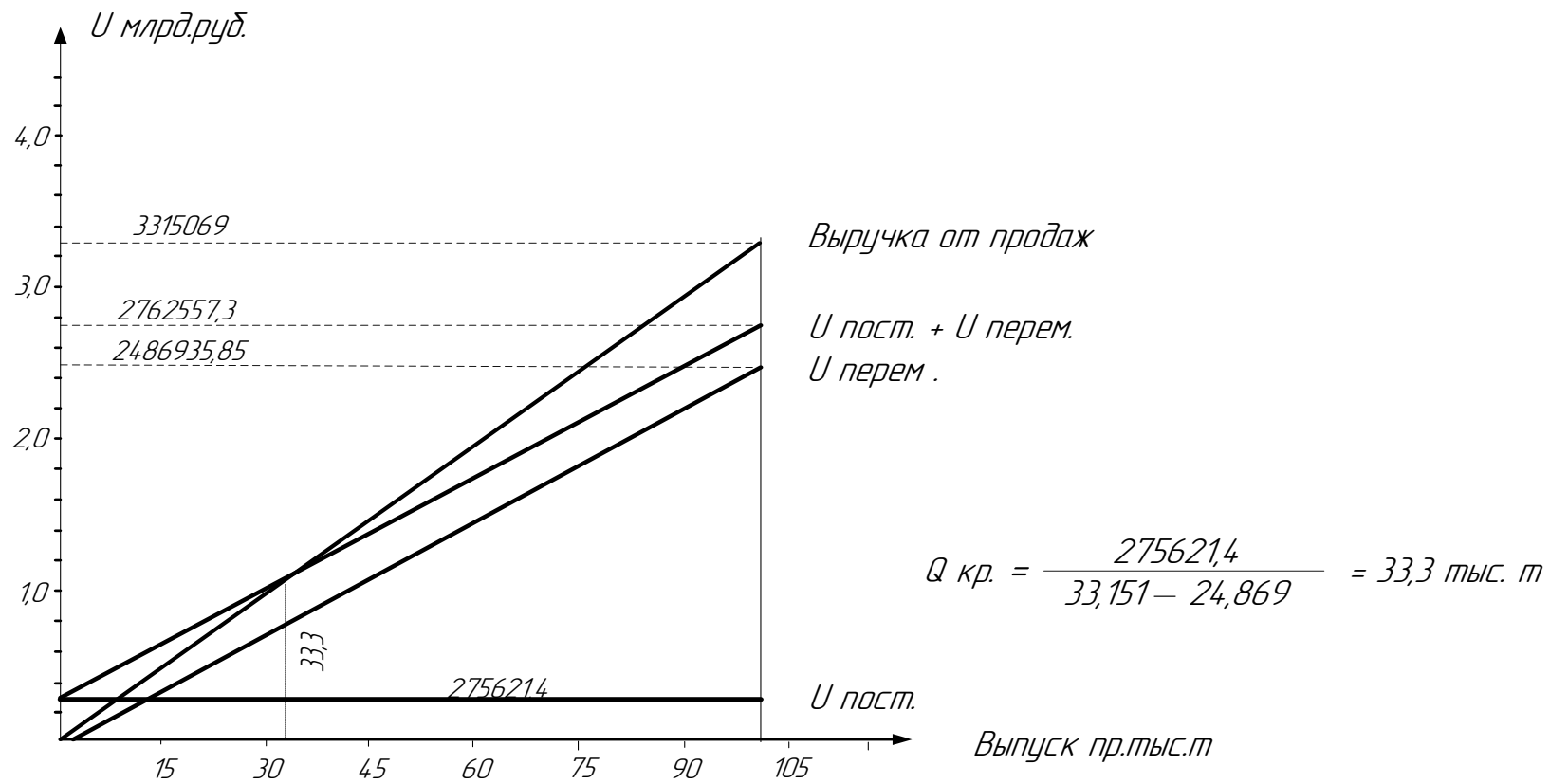
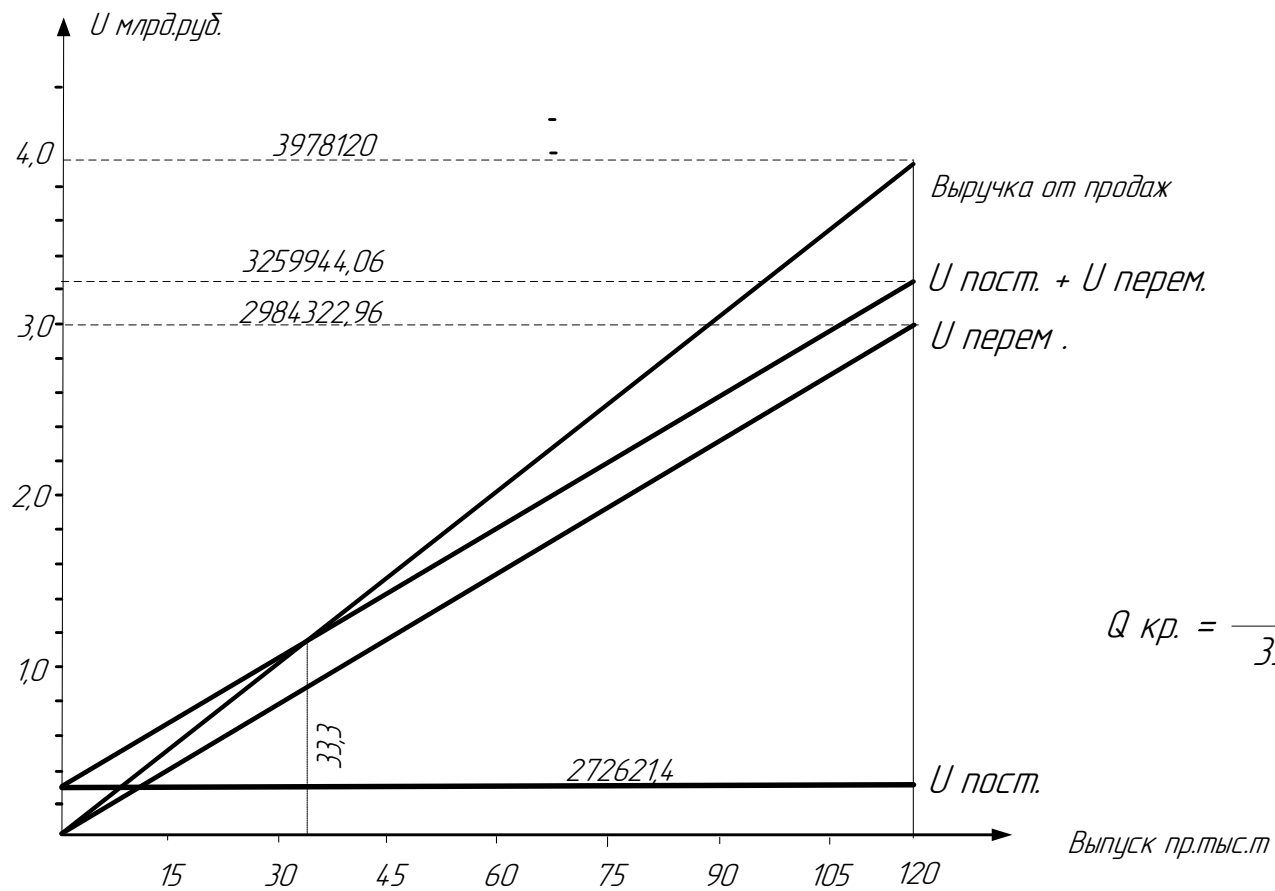


рис.2 График безубыточности за 2015 год.



$$Q_{кр.} = \frac{275621,4}{33,151 - 24,869} = 33,3 \text{ тыс. т}$$

рис.3 График безубыточности за 2016 год.

### 3.9 Техничко-экономические показатели.

Таблица 34

Наименование показателя	Ед. изм.	2015	2016
Объем производства	т	100000	120000
Объем продаж	т	100000	120000
Цена за тонну	тыс. руб.	33,151	33,151
Выручка от продаж	тыс. руб.	3315069	3978120
Суммарные издержки,	тыс. руб.	2762557,3	3259944,06
в т.ч переменные издержки	тыс. руб.	2486935,8	2984322,96
в т. ч. постоянные издержки	тыс. руб.	275621,4	275621,4
Балансовая прибыль	тыс. руб.	552511,5	718175,94
Налог на прибыль	тыс. руб.	143653,0	186725,74
Чистая прибыль	тыс. руб.	408858,5	531450,2
Себестоимость 1 тонны продукции	тыс. руб.	27,626	27,166
Среднегодовая стоимость основных средств	тыс. руб.	37500,0	37500,0
Численность основных рабочих	чел.	21	21
Фондовооруженность	тыс. руб.	1785,7	1785,7
Фондоотдача (объем выпущенной товарной продукции / Среднегодовая стоимость основных средств)	руб./руб.	2,7	3,2
Фондоёмкость (показатель обратный фондоотдаче)	руб./руб.	0,375	0,313
Производительность труда	тыс. руб./чел	157860,42	189434,29
Рентабельность производства	%	20,00	22,03
Рентабельность продаж	%	12,33	13,4
Qкр. (критический объем продаж)	тыс. т	33,3	33,3

## Вывод

При увеличении годовой производительности со 100 тыс.тонн полиэтилена до 120 тыс.тонн, получены следующие результаты:

- 1) уменьшение себестоимости с 27626 руб./т. до 27166 руб./т. на весь выпуск продукции;
- 2) чистая прибыль увеличивается с 408858,5 тыс.руб. до 531450,2 тыс.руб.;
- 3) увеличение выручки от реализации с 3315069 тыс.руб. до 3978120 тыс.руб.;
- 4) увеличение показателя фондоотдачи с 2,7 руб./руб. до 3,2 руб./руб.;
- 5) увеличение производительности с 157860,42 тыс. руб./чел до 189434,29 тыс. руб./чел
- 6) увеличение рентабельности производства с 20 % до 22,03 %;
- 7) увеличение рентабельности продаж с 12,33 % до 13,4 %;
- 8) Точка безубыточности осталась неизменной и равна 33 тыс. т.

При увеличении мощности производительности полиэтилена, рассчитанные показатели себестоимости продукции исследуемого предприятия, а также расчет основных технико-экономических показателей предприятия, позволяют сделать вывод об экономической эффективности его будущего функционирования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сутягин М. В., Бочкарев В.В. Основы проектирования и оборудование производств органического синтеза - Учебно-методическое пособие - Т: Изд. ТПУ, 2003-183с.
2. Бочкарев В.В., Ляпков А.А.. Графическая часть курсовых и дипломных проектов – Томск: изд. ТПУ, 2006 – 98с.
3. Основные процессы и аппараты химической технологии. /Под ред. Ю.И. Дытнерского – М.: Химия, 1991. – 496 с.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А.. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
5. Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – Л.: Машиностроение, 1970. - 752 с.
6. Методические указания по выполнению курсового проекта и выпускной квалификационной работы для студентов заочной и дневной форм обучения специальности 240401«Химическая технология органических веществ» – Томск: изд. ТПУ - 2008-75с. Составители: В.В. Бочкарев, А.А. Ляпков.
7. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М., Химия, 1971.- 784 с.
8. Сутягин В.М., Лопатинский В.П., Ляпков А.А. Основы проектирования и оборудование производств полимеров: Учебное пособие. Часть 1. –Томск: Изд. ТПУ, 1998.-118 с.
9. Сутягин В.М., Лопатинский В.П., Ляпков А.А. Основы проектирования и оборудование производств полимеров: Учебное пособие. Часть 2. –Томск: Изд. ТПУ, 1999.-114 с.
10. Иванов Г.Н., Сутягин В.М. Основные методы расчета химических реакторов: Учебное пособие.-Томск.: Изд. ТПИ, 1986,-89 с.



11. Борисов Г.С., Брыков В.П., Ю.Н. Дытнерский. Основные процессы и аппараты химической технологии. /Пособие по проектированию, 2-е перераб. изд., М., Химия, 1991-496 с.
12. Иоффе И.А. Проектирование производственных процессов и аппаратов химической технологии. /Учебник для техникумов. – Л.: Химия, 1981-352 с.
13. Проектирование и расчет аппаратов основного органического и нефтехимического синтеза: учебник для вузов /И.А. Грязнов, Н.Г. Дигуров, В.В. Кафаров, М.Г. Макаров. – М.: Химия, 1995-256 с., под ред. Лебедева Н.Н..
14. Лебедев Н.Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза. - М. Химия.: , 1988- 592 с.
15. Детали трубопроводов на давление от 100 до 1000 кгс/см<sup>2</sup>.нормы конструирования и методы расчета на прочность
16. Котлы стационарные и водогрейные и трубопроводы пара и горячей воды Нормы расчета на прочность
17. высокого давления. Обзор инф. М.: НИИТЭХИМ,1986, № 278. р. 197.
18. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Фланцевые соединения.
19. Энциклопедия полимеров, т. 3, М., 1977.
20. Полиэтилен высокого давления. Научно-технические основы промышленного синтеза, Л., 1988.
21. Николаев А.Ф. Синтетические полимеры и пластические массы. М – Л: «Химия», 1964 г.
22. Голосов А.П., Динцес А.И. Технология производства полиэтилена и полипропилена.- М.: Химия, 1978.-216 с.
23. Полиэтилен высокого давления. Научно-технические основы промышленного синтеза /А.В. Поляков. Ф.И. Дунтов, А.Э. Сфиев и др. – Л.: Химия, 1988.-200 с.

24. Этилен. Физико-химические свойства / Под ред. С.А. Миллера. Пер. С англ. М.: Химия, 1977.-168 с.
25. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» ФЗ №116от 21.07.1997г./ в ред. Федеральных законов от 04.03.2013г.
26. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»/ в ред. Федеральных законов от 10.07.2012 N 117-ФЗ
27. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
28. Руководство по безопасности факельных систем. Серия 03. Выпуск 68. — М.:Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. — 48 с.
29. ГОСТ Р 22.3.03-94-Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита населения. Основные положения.