

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

Школа природных ресурсов
Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология
Отделение школы (НОЦ) химической инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка реконструкции установки синтеза полиэтилена высокого давления при изменении порядка загрузки и состава иницирующих систем. УДК <u>678.742.2.023.2</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ01	Лунев Иван Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОХИ	Бондалетов Владимир Григорьевич	Доктор техни- ческих наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОХИ	Гавриленко Михаил Алексеевич	Доктор хими- ческих наук		

Томск – 2022 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код Результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
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.
Универсальные компетенции	
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.

<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>	<p>Анализ научно-технической литературы; разработка технологической схемы; инженерные расчеты: материальный и тепловой балансы, механический расчет; подбор необходимого оборудования; автоматизация основного аппарата, аналитический контроль производства; финансовый менеджмент; социальная ответственность; дополнительная часть на английском языке; заключение.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация, технологическая схема, сборочный чертеж, сборочные единицы.</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Использование различных инициаторов при производстве ПЭНП. Выбор иницирующих систем для получения полиэтилена высокого давления низкой плотности.	Профессор ОХИ, д.т.н. Бондалетов Владимир Григорьевич
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н., Былкова Татьяна Васильевна
Социальная ответственность	Доцент ООД, к.т.н., Сечин Андрей Александрович
Literature Review	Доцент, к.ф.н., Швагрукова Екатерина Васильевна

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

Literature Review

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	30.01.2022
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОХИ	Бондалетов Владимир Григорьевич	Доктор технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ01	Лунев Иван Александрович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОС-
БЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ01	Луневу Ивану Александровичу

Школа	ИШПР	Отделение	ОХИ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Химическая техноло- гия

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ).</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней рыночной стоимости. Оклады в соответствии с окладами сотрудников организации
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	30% районный коэффициент
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений.</i>	30% отчисления во внебюджетные фонды
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Провести предпроектный анализ
<i>2. Разработка устава научно-технического проекта</i>	Представить Устав научного проекта магистерской работы
<i>3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Разработать план управления НТИ
<i>4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Рассчитать сравнительную эффективность исследования
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Карта сегментирования рынка	6. График проведения НТИ
2. Диаграмма Исикавы	7. Организационная структура проекта;
3. Матрица SWOT	8. Бюджет НТИ
4. Иерархическая структура работ проекта	9. Оценка ресурсной, финансовой эффективности НТИ
5. Диаграмма Ганта	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Татьяна Ва- сильевна	канд. экон. наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ01	Лунев Иван Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
2ДМ01		Лунев Иван Александрович	
Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/ специальность	18.04.01 Химическая технология

Тема ВКР:

Разработка реконструкции установки синтеза полиэтилена высокого давления при изменении порядка загрузки и состава иницирующих систем.

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения 	<p>Объект исследования – производство полиэтилена высокого давления, низкой плотности (ПЭВД).</p> <p>Область применения – нефтехимическая промышленность.</p> <p>Рабочая зона: производственное помещение.</p> <p>Размеры помещения: 10x15 м</p> <p>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: компьютеры в количестве 15 шт., мониторы в количестве 37 шт., телевизоры в количестве 16 шт., принтеры - 2 шт., панели управления в количестве 5 шт.</p> <p>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: контроль параметров производства при ведении технологического процесса</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке и эксплуатации проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> - "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 31.12.2014); - ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; - ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы; - ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности; - ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация. - ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и квалификация; - ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты; - СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда»;
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов - Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - утечка токсичных и вредных веществ; - повышенный уровень шума; - повышенный уровень общей вибрации; - повышенный уровень локальной вибрации; - отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; - производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды

	<p>на местонахождении работающего.</p> <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - электробезопасность; - аппараты, работающие под давлением; - пожаровзрывоопасность; - движущиеся машины и механизмы. <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</p> <p>спецодежда, защитные очки, СИЗ органов дыхания, перчатки, беруши, защитное заземление оборудования, рациональное размещение оборудования, нанесение предупреждающей маркировки на оборудование.</p> <p>Расчет: расчет системы воздухообмена</p>
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - защита селитебной зоны - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p><u>Воздействие на селитебную зону</u> - выброс загрязняющих веществ в воздух селитебных районов при аварии</p> <p><u>Воздействие на литосферу</u> - загрязнение почв, вызванное накоплением и распространением в них загрязняющих веществ</p> <p><u>Воздействие на гидросферу</u> обусловлено химическим загрязнением водостоков в результате удаления неорганических отходов в канализационную сеть;</p> <p><u>Воздействие на атмосферу</u> обусловлено наличием выбросов паров, жидких углеводородов, во время эксплуатации</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения:</p> <p>Перечислить возможные ЧС при разработке проектного решения</p> <p>Указать наиболее типичную ЧС из вышеперечисленных .</p>	<p>Возможные ЧС: пожар, взрыв, розлив продукта/компонентов производства, отключение воды и/или электричества</p> <p>Наиболее типичная ЧС розлив продукта/компонента производства</p>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ01	Лунев Иван Александрович		

Обозначения и сокращения

- ПЭВД – полиэтилен высокого давления
ПЭНП – полиэтилен низкой плотности
ПЭНД – полиэтилен низкого давления
ПЭВП – полиэтилен высокой плотности
ЛПЭНП – линейный полиэтилен низкой плотности
ПЭТ – полиэтилентерефталат
УПЭ – Установка полимеризации этилена
ППЭ – Производство полиэтилена
ПАЛ – пропионовый альдегид, пропаналь
ВГВД – возвратный газ высокого давления
ВГСД – возвратный газ среднего давления
ВГНД – возвратный газ низкого давления
ОВД – отделитель высокого давления
ОНД – отделитель низкого давления
ООО – общество с ограниченной ответственностью
ПТР – показатель текучести расплава
ИС – иницилирующая система
МДЭВ – массовая доля экстрагируемых веществ
ЦЗЛ – центральная заводская лаборатория
ПЭ – полиэтилен

РЕФЕРАТ

Научно - исследовательский проект содержит 262 страницы, 36 рисунков, 85 таблиц, 57 источников, 1 приложение, 3 листов графического материала.

Объектом исследования является производство полиэтилена высокого давления (низкой плотности), установка полимеризации этилена.

Цель работы - расчёт установки по производству полиэтилена на площадке ПАО «СИБУР Холдинг» ООО «Томскнефтехим» для получения полиэтилена низкой плотности (высокого давления).

Также были рассмотрены следующие вопросы: теоретические основы процесса полимеризации этилена, описание проектируемой технологической схемы установки производства полиэтилена в трубчатом реакторе. Дана количественная и качественная характеристика исходного сырья, реагентов и конечной продукции. Были выполнены инженерные расчеты, в том числе материального и теплового балансов, технологический, гидравлический и механический расчёт основного аппарата, подобрано вспомогательное оборудование. Рассмотрены вопросы автоматизации, описан контур регулирования работы трубчатых реакторов, а также подобраны контрольно-измерительные приборы для обеспечения нормального течения процесса. В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены опасные и вредные факторы, дана характеристика ПЭНП и обращающихся в ней веществ с точки зрения нанесения ущерба человеческому организму и окружающей среде, а также рассмотрены вопросы охраны труда. Разработаны мероприятия по ведению безопасного технологического процесса, способствующие снизить данный ущерб. В разделе «Финансовый менеджмент» приведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности. Дана оценка разработанного проекта.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1	Литературный обзор	17
2	Технико-экономическое обоснование проекта.....	20
2.1	Общая характеристика производства.....	24
2.2	Основные технологические решения.....	24
3	Технологическая часть	26
3.1	Характеристика производимой продукции, исходного сырья, материалов, полупродуктов.....	26
3.1.1	<i>Характеристика производимой продукции</i>	26
3.2	Полиэтилен	29
3.3	Этилен	30
3.4	Фракция пропановая марка А	32
3.5	Циркуляционная горячая вода из емкостей	32
3.6	Растворители инициаторов	33
3.6.1	<i>Ризелла-917</i>	34
3.6.2	<i>Шелл Ондина 917</i>	35
3.6.3	<i>Вайтерекс 307L</i>	36
3.7	Перекисные инициаторы	36
3.7.1	<i>Тригонокс 36-CD75</i>	36
3.7.2	<i>Тригонокс 21S</i>	37
3.7.3	<i>Тригонокс 42S</i>	37
3.7.4	<i>Тригонокс С</i>	38
3.7.5	<i>Тригонокс В</i>	39
3.8	Классификация инициаторов разных производителей ...	43
4	Физико-химические основы технологического процесса производства полиэтилена	44
4.1	Механизм процесса полимеризации этилена	44
4.2	Основные кинетические закономерности процесса полимеризации этилена	46
4.3	Влияние основных параметров на процесс полимериза-	48

	ции этилена	48
4.3.1	<i>Влияние температуры</i>	48
4.3.2	<i>Влияние инициатора</i>	49
4.3.3	<i>Тепловые эффекты процесса. Энергия Гиббса</i>	49
4.4	Термодинамика процесса	49
5	Выбор и обоснование технологической схемы производства	51
5.1	Описание технологического процесса производства полиэтилена	52
5.1.1	<i>Дозировка компонентов</i>	53
5.1.2	<i>Подготовка раствора инициаторов</i>	53
5.1.3	<i>Компримирование этилена</i>	55
5.1.4	<i>Полимеризация этилена</i>	56
5.1.5	<i>Отделение и очистка возвратного газа высокого, среднего и низкого давления</i>	59
5.1.6	<i>Первичная грануляция</i>	62
5.1.7	<i>Конфекционирование</i>	63
5.2	Аналитический контроль	65
6	Контроль и автоматика производства	86
6.1	Автоматический контроль	86
6.2	Цели критерии и ограничения создания АСУ	87
6.3	Автоматизация реакторного блока установки полимеризации	88
7	Расчетная часть	93
7.1	Материальный баланс	93
7.1.1	<i>Общий материальный баланс</i>	93
7.1.2	<i>Постадийный материальный баланс</i>	97
7.2	Технологический расчет основного аппарата	101
7.2.1	<i>Выбор конструкции и материала полимеризатора</i>	101
7.2.2	<i>Выбор типа материала</i>	103
7.2.3	<i>Расчет размеров основного аппарата</i>	105

7.3	Тепловой расчет основного аппарата	108
7.3.1	<i>Первая зона реактора</i>	109
7.3.2	<i>Вторая зона реактора</i>	113
7.3.3	<i>Третья зона реактора</i>	117
7.4	Механический расчет	123
7.4.1	<i>Техническая характеристика</i>	123
7.4.2	<i>Расчет трубы высокого давления</i>	124
7.4.3	<i>Расчет укрепления отверстия труб диаметром 159*6</i>	126
7.4.4	<i>Расчет колена труба диаметром 159*6</i>	127
7.4.5	<i>Расчет элементов рубашек трубы диаметром 273*12 ..</i>	128
7.4.6	<i>Расчет укрепления отверстия трубы диаметром 273*12</i>	129
7.4.7	<i>Расчет колена труба диаметром 273*12</i>	130
7.4.8	<i>Расчет перетоков</i>	131
7.4.9	<i>Расчет фланца</i>	134
7.4.10	<i>Подбор штуцеров</i>	139
7.4.11	<i>Подбор фланцев</i>	139
7.4.12	<i>Подбор прокладок</i>	140
7.4.13	<i>Подбор термокомпенсаторов</i>	140
7.5	Расчет опор	140
8	Подбор вспомогательного оборудования	146
8.1	Подбираем отделитель высокого давления.....	146
8.2	Подбираем отделитель низкого давления	147
8.3	Подбираем бустерный компрессор для сжатия этилена .	148
8.4	Подбираем компрессор 1 каскада для сжатия этилена ...	148
8.5	Подбираем компрессор 2 каскада для сжатия этилена ...	149
8.6	Подбираем насос высокого давления	149
9	Объект исследования	151
9.1	Цели и задачи объекта исследования	151
9.2	Общие сведения о технологии	151

9.3	Подбор и обоснование оптимальных параметров	153
9.4	Расчеты иницирующих систем	167
9.4.1	<i>Проведенные расчеты</i>	167
9.4.2	<i>Расчеты по первой зоне реактора</i>	167
9.4.3	<i>Расчеты по второй зоне</i>	170
9.4.4	<i>Расчеты по третьей зоне</i>	173
9.5	Параметры и качество продукта	182
9.5.1	<i>Получены следующие результаты</i>	182
9.5.2	<i>Контроль пиковых температур в реакторе</i>	183
9.5.3	<i>Изменения в производительности и в показателях качества при выпуске полиэтилена</i>	184
10	Социальная ответственность	190
10.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	190
10.1.1	<i>Правовые нормы трудового законодательства</i>	190
10.2	Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны	193
10.3	Производственная безопасность	194
10.3.1	<i>Отклонение показателей микроклимата в помещении</i> ...	194
10.3.2	<i>Недостаточная освещенность рабочей зоны</i>	196
10.4	Утечка токсичных и вредных веществ	196
10.5	Превышение уровней шума	198
10.6	Повышенный уровень вибрации	199
10.7	Опасность поражения электрическим током	199
10.8	Пожаровзрывобезопасность	200
10.9	Движущиеся машины и механизмы	200
10.10	Экологическая безопасность	201
10.10.1	<i>Защита литосферы</i>	202
10.10.2	<i>Охрана гидросферы</i>	202
10.11	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	202

11	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	204
11.1	Предпроектный анализ	204
11.1.1	<i>Потенциальные потребители результатов исследования</i>	204
11.1.2	<i>Диаграмма Исикавы</i>	205
11.1.3	<i>SWOT-анализ</i>	207
11.1.4	<i>Оценка готовности проекта к коммерциализации</i>	208
11.1.5	<i>Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования</i>	210
11.2	Инициация проекта	210
11.2.1	<i>Цели и результат проекта</i>	210
11.2.2	<i>Организационная структура проекта</i>	211
11.2.3	<i>Ограничения и допущения проекта</i>	212
11.3	Планирование управления научно-техническим проектом	212
11.3.1	<i>Иерархическая структура работ проекта</i>	212
11.3.2	<i>Контрольные события проекта</i>	213
11.3.3	<i>План проекта</i>	214
11.3.4	<i>Бюджет научного исследования</i>	215
11.4	Организационная структура проекта	220
11.5	Матрица ответственности	220
11.6	План управления коммуникациями проекта	221
11.7	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	222
11.7.1	<i>Оценка сравнительной эффективности исследования ...</i>	222
	Заключение	225
	Список использованных источников	226
	Приложение А	231

На отдельных листах:

1. Технологическая схема
2. Общий вид реактора
3. Сборочный чертеж
4. Компоновка оборудования
5. Техничко-экономические показатели

1. Литературный обзор

ПАО «СИБУР Холдинг» ООО «Томскнефтехим» представляет собой один из крупнейших в России комплексов нефтехимических предприятий по производству полимерной продукции в нашей жизни. Они выступают по сути материальной платформой индустрии 4.0 - компьютеров, гаджетов, дронов, инноваций в медицине, автопроме и других областях, созданный в рамках правительственной программы освоения Западно-Сибирских месторождений нефти и газа. При проектировании и строительстве применялись современные технологии и мировые практики производства полимеров, имеющиеся на тот момент времени. С целью сохранения природной среды, в проекте предусмотрены все существующие в настоящее время мероприятия по очистке газовых выбросов, сточных вод и захоронению твердых отходов на специально отведенных и оборудованных полигонах. Предприятие располагается на территории в 712 гектаров.

Взаимосвязь структурных подразделений: производственно-техническая база ООО «Томскнефтехим» организована по принципу технологической взаимосвязи отдельных подразделений предприятия, максимального кооперирования объектов основного и вспомогательного назначения, инженерных коммуникаций, а также систем бытового, сервисного и других видов обслуживания.

В настоящее время в структуру ПАО «СИБУР Холдинг» ООО «Томскнефтехим» входят следующие подразделения:

1. Производство полипропилена.
2. Производство мономеров.
3. Производство полиэтилена.
4. Научно-технический центр.
5. Вспомогательные службы: Ремонтное производство, Энергопроизводство, заводская лаборатория и другие.

Производство ПЭВД низкой плотности включает в себя следующие установки:

- полимеризации этилена;
- производства и дополнительной переработки полиэтилена на основе технического углерода;
- компримирования и подготовки сырья.

Отделение полимеризации этилена Производства полиэтилена состоит из технологической линии типа "Полимир-75": предназначенной для выпуска полиэтилена.

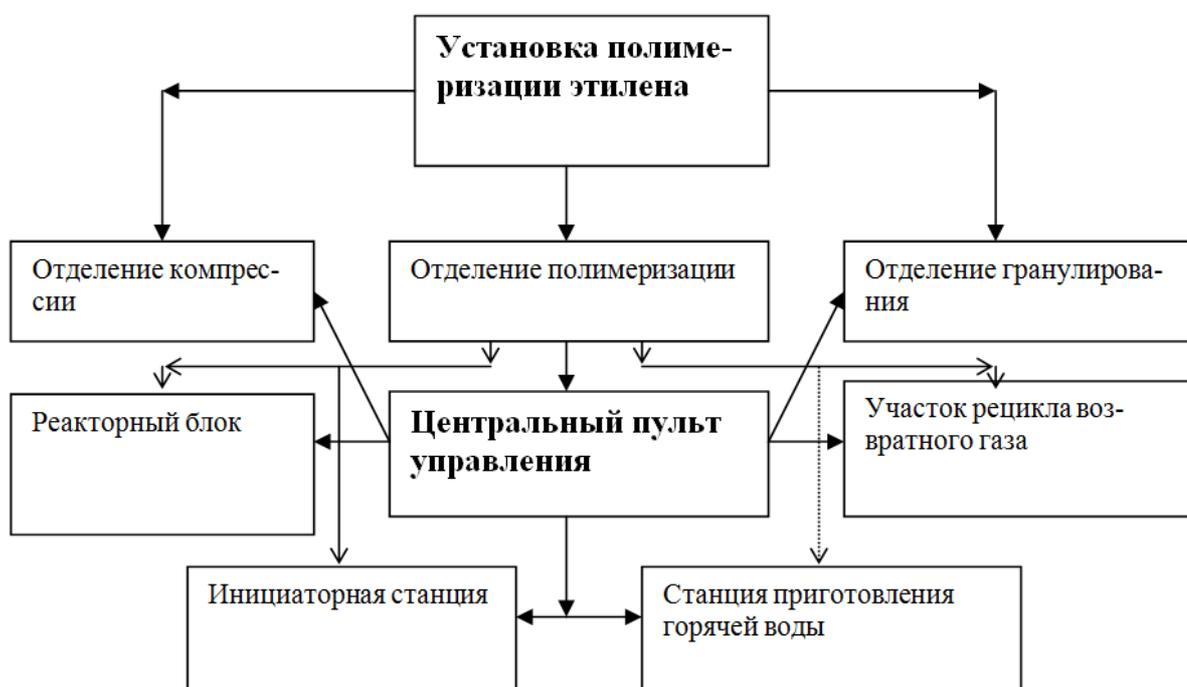


Рис.1 Принципиальная схема установки полимеризации этилена

Установка полимеризации этилена выпускает полиэтиленовый гранулят - сырец, который направляется на Установку производства и дополнительной переработки полиэтилена на основе технического углерода состоит из трех узлов, разделённых в свою очередь на участки:

1. Узел подготовки полиэтилена
 - А. Участок приема – анализа полиэтилена.
 - Б. Участок смешивания.

В. Участок хранения.

Г. Участок очистки газов.

2. Узел производства композиций.

3. Узел производства концентратов.

Для окончательной обработки - обеспыливание, сортировка, холодное смешивание, дегазация гранулированного полиэтилена, гомогенизация полиэтилена с концентратами стабилизаторов и добавок, дозирование компонентов, их гомогенизация, экструзия, подводное гранулирование. Так же, в корпусе, управлением логистики и планирования производится расфасовка, отгрузка полиэтилена и его композиций.

Для увеличения производительности реактора предусмотрено использование разнотемпературных перекисных инициаторов, растворы которых готовятся на станции приготовления и дозировки перекисных инициаторов. Конструктивно обе станции (станция горячей воды и инициаторная станция) располагаются в одном корпусе.

Весь процесс подготовки: сырья, воды, коктейлей инициаторов, полимеризации этилена, и все технологические этапы полимеризации этилена производятся с центрального пульта управления.

2. Технико-экономическое обоснование проекта

Мировое производство полимеров достигает более 170 миллионов тонн в год. Одним из простейших способов получения полимера является полимеризация полиэтилена. Благодаря своей прочности, лёгкости, стойкости к коррозионным средам, он широко используется в химической промышленности, лёгкой и пищевой промышленности, в строительстве, мелиорации, медицине, военной промышленности и производстве потребительских товаров [26].

Крупнотоннажное производство - синтетический полимер, его получают при помощи полимеризации этилена (химическое название – этен) по свободно-радикальному механизму. Крупнотоннажный синтез ПЭВД и ПЭНД производится практически всеми ведущими мировыми нефтяными и газовыми концернами. В России полиэтилен производится на нефтехимических заводах «Роснефти», «Лукойла», «Газпрома», СИБУРа, на «Казаньоргсинтезе» и «Нижекамскнефтехиме». В странах бывшего СССР полимер выпускают в Белоруссии, Узбекистане, Азербайджане. Серийные марки полиэтилена выпускают в виде гранул размером 2 - 5 мм [36].

Для российского производства полиэтилена характерен высокий уровень загрузки мощностей: на данный момент времени он приблизился к 100%. Увеличение производства полиэтилена в России возможно только при введении дополнительных производственных мощностей (ЗапСиб Нефтехим, Амурский газохимический комплекс СИБУРа и SINOPEC).

В настоящее время существует четыре основных способа производства полиэтилена: один из них представляет собой производство полиэтилена при высоком давлении и три - при низком.

Производство полиэтилена при высоком давлении представляет собой полимеризацию этилена в массе по свободно - радикальному механизму при соблюдении интервала давления 1400-3450 Кг.

Производство полиэтилена при низком давлении - это полимеризация этилена по ионно - координационному механизму при давлении 20 - 40 Кг в суспензии, в растворе или в газовой фазе [26].

Далее проведем сравнительный анализ свойств ПЭВД, полученного путем производства с применением метода радикальной полимеризации и ПЭНД, получаемого всеми методами:

Таблица 1. Сравнение свойств ПЭВД и ПЭНД [33].

Свойства	Единицы измерения	ПЭВД	ПЭНД
Плотность	кг/ м ³	910 – 935	910 – 965
Показатель текучести расплава, г/10 мин., при массе груза: 2,16 кг 5,0 кг	кг	0,2 – 30	-
	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
Относительное удлинение при разрыве	%	700 – 400	1200 – 25
Ударная вязкость (образец с надрезом)	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	0,1	0,1
Содержание экстрагируемых веществ	%	0,1 – 1,4	Отсутствие
Содержание золы	%	Отсутствие	0,006 – 0,035

Таким образом, полиэтилен, полученный при низком давлении позволяет получать полимер с более широким диапазоном плотности и с большей возможностью регулирования молекулярно-массового распределения за счет подбора каталитических систем. Линейная молекула полиэтилена низкого давления обеспечивает по сравнению с разветвленной молекулой полиэтилена высокого давления при прочих равных условиях большую прочность и жесткость, более высокий модуль упругости и ударную вязкость, особенно при низких температурах.

Следует учитывать, что более 50% полиэтилена высокого давления приходится на изготовление различных пленок. Изготовление пленок из полиэтилена низкого давления менее рентабельно, ввиду более высоких затрат на электроэнергию из-за увеличенной температуры плавления. Таким образом, работа оборудования по производству пленок различного назначения основана на переработке полиэтилена высокого давления, на долю полиэти-

лена низкого давления приходится порядка 10-15%. Кроме того, пленка, изготовленная из полиэтилена низкого давления имеет повышенную жесткость, а, следовательно, имеет ряд ограничений в применении.

Преимущества полиэтилена высокого давления проявляются там, где требуется чистота материала и высокая прочность, что добивается за счет того, что в ПЭВД отсутствуют остатки катализаторов.

Таким образом, полиэтилен высокого давления имеет очень широкое применение в различных областях, и замена его на полиэтилен низкого давления возможно лишь частично.

Ряд мировых и Российских компаний при сравнении технико-экономических показателей всех указанных методов одинаковых мощностей, привязанных к одной географической точке по капитальным вложениям очень близки и различаются не более чем на 5 %.

Если сравнить как протекает процесс полимеризации в трубчатых и автоклавных реакторах, то можно выделить следующие особенности каждого из реакторов:

1. Разница давления – если в реакторах типа труба в трубе изначально более высокое давление (до 350 МПа) постепенно снижается по длине реактора, то в автоклавах реакционное давление поддерживается на одном уровне.

2. Разница температур. В автоклавах более низкая температура и небольшой диапазон (165-275 °С), тогда как в реакторах типа труба в трубе более широкий температурный профиль по длине и максимальная температура достигает 325 °С.

3. Среднее время пребывания реакционной смеси в реакторах типа труба в трубе, рассчитанное как отношение объема реактора к количеству этилена, поступающего в реактор, является постоянным (в промышленных реакторах 55-305 с.), в то время как в автоклавном реакторе – среднее время является переменным и изменяется в пределах 20 - 140 с.

4. Характер движения также отличается. Если в реакторах типа труба в трубе движение является турбулентным, то в автоклавных реакторах оно близко к идеальному смешению.

5. Полимеризация в автоклавах осуществляется только с использованием перекисных инициаторов, то время как для реактора труба в трубе возможно использование как кислорода, так и раствора пероксида и смеси кислород-пероксида.

Запаздывание при дозировании кислорода делает невозможным применение кислорода при полимеризации в автоклавных реакторах, что связано со сложностями регулирования температуры в реакторе.

6. Имеются сложности с запуском автоклавного реактора, т.к. необходима подача большого количества инициатора для того, чтобы не падала температура при пуске.

Вышеуказанные различия при производстве полиэтилена приводят к различиям в структуре и свойствах полиэтилена в зависимости от типа реактора, при помощи которого он производился. Полиэтилен из трубчатого реактора имеет большую разветвленность и меньшую полидисперсность поэтому он чаще применяется при изготовлении пленок. В то время как полиэтилен, полученный при производстве в автоклавном реакторе с меньшей разветвленностью и большей полидисперсностью чаще применяется в производстве покрытий.

2.1 Общая характеристика производства

Производство полиэтилена ООО «Томскнефтехим»

Год ввода в эксплуатацию – 1994 г.

Проектная мощность производства – 150000 т/год (при работе на двух технологических линиях).

Цех синтеза включает две технологические линии типа "Полимир-75". Линия А предназначена для выпуска полиэтилена или сэвилена - сополимера этилена с винилацетатом, линия Б - для выпуска полиэтилена.

На линии Б предусмотрено получение только полиэтилена.

Проектная мощность технологической линии Б 75 000 т/год.

Полиэтилен высокого давления получают методом полимеризации этилена под высоким давлением в трубчатых реакторах по свободно-радикальному механизму.

2.2 Основные технологические решения

Самым востребованным в современном мире является полиэтилен высокого давления, за счет того, что он самый химически чистый, эластичный и дешевый. Производство ПЭВД осуществляется по технологическим схемам, которые практически не отличаются друг от друга.

Полиэтилен является экологически чистым продуктом, т.к. он не ядовит и не оказывает воздействия на человеческий организм, химически инертен, незначительно адсорбирует влагу, имеет высокую устойчивость к различным агрессивным средам - кислотам, щелочам, растворам солей и органическим растворителям и является одним из лучших диэлектриков. Как уже было описано выше, ПЭВД имеет широкое применение не только в производстве различных видов пленок и упаковок, но и при изготовлении кабельных композиций, изделий медицинского и бытового назначения. Сополимеры этилена с винилацетатом могут применяться для получения прозрачных пленок и гибких шлангов, изделий, получаемых методом экструзии и литья.

Наличие полярных групп обуславливает достаточно хорошую печатаемость. Используются в качестве модификаторов поливинилхлорида для получения ударопрочных материалов, а также модификаторов асфальтов и битумов для повышения эластичности и гибкости при низких температурах. ПЭВД отличается высокой адгезией к различным синтетическим материалам, дереву, металлу, бумаге в связи с чем может применяться в качестве основы термоклеев.

Для производства ПЭВД на предприятиях применяются реакционные устройства двух типов: трубчатый реактор и автоклавный.

Чаще всего применяются высокопроизводительные трубчатые реакторы, которые представляют собой последовательно соединенные теплообменники типа «труба в трубе» с переменным диаметром (от 25 до 80 мм).

При принятии технологии производства ПЭВД было учтено следующее:

1. Сырьё, поступающее на установку полимеризации этилена для производства основных видов продукции.
2. Экономическая рентабельность.
3. Кадры.
4. Экологичность технологического процесса.

Соответствие выбранной технологии современным методам производства.

Из перечисленных производственных технологических методов производства ПЭВП наиболее перспективным является схема с применением трубчатых реакторов

3. Технологическая часть

3.1 Характеристика производимой продукции. Характеристика исходного сырья, материалов, полупродуктов

3.1.1 Характеристика производимой продукции.

По характеристике применяемых продуктов производство полиэтилена относится к опасным согласно Федеральному закону от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

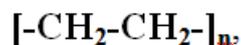
Сырьем для производства ПЭВД является: газообразный этилен – горючий газ; пропилен – горючий газ; изопар, масла – ГЖ; концентрированные перекиси – ЛВЖ, ГЖ.

Готовая продукция – гранулированный полиэтилен – относится к твердым горючим материалам.

На установке полимеризации этилена производится полиэтиленовый гранулят-сырец, который в последствии перенаправляется в цех производства и дополнительной переработки полиэтилена на основе технического углерода для финальной обработки, и получения партий готовой продукции.

Полиэтилен высокого давления низкой плотности является высокомолекулярным продуктом, состоящим из макромолекул с различной длиной полимерной цепи и различным количеством длинноцепных и короткоцепных разветвлений.

Полиэтилен представлен следующей химической формулой:



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

Средняя молекулярная масса 17000 - 48000.]

Базовые марки полиэтилена и основные требования, которым должны соответствовать указанные марки представлены в таблице - 2.

Полиэтилен характеризуется такими основными показателями, как плотность, показатель текучести расплава, молекулярно массовое распреде-

ление, внешний вид, средний показатель "Transparency". Данные показатели отражают молекулярную структуру и вязкотекучие свойства полиэтилена.

Производство ПЭВД выпускается в виде гранул одинаковой геометрической формы в пределах одной партии, размер которых в любом направлении должен быть от 1,9 до 4,9 мм [1].

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 %. Для полиэтилена 2-го сорта допускаются серые и окисленные гранулы, массовая доля которых не должна превышать 0.1 %, и гранулы другого цвета, массовая доля которых не должна превышать 0.04 %.

Таблица 2. Показатели качества выпускаемых марок полиэтилена высокого давления [1].

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 ³ .	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

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
6. Стойкость к растрескиванию, ч., не менее.	500	500	500	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется
7. Предел текучести при растяжении, Па (кгс/см ²), не менее.	98 * 10 ⁵ (100)	98 * 10 ⁵ (100)	98 * 10 ⁵ (100)	93 * 10 ⁵ (95)	93 * 10 ⁵ (95)	93 * 10 ⁵ (95)
8. Прочность при разрыве, Па (кгс/см ²), не менее.	137 * 10 ⁵ (140)	137 * 10 ⁵ (140)	137 * 10 ⁵ (140)	113 * 10 ⁵ (115)	113 * 10 ⁵ (115)	113 * 10 ⁵ (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

3.2 Полиэтилен

Далее представлены свойства ПЭНП, охватывающие весь диапазон выпускаемых в нашей стране и за рубежом в промышленном масштабе базовых марок. 15803-020 ГОСТ 15139-69, 15303-003 ГОСТ 16337-77 [1].

Таблица 3. Свойства полиэтилена высокого давления.

Свойства	Единицы измерения	Значение
Плотность	кг/м ³	910-930
Характеристическая вязкость (ксилол, 85 ⁰ С)	дл/г	1,5-0,8
Показатели текучести расплава (190 ⁰ С, масса груза 2,16 кг)	г/10мин	0,2-70
Степень кристалличности	%	43-34
Предел текучести при растяжении	МПа	9-16
Прочность при разрыве	МПа	6-17
Прочность при изгибе	МПа	17-20
Прочность при срезе	МПа	14-17
Относительное удлинение при разрыве	%	800-150
Стойкость к растрескиванию под напряжением от более 100 (20%-ый водный раствор ОП-7, 50 ⁰ С)	ч	до 0,25
Твердость по вдавливанию шарика	МПа	17-25
Модуль упругости при изгибе	МПа	88-260
Температура плавления	⁰ С	103-110
Температура хрупкости	⁰ С	от -120 до -45
Теплопроводность	Вт/(м·К)	0,33-0,36
Удельная теплоемкость (20-25 ⁰ С)	Дж/(кг·К)	1,88-2,51
Температурный коэффициент линейного расширения (0-100 ⁰ С)	⁰ С ⁻¹	2,1 · 10 ⁻⁴ - 5,5 · 10 ⁻⁴
Водопоглощение за 30 сут. при 20 ⁰ С	%	0,020
Молекулярная масса		80000-500000
Модуль упругости при растяжении	МПа	147-245
Твердость по Бринеллю	МПа	13,7-24,5
Число прогибов пленки на 180 град.		3000
Теплостойкость по НИИПП	⁰ С	108-115
Термический коэффициент объемного расширения в интервале 50-100 ⁰ С	град ⁻¹	(1-6) · 10 ⁻⁴
Диэлектрическая проницаемость		2,2-2,3
Тангенс угла диэлектрических потерь при 1 МГц и 20 ⁰ С		(2-3) · 10 ⁻⁴
Удельное электрическое поверхностное сопротивление	Ом	<10 ¹⁴

Свойства	Единицы измерения	Значение
Удельное электрическое объемное сопротивление	Ом·м	$<10^{15}$
Электрическая проницаемость при переменном токе для образца толщиной 1 мм	кВ/мм	45-60

Исходным сырьем для получения полиэтилена является этилен.

3.3 Этилен

В настоящее время пиролиз нефтяных углеводородов является основным методом получения этилена ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) в промышленности. Его проводят в печах высокой теплонапряженности при температуре 830-950 °С и продолжительности пребывания сырья в печи от 0,49 до 0,02 с в зависимости от конструкции печи и свойств сырья.

Этилен горит святым пламенем, с воздухом и кислородом образует взрывоопасные смеси. В воде этилен практически не растворим, несколько лучше растворяется в органических растворителях [38]. В таблице 3.1 приведены основные свойства этилена.

Таблица 3.1 - Характеристика исходного сырья, материалов и полупродуктов. Свойства этилена ГОСТ 25070-2013 [2].

Свойство	Единицы измерения	Значение
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 ³ , не более	%	2,0
Вода (массовая доля), не более	%	0,001

Свойство	Единицы измерения	Значение
Диеновые углеводороды (пропадиен и бутадиен), не более	%	0,0005
Кислород, не более	%	0,0002
Аммиак, не более	%	0,0001
Метанол, не более	%	0,001
Физическое состояние		Газ
Критическая плотность	кг/м ³	223
Область воспламенения в воздухе	% (об.)	2,8-36,35
Температура самовоспламенения	°С	540
Молекулярная масса		28.05
Температура кипения	°С	-103,7
Показатель преломления		1,363
Плотность при н. у.	кг/м ³	1,260
Пределы взрываемости :		
Верхний - 35,6%	г/м ³	390
Нижний - 2.7%		31
Удельная газовая постоянная	кгс·м/(кг·°С)	30,2
Температура воспламенения	°С	455
Критическая температура	°С	9,50
Критическое давление	атм.	50,02
Теплоемкость при 20°С, 760 мм Нг		
C _p	Дж/(кг·К)	2325
C _v		1223
Вязкость при 150 МПа	Па·с	99
Коэффициент объемного расширения		3735·10 ⁻⁶

Примечание: "Этилен ГОСТ 25070-2013 " пункт 5 "Объемная доля кислорода, %, не более" при подготовке к пуску и во время эксплуатации допускается 0.0005.

3.4 Фракция пропановая марка А. ТУ 38.101490-89

Таблица 3.3 - Характеристика исходного сырья, материалов и полупродуктов. Свойства пропана.

Свойство	Единицы измерения	Значение
Массовая доля компонентов, %		
Пропановая	%	2.0
Сумма углеводородов C ₁ и C ₂ , не более	%	96.0
Сумма углеводородов C ₃ , не менее	%	0.2
В том числе пропилена, не более	%	3.0
Сумма углеводородов C ₄ , не более	%	Отсутствие
Сумма углеводородов C ₅ и выше	%	Отсутствие

3.5 Циркуляционная горячая вода из емкостей

Таблица 3.4 - Свойства циркуляционной воды.

Свойство	Единицы измерения	Значение
Солесодержание, не более	мкг/дм ³	1200
Показатель pH	pH	9-10
Жесткость общая, не более	мкмоль/дм ³	5
Кислород растворенный, не более	мкг/дм ³	30
Железо общее, не более	мкг/дм ³	30
Медь, не более	мкг/дм ³	20
Кремниевая кислота, не более	мкг/дм ³	факультативно
Массовая концентрация гидразина (N ₂ H ₄) (при применении гидразин – гидрата)	мг/дм ³	(0,08 – 1,0)

Свойство	Единицы измерения	Значение
Содержание непредельных соединений	мг/дм ³	отсутствие
Содержание СL ⁻ , не более	мкг/дм ³	20

3.6 Растворители инициаторов [38]

«Изопар» – изопарафиновый углеводород. Легколетучие растворители типа «Изопар» представляют собой смеси изопарафиновых углеводородов следующего состава:

Изопар L

Углеводороды (число атомов С), 11 12 13 14 15 16
 Количество (% мас.) 0,5 30 57 10 2,5 -

Изопар М

Углеводороды (число атомов С), 11 12 13 14 15 16
 Количество (% мас.) - 0,3 28 61 9,0 1,7

Поставщик: Эксон Мобил (Германия)

Таблица – 3.5. Свойства марок растворителей.

Свойства	Единицы измерения	марка L	марка М
Физическое состояние		жидкость	
Форма/цвет	прозрачная бесцветная жидкость		
Запах	запах изопарафинового углеводорода		
Температура плавления	°С	< -50	< -50
Температура кипения	°С	185 - 213	199 - 257
Температура вспышки	°С	62	> 75

Свойства	Единицы измерения	марка L	марка M
Температура самовоспламенения	°С	200	> 200
Взрывоопасность (на воздухе)	% об	0,6-7	0,6-7
Упругость паров			
(20 °С)	кПа	0,07	0,011
(38 °С)	кПа	0,2	0,044
(50 °С)	кПа	0,4	0,137
Плотность (19°С)	кг/дм ³	0,77	0,789
Плотность паров (101,3 кПа/возд)	кПа/возд	> 1,0	
Растворимость в воде (20°С)	% вес	< 0,1	
Гигроскопичность		нет	
Вязкость			
(25°С)	см ² /с	0,017	0,0242
(40°С)	см ² /с	0,0138	0,0183
Скорость испарения (н-Ви ацетат=1)		0,03	< 0,01
Молекулярная масса		175	194
Пожароопасность	может образовывать горючие смеси или горит только при нагревании выше температуры вспышки		
Статический разряд	возможно аккумуляирование статических зарядов, которые могут вызвать неожиданный электрический разряд		

3.6.1 Ризелла-917 (Шелл Ризелла 917) – минеральное масло на основе изопарафиновых углеводородов. Производитель – фирма ШЕЛЛ (Англия).

Таблица 3.6 – Характеристики масла Ризелла - 917.

Свойство	Единицы измерения	Значение
Температура плавления	°С	- 51-53
Температура вспышки (в закрытом тигле)	°С	158-183
Вязкость (40 °С)	см ² /с	0,17
Плотность (20 °С)	кг/л	0,87
Цвет	бесцветный	
Кислотное число	отсутствует	
Содержание ароматических углеводородов	%	5,03 – 10,2
Показатель преломления (20 °С)		1,476

3.6.2 Шелл Ондина 917 – белое медицинское масло на основе парафиновых углеводородов. Производитель – фирма ШЕЛЛ (Англия).

Таблица 3.7 – Характеристики масла Ондина - 917.

Свойство	Единицы измерения	Значение
Молекулярный вес		360
Температура застывания	°С	- 15
Температура вспышки (в открытом тигле)	°С	200
Вязкость (40 °С)	см ² /с	0,178
Плотность (15 °С)	кг/л	0,854
Содержание серы	% масс.	< 0,001

3.6.3 Вайтерекс 307L – белое углеводородное масло.

Производитель – Мобил Ойл.

Таблица 3.8 – Характеристики масла Вайтерекс 307L.

Свойство	Единицы измерения	Значение
Температура застывания	°С	- 34
Температура вспышки (в закрытом тигле)	не менее	154 °С
Вязкость (40 °С)	см ² /с	0,131
Плотность (20 °С)	0,864	кг/л

3.7 Перекисные инициаторы [25, 41]

3.7.1 Тригонокс 36-CD75 (бис - (3,5,5-триметилгексаноил) пероксид)

Химическая формула:

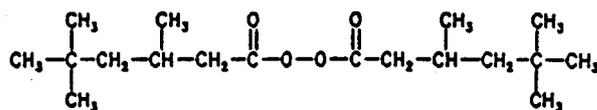


Таблица 3.9– Характеристики инициатора Тригонокс 36-CD75.

Свойство	Единицы измерения	Значение
Молекулярная масса		314,5
Температура плавления	°С	- 3
Температура вспышки (в открытом тигле)	°С	75-76
Температура самовоспламенения	°С	>380
Плотность (18 °С)	кг/л	0,873
Активный кислород	%	3,82
Содержание основного вещества (по АКЗО)	75,0	%
ТА+10 при:		
1274 ати	°С	180
2352 ати	°С	165
Вязкость (20 °С)	см ² /с	0,084

3.7.2 Тригонокс 21S (трет-бутилперокси-2-этил гексаноат)

Химическая формула:

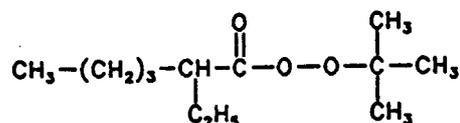


Таблица 3.10 – Характеристики инициатора Тригонокс 21S.

Свойство	Единицы измерения	Значение	
Молекулярная масса		216,3	
Температура плавления	°С	- 30	
Температура вспышки (в открытом тигле)	°С	85	
Температура самовоспламенения	°С	> 380	
Плотность (20 °С)	кг/л	0,896	
Активный кислород	%	7,17	
Содержание основного вещества (по АК30)	75,0	97,0	
ТА+10 при:			
	1274 ати	°С	203
	1568 ати	°С	198
	2352 ати	°С	188
Вязкость (20 °С)	см ² /с	0,048	

3.7.3 Тригонокс 42S (трет-бутилперокси-3,5,5-триметилгексаноат)

Химическая формула:

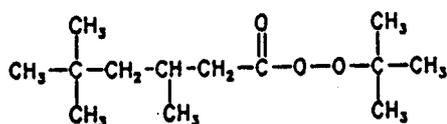


Таблица 3.11 – Характеристики инициатора Тригонокс 42S.

Свойство	Единицы измерения	Значение	
Молекулярная масса		230,4	
Температура плавления	°С	- 30	
Температура вспышки (в открытом тигле)	°С	> 55	
Температура самовоспламенения	°С	> 380	
Плотность (20 °С)	кг/л	0,897	
Активный кислород	%	6,74	
Содержание основного вещества (по АКЗО)	75,0	97,0	
ТА+10 при:			
	1274 ати	°С	231
	1568 ати	°С	223
	2352 ати	°С	221
Вязкость (20 °С)	см ² /с	0,0556	

3.7.4 Тригонокс С (трет-бутилпербензоат)

Химическая формула:

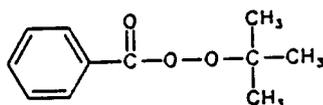


Таблица 3.12 – Характеристики инициатора Тригонокс С.

Свойство	Единицы измерения	Значение
Молекулярная масса		194,2
Температура плавления	°С	- 8
Температура вспышки (в открытом тигле)	°С	> 60
Температура самовоспламенения	°С	> 380
Плотность (20 °С)	кг/л	1,04

Свойство	Единицы измерения	Значение
Активный кислород	%	8,07
Содержание основного вещества (по АКЗО)	75,0	98,0
ТА+10 при:		
1274 ати	°С	243
2352 ати	°С	231
Вязкость (20 °С)	см ² /с	0,0625

3.7.5 Тригонокс В (ди-трет-бутил пероксид)

Химическая формула:

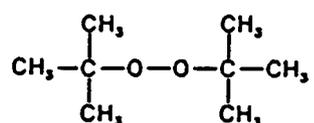
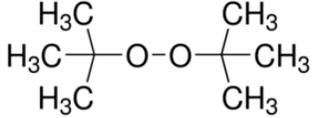
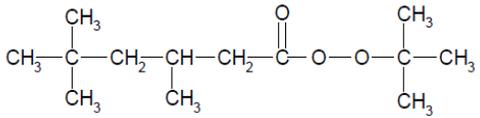
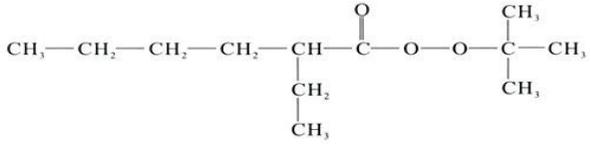
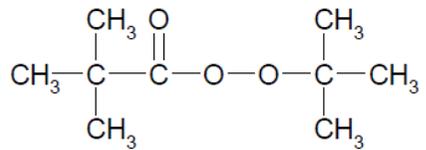
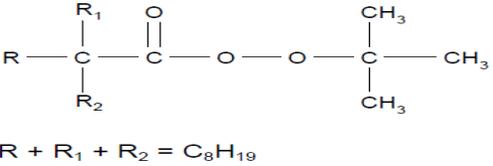


Таблица 3.13 – Характеристики инициатора Тригонокс В.

Свойство	Единицы измерения	Значение
Молекулярная масса		146,2
Температура плавления	°С	< - 30
Температура вспышки (в открытом тигле)	°С	60
Температура самовоспламенения	°С	170
Плотность (20 °С)	кг/л	0.800
Активный кислород	%	10.83
Содержание основного вещества (по АКЗО)	75,0	99.0
ТА+10 при:		
1274 ати	°С	267
2352 ати	°С	268
Вязкость (20 °С)	см ² /с	0.113

Таблица 3.14. Основные характеристики перекисных инициаторов.

Краткое наименование	Химическое соединение	Формула	Строение	Обозначение
ДТВР	ди-трет-бутила пероксид	$(\text{CH}_3)_3\text{COOC}(\text{CH}_3)_3$		Trigonox В
ТВРІН	трет-бутила перокси-3,5,5-триметилгексаонат	$\text{C}_{13}\text{H}_{26}\text{O}_3$		Trigonox 42S
ТВРЕН	трет-бутила перокси-2-этилгексаноат t-butylperoxy 2-ethylhexanoate	$\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_3$		Trigonox 21S
ТВРPI	трет-бутила перокси-пивалат	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_3$		Trigonox 25-C75
ТВРND	трет-бутила перокси-неодеканат	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_3$		Trigonox 23

Trigonox 423-C70	1,1,3,3- тетраметилбутил пе- роксинеодеканоат	$C_{18}H_{36}O_3$	$ \begin{array}{c} R_1 \quad \quad \quad O \quad \quad \quad CH_3 \quad \quad \quad CH_3 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ R-C \quad - \quad C \quad - \quad O \quad - \quad O \quad - \quad C \quad - \quad CH_2 \quad - \quad C \quad - \quad CH_3 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ R_2 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad CH_3 \quad \quad \quad CH_3 \\ R + R_1 + R_2 = C_8H_{19} \end{array} $	Trigonox 423-C70
Trigonox 123-C75	трет-амила перокси- неодеканоат	$C_{15}H_{20}O_3$	$ \begin{array}{c} R_1 \quad \quad \quad O \quad \quad \quad CH_3 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ R-C \quad - \quad C \quad - \quad O \quad - \quad O \quad - \quad C \quad - \quad C_2H_5 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ R_2 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad CH_3 \\ R + R_1 + R_2 = C_8H_{19} \end{array} $	Trigonox 123-C75
Trigonox 121	1,1,3,3,- тетраметилбутил пе- рокси-2- этилгексаноат	$C_{16}H_{32}O_3$	$ \begin{array}{c} \quad \quad \quad \quad \quad O \quad \quad \quad CH_3 \quad \quad \quad CH_3 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ CH_3-(CH_2)_3-CH \quad - \quad C \quad - \quad O \quad - \quad O \quad - \quad C \quad - \quad CH_2 \quad - \quad C \quad - \quad CH_3 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ \quad \quad \quad \quad \quad C_2H_5 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad CH_3 \quad \quad \quad CH_3 \end{array} $	Trigonox 121
Trigonox 421	третамил перокси-2- этилгексаноат	$C_{13}H_{26}O_3$	$ \begin{array}{c} \quad \quad \quad \quad \quad O \quad \quad \quad CH_3 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ CH_3-(CH_2)_3-CH \quad - \quad C \quad - \quad O \quad - \quad O \quad - \quad C \quad - \quad C_2H_5 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ \quad \quad \quad \quad \quad C_2H_5 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad CH_3 \end{array} $	Trigonox 421

Таблица 3.15. Основные характеристики перекисных инициаторов.

Краткое наименование	Температура старта	Температура оптимальная	Диапазон работы	Содержание активного кислорода, %	Молекулярный вес	температура хранения
Trigonoх 301	280	290	280 - 320	7,6	264,006	10 /40
Trigonoх В	260	270	260 - 300	10,94	146,2	- 30 / 40
Trigonoх 42S	215	225	215 - 270	6,95	230,3	-20 / 25
Trigonoх 21S	180	190	180 - 220	7,4	216,3	-30 / 10
Trigonoх 25-C75	155	165	155 - 190	9,18	174,2	-15 / -5
Trigonoх 23	135	145	135 - 160	6,55	244,4	-30 / -10
Trigonoх 423-C70	123	133	123-150	3,73	300,5	-15
Trigonoх 421	175	185	175-215	5,29	272,4	5/-20

3.8 Классификация инициаторов разных производителей

Таблица 3.16. Классификация инициаторов разных производителей.

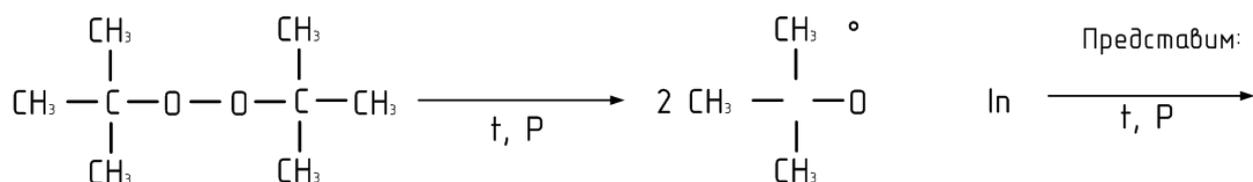
Марка Trigonox	Марка Luperox	Марка United Initiators	Марка акраkimya	Марка Arox	Краткое на- именование
Trigonox 301	нет	нет	нет	нет	нет
Trigonox B	Luperox DI	DTBP	EFOX® 20	AROX DTBP- 100	DTBP
Trigonox 42S	Luperox 270	TBPIN	EFOX® 60	AROX TBPIN- 100	TBPIN
Trigonox 21S	Luperox26	TBPEN	EFOX® 10	AROX TBPEN- 100	TBPEN
Trigonox 25-C75	Luperox® 11M75	TBPPI- 75-AL	нет	AROX TBPP- 75	TBPPI
Trigonox 23	Luperox 10	TBPND	EFOX® 100	AROX TBPND- 95	TBPND

4. Физико-химические основы технологического процесса производства полиэтилена

4.1 Механизм процесса полимеризации этилена

Полимеризация этилена при высоком давлении происходит по радикальноцепному механизму, который состоит из стадий инициирования, роста цепей и обрыва цепей.

Инициирование процесса состоит в образовании активных радикалов:



При нагревании выше 136 °С перекисные соединения распадаются с образованием радикалов R, к которым присоединяются молекулы мономера – происходит рост цепи:

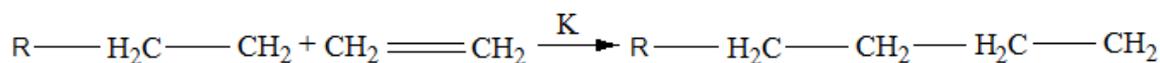
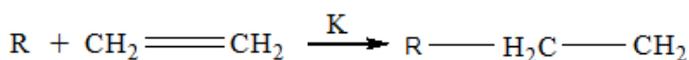


Началом реакции является присоединение этилена к образовавшемуся радикалу, в результате чего образуется новый радикал:

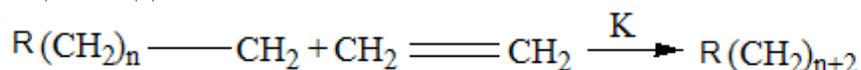


Скорость этой реакции значительно больше скорости реакции распада инициатора, так что скорость общей реакции определяется скоростью распада инициатора.

Рост цепи – быстрое последовательное присоединение молекул этилена к радикалу:



В общем виде:



Обрыв цепи – взаимодействие двух растущих радикалов:

1) рекомбинация



2) диспропорционирование



В качестве агента переноса цепи используется пропан:

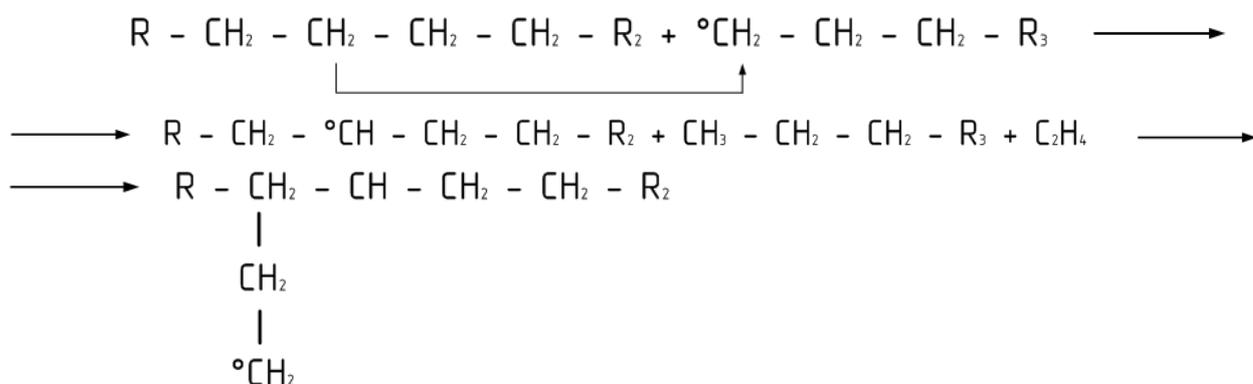


Передача цепи на пропан:



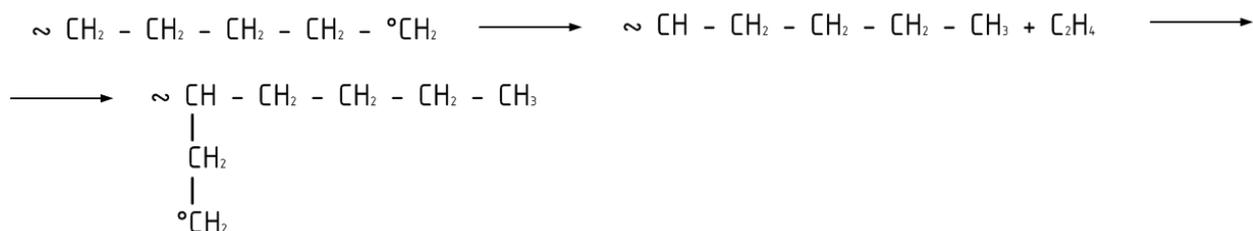
Прекращает рост одна полимерная цепь и начинает рост другая. Таким образом, осуществляется регулирование молекулярной массы полиэтилена.

Межмолекулярная передача цепи на полимер:



Прекращает рост одна полимерная цепь и начинает рост другая. Таким образом, осуществляется регулирование молекулярной массы полиэтилена.

Внутримолекулярная передача цепи на полимер:



При внутримолекулярной передаче цепи образуются короткоцепные ответвления, в основном, бутильные.

4.2 Основные кинетические закономерности процесса полимеризации этилена

Полимеризация этилена при высоком давлении подчиняется обычным закономерностям реакции полимеризации винильных соединений, протекающей по свободнорадикальному механизму. Особенность 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 [37].

Процесс полимеризации этилена определяется следующими кинетическими зависимостями.

Скорость разложения инициатора:

$$V_{\text{рас}} = k_{\text{рас}}[I] \quad (4.1)$$

где $k_{\text{рас}}$ - константа скорости распада инициатора;

$[I]$ - концентрация инициатора.

Поскольку при разложении одной молекулы инициатора возникают два радикала, скорость их образования равна $2 k_{\text{рас}}[I]$. Однако не все образовавшиеся радикалы присоединяются к этилену по его двойным связям, так что доля радикалов инициатора, инициирующих полимеризацию, выражает эффективность (f) инициатора, т.е.

$$f = \frac{V_{\text{ин}}}{V_{\text{пра}}} \quad (4.2)$$

Тогда скорость образования мономерных радикалов будет выражаться уравнением:

$$V_{\text{рас}} = 2fk_{\text{рас}}[I] \quad (4.3)$$

А скорость инициирования полимеризации уравнением

$$V_{\text{ин}} = K_{\text{ин}}[R \cdot] [M] \quad (4.4)$$

где $k_{ин}$ – константа скорости реакции инициирования;

$[R\cdot]$ – концентрация радикалов;

$[M]$ – концентрация мономера.

Скорость роста цепи определяется по уравнению:

$$V_p = K_p [R\cdot] [M] \quad (4.5)$$

где K_p – константа скорости роста цепи.

Скорость реакции передачи цепи определяется по уравнению:

$$V_{п} = k_{п} [R\cdot] [HS] \quad (4.6)$$

где $[HS]$ – концентрация агента передачи цепи.

Суммарная скорость обрыва цепи определяется следующим уравнением:

$$V_o = (k_{рек} + k_{дисп}) \cdot [R\cdot]^2 \quad (4.7)$$

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

$$V_{пол} = k_p \left(\frac{f \cdot k_{pac}}{k_o} \right)^{1/2} [I]^{1/2} [M] \quad (4.8)$$

Длина кинетической цепи может быть выражена уравнением:

$$V = \frac{k_p^2}{2 \cdot k_o} \cdot \frac{[M]^2}{V_p} \quad (4.9)$$

Таким образом, длина кинетической цепи пропорциональна квадрату концентрации мономера и обратно пропорциональна скорости полимеризации.

Среднечисловая степень полимеризации выражается следующим уравнением:

$$P = \frac{V_p}{V_{o.p.} + V_{o.d.} + V_n} \quad (4.10)$$

где $V_{o.p.}$ - скорость реакции обрыва цепи рекомбинацией;

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

Следовательно, степень полимеризации определяется отношением скорости роста цепи к сумме скоростей всех процессов ограничения роста цепи, т.е. обрыва и передачи цепи.

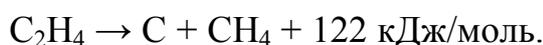
4.3 Влияние основных параметров на процесс полимеризации этилена

Полимеризация этилена при высоком давлении имеет следующие особенности:

- Высокое давление 115 – 342 МПа (1150-3420 кгс/см²) и температуру 415-580 К (145-315 °С);
- Большую 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 [29].

4.3.1 Влияние температуры

Повышение температуры приводит к увеличению скорости распада перекиси. Эффективность применяемых пероксидных 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:



Т.к. эти реакции экзотермичны, то произойдет резкое повышение температуры в реакторе. Такое разложение сопровождается еще и резким подъемом давления (это может привести к отрыву предохранительного клапана реактора и выбросу большого количества газа в атмосферу). С повышением температуры в процессе полимеризации увеличивается скорость полимеризации, но скорость роста цепи увеличивается медленнее, чем скорость передачи цепи. При этом с повышением температуры молекулярная масса полимера уменьшается; уменьшится и плотность продукта.

Температура в реакторе может регулироваться количеством подаваемого в реакционную зону инициатора и давлением этилена.

4.3.2 Влияние инициатора

Инициатор должен хорошо растворяться в растворителях, обладать стабильностью при хранении и безопасностью при работе. Инициаторы подразделяются на низкотемпературные (135 - 180 °С), среднетемпературные (180 - 260 °С) и высокотемпературные (260 - 280 °С) [25].

Количество подаваемого инициатора в реактор обычно мало и для обеспечения равномерности подачи его подают в реактор в виде раствора в нейтральном растворителе. Растворителем инициатора могут быть очищенный керосин или нефтяное масло, или другие инертные углеводороды.

Расход инициатора зависит от давления в зоне реакции, скорости подачи этилена и скорости перемешивания (в случае реактора с мешалкой) [29].

4.3.3 Тепловые эффекты процесса. Энергия Гиббса

Тепловой эффект полимеризации этилена составляет 90 кДж/моль. При степени превращения 26 % и при постоянном давлении этого количества тепла достаточно, чтобы повысить температуру более чем на 300 °С. в закрытых реакционных сосудах нагревание происходит практически в постоянном объеме и повышение температуры несколько выше, чем, если бы процесс протекал при постоянном давлении; в таких условиях могут протекать реакции разложения этилена. Эти реакции вызываются высокой температурой тем интенсивнее, чем выше давление.

4.4 Термодинамика процесса

Для предсказания конкретных условий, при которых возможно протекание реакции, а также для определения максимальной степени превращения исходных веществ и скорости реакции необходимо знать термодинамику процесса.

Тепловой эффект полимеризации этилена составляет 90 кДж/моль (22,5 ккал/моль). При степени превращения 25% и при постоянном давлении этого количества тепла достаточно, чтобы повысить температуру более чем на 573К. В закрытых реакционных сосудах нагревание происходит практически в постоянном объеме и повышение температуры несколько выше, чем если бы процесс протекал при постоянном давлении; в таких условиях могут протекать реакции разложения этилена. Эти реакции вызываются высокой температурой и протекают тем интенсивнее, чем выше давление.

Теплоты реакции и изменения свободной энергии приведены в таблице 4.

Таблица 4. Тепловые эффекты реакции в системах, содержащих этилен и полиэтилен [29].

Реакция	Теплота реакции, кДж/моль C ₂ H ₂		Изменение энергии Гиббса, кДж/моль	
	500К (227°C)	1500К (1227 °C)	500К (227°C)	1500К (1227 °C)
$C_2H_4 \leftrightarrow \frac{1}{2} (C_2H_4)_n$	88,8	80	-22	+10
$C_2H_4 \leftrightarrow 2C + 2H_2$	44	34	-77	-15
$C_2H_4 \leftrightarrow C + CH_4$	121	122	-108	-80
$\frac{1}{2} (C_2H_4)_n \leftrightarrow 2C + 2H_2$	-44	-46	-54	-25
$\frac{1}{2} (C_2H_4)_n \leftrightarrow C + CH_4$	32	42	-84	-18

Все процессы в природе самопроизвольно идут только в сторону уменьшения энергии Гиббса (изобарно-изотермического потенциала, $\Delta G < 0$). Согласно второму закону термодинамики, при умеренной температуре знак и величина изменения ΔG определяются в основном знаком и величиной теплоты реакции, поэтому наиболее вероятными являются экзотермические реакции. При более высокой температуре (1000К и выше) на величину и знак ΔG сильное влияние оказывает степень упорядоченности системы и более вероятными становятся реакции, приводящие к разупорядочению. Чем больше по абсолютной величине ΔG , тем более вероятной становится реакция.

5 Выбор и обоснование технологической схемы производства

Полимеризация этилена при высоком давлении осуществляется в реакторах трубчатого или автоклавного типа.

Реактор автоклавного типа относится к типу аппаратов идеального перемешивания. Это вертикальный цилиндрический аппарат с внутренним диаметром 0,3 - 0,4 м и отношением длины к диаметру 15 - 20. Аппарат снабжен трехлопастной мешалкой специальной конструкции с частотой вращения 16 - 25 об/с. Для обеспечения надежной герметизации автоклавного реактора привод перемешивающего устройства встроен в крышку. Иницируют полимеризацию перекиси и пероксиэфиры, которые в виде растворов в маслах дозирующими плунжерными насосами подают в автоклав. Реакция полимеризации протекает с выделением большого количества тепла (96,4 кДж/моль), которого достаточно для нагревания поступающего свежего этилена до температуры реакции.

Автоклавные реакторы имеют единичную мощность 15 - 25 тыс. т/год, конверсия этилена в них составляет 14 - 16 %.

Организация потоков в автоклав может осуществляться по одноступенчатой и многоступенчатой (чаще всего двухступенчатой) схеме.

В настоящее время основной выпуск ПЭНП осуществляют в высокопроизводительных трубчатых реакторах. Современные промышленные трубчатые реакторы полимеризаторы представляют собой последовательно соединенные теплообменники типа «труба в трубе». Трубки реактора имеют переменный диаметр (от 34 до 75 мм). Общая длина реакционной зоны может достигать 340 ÷ 1450 м, а отношение длины труб к диаметру составляет 10000 ÷ 12000. Для поддержания температурного режима в реакторе и обеспечения эффективного теплообмена проводится дополнительный ввод этилена и инициатора в различные зоны по длине реактора.

Многоступенчатый реактор более производительен. Одноступенчатый реактор при максимальной температуре реакции (315 °С) обеспечивает 16 - 18 % превращения за один проход. В двухступенчатом реакторе при той же темпера-

туре достигается 22 - 25 % превращения, а в трехзонном реакторе при двух боковых вводах (в первую зону подается 50 % газа, а во вторую и третью по 25 %) степень превращения может увеличиться до 27 - 33 %. Производительность четырехзонного аппарата (1-я зона – 50 % газа, 2-я и 3-я зоны по 15 % и 4-я зона – 20 %) по сравнению с трехзонным увеличивается незначительно, а потому практически не используется.

Трубчатые реакторы – аппараты «идеального вытеснения», т.е. в них реакционная масса движется в одном направлении, обратное движение массы практически исключается.

Температурный профиль в трубчатом реакторе зависит, главным образом при одном и том же инициаторе, от скорости реакции и интенсивности отвода тепла из зоны реакции.

5.1 Описание технологического процесса производства полиэтилена

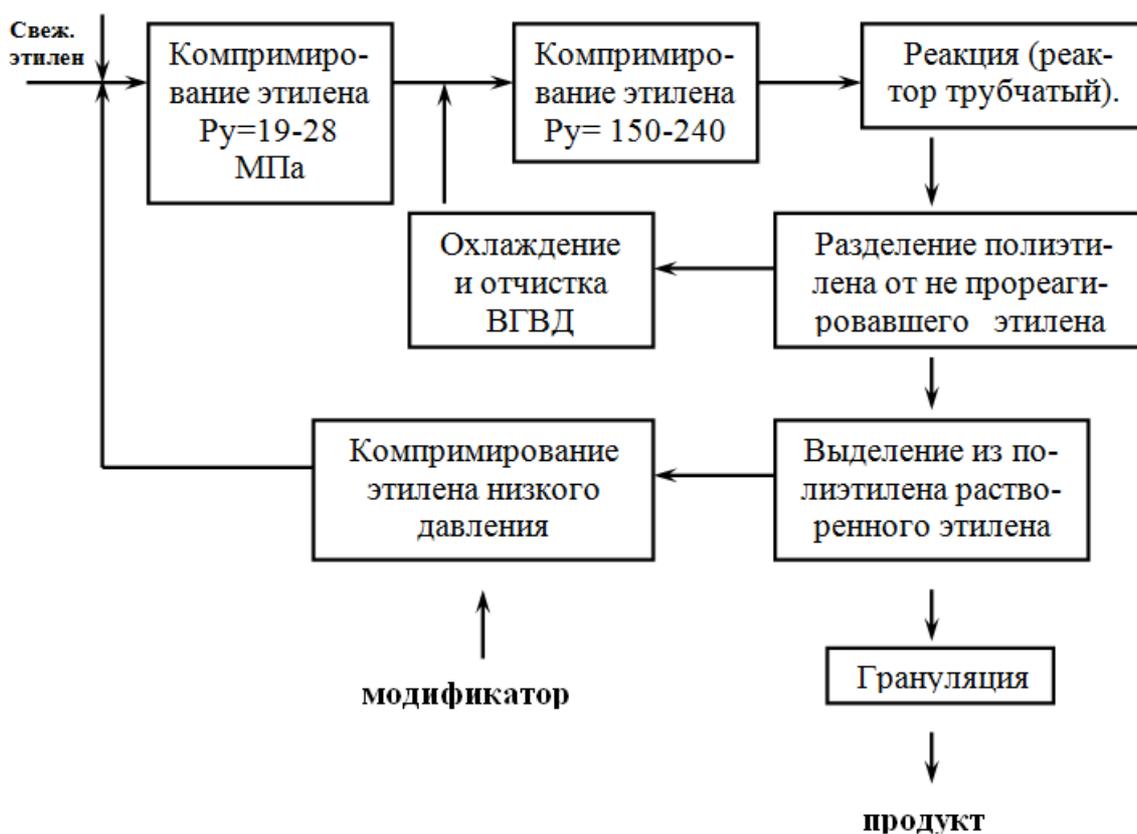


Рис. 4. Схема узлов производства ПЭВД.

На производственной схеме оборудование имеет специальное обозначение.

Позиция КИПиА на производственной схеме оборудование имеет специальное обозначение, показывающие функцию оборудования КИПиА и цифровое. Для технологической линии.

Символами D_i дополняются к позиции КИПиА, связанные с информационно-вычислительной системой (ИВС) - АСУТП:

5.1.1 Дозировка компонентов

Любая промышленная установка требует предварительной подготовки компонентов. Исходя из теоретических основ, рассмотрим, в каком виде должны подаваться исходные компоненты. Этилен должен быть сжат до рабочего давления, заранее смешан с кислородом и пропиленом (регулятором цепи).

5.1.2 Подготовка раствора инициаторов

Растворитель – масло «Ондина 917» со склада растворителя насосом Н-10 через фильтр Ф-10, поступает в приемную емкость – сборник (емкость для растворителя) поз. Е-1. Кроме того, растворитель может закачиваться в Е-1 с помощью центробежного насоса с пневмоприводом Н-11.

Из сборника Е-1 растворитель перекачивающим насосом Н-11 через фильтр Ф-11 подается в любую из смесительных емкостей Е-3 или Е-4.

Смесительные емкости предназначены для приготовления растворов инициаторов или смесей инициаторов, причем в емкости Е-4, имеющей рубашку для охлаждения содержимого емкости, готовится раствор для первой и второй зоны реактора, а в емкости Е-3 – для третьей зоны.

Инициаторы Тригонокс С (ТВРІN, ДТВР) в смесительные емкости Е-3 и Е-4 закачиваются из канистр емкостью 30 л с помощью насоса НР-1, установленным на линии нагнетания насоса Н-10.

Приготовленные растворы инициаторов и их смесей, далее перекачиваются насосами Н-3 и Н-4 через фильтр Ф-3/1 и Ф-4/1 в расходные емкости Е-5, и Е-6.

Расходные емкости Е-5, и Е-6 предназначены для создания условий непрерывной подачи приготовленных растворов инициаторов на всас центробежных насосов Н-5 и Н-6, обеспечивая таким образом непрерывность подачи растворов инициаторов на всас насосов высокого давления Н-1 и Н-2, и следовательно в реактор по трубопроводам Ду-3.

Расходные емкости предназначены:

Е-6 – для раствора Тригнокс С, Тригнокс В;

Е-5 – для раствора Тригнокс 36 или в смеси Тригнокс 36 и Тригнокс С; (Тригнокс 21S, Тригнокс 42S);

Кислород с давлением (1,45 - 2,1) МПа подается на Производство полиэтилена из азотно-кислородного цеха. От общего коллектора, кислород по отдельным трубопроводам подается на технологическую линию. На технологических линиях кислород проходит через фильтры Ф-1/1 и Ф-1/2, работающие поочередно, где очищается от механических примесей и поступает на узел регулирования давления и расхода. Перед включением в работу фильтры продуваются на "воздушку". Давление кислорода в системе поддерживается в пределах (1,45 - 2,1) МПа.

Для регулирования молекулярной массы и структуры полиэтилена в этилен, поступающий на полимеризацию, вводится модификатор, в качестве которого используется газообразный пропан, пропилен. Пропилен реакционноспособный модификатор, поэтому необходима постоянная тонкая дозировка пропилена 2-7 м³/ч. При прохождении через реактор он практически полностью вступает в реакцию. Газообразный пропилен дозируется в трубопровод перед бустерным компрессором К-1.

Подача сырья, материалов и энергоносителей на Производство осуществляется по двум вводам - ввод №1, №2.

Ввод №1 по нему на Производство поступают:

- азот Р = 0,6 МПа из азотно-кислородного цеха;

- воздух КИПиА из общекомбинатской сети;
- в КИПс расположены воздушные ресиверы Р-10, обеспечивающие часовую запас воздуха Производству полиэтилена в аварийном случае при понижении давления в сетях Производства ниже $4,5 \text{ кгс/см}^2$;
- пар $P = (1,8-2,2) \text{ МПа}$ с котельного цеха или с $P = 2,4 \text{ МПа}$ с Производства мономеров;
- конденсат технологический из цеха возвращается в общекомбинатскую сеть;
- теплофикационная вода обратная возвращается в общекомбинатскую сеть;
- масло "Оритес" со склада масел;
- масло "Ризелла-33" из склада масел.

Ввод № 2 по нему на Производство поступает:

- этилен с Производства Мономеров;
- жидкий пропилен со склада сжиженных газов;
- жидкий пропан со склада сжиженных газов;
- этилен на газоразделение Производства Мономеров подается с технологических линий;

кислород с давлением $(2,0-2,2) \text{ МПа}$ с азотно-кислородного цеха;

- пар из котельного цеха на установку полимеризации;
- пар с Производства мономеров на установку полимеризации;
- воздух КИПиА давлением $3,0 \text{ МПа}$;

Свежий этилен с давлением $(1,3-1,7) \text{ МПа}$ с производства Мономеров поступает в цех по общему коллектору и подается в трубную часть подогревателя П-1, обогреваемой паром $0,6 \text{ МПа}$ [23].

5.1.3 Компримирование этилена

Технически невозможно сжать этилен до 240 МПа в одну ступень, поэтому используют 2 каскада компрессоров, которые в свою очередь имеют три (первый каскад К-2) и две (второй каскад К-3) ступени сжатия. В связи с

тем, что газ при сжатии нагревается, имеются специальные холодильники в каждом каскаде компрессоров.

Узел компрессии предназначен для сжатия этилена до давления, при котором проводится процесс полимеризации.

При повышении давления у этилена, как и у других газов, изменяются температура и плотность. При повышении давления плотность этилена возрастает вначале значительно (1000 кг/м^3), затем ее возрастание замедляется. По этой причине сжатие этилена проводят в многоступенчатых компрессорах, между ступенями газ охлаждают в водяных холодильниках. Ступени сжатия выбраны таким образом, чтобы получить наибольшую производительность при минимальном объеме цилиндров и не допустить, разогрев газа при сжатии выше $90-110 \text{ }^\circ\text{C}$. При более высокой температуре происходит образование нагара в цилиндрах и возникает опасность разложения этилена.

Этилен после подогревателя П-1 подается в ресивер среднего давления Р-1 и ресивер низкого давления Р-2. В ресивер Р-1 подается возвратный газ среднего давления после сепаратора С-1 и от бустерного компрессора К-1.

Этилен из ресивера Р-1 после смешивания с кислородом в смесителе С-12, подаваемого с узла дозировки кислорода, поступает на всас компрессора I каскада К-2 где сжимается до давления (20 - 28) МПа и подается на всас компрессорам II каскада К-3.

Газ после компрессора I каскада К-2 с давлением (18-28) МПа через фильтры подается на всас компрессоров II каскада К-3. Включение компрессоров в работу выполняется только с разрешения с пульта ЦПУ поворотом ключа из положения "норма" в положение "разрешение". В аварийных ситуациях компрессор можно остановить с пульта ЦПУ кнопкой "стоп". Работа компрессоров контролируется с ЦПУ по сигнальным лампам на мнемосхеме, и мониторах АСУТП показывая остановку при загорании лампочек и работу при погасших.

Работа технологической линии возможно на одном или двух компрессорах II каскада. Компримирование и подача этилена в реактор компрессорами II каскада производится по двум самостоятельным потокам:

Подача этилена по потокам:

- на компрессор К-3/1,2:

1-ый поток → А-15/1 → 3-4 цилиндры → Ф-15/4 → 5,6 цилиндры → подогреватель 1-ой зоны реактора П-2.

2-ой поток → 151/3 → 1-2 цилиндры → Ф-15/1 → 7-8 цилиндры → холодильник – подогреватель 2-ой зоны ХТ-3

В границах компрессорной установки первые потоки компрессоров К-3 объединяются [23].

5.1.4 Полимеризация этилена

После компрессоров К-3 газ с давлением до 240,0 МПа и температурой не более 90 °С тремя потоками (при двух работающих компрессорах) подается в реакторный блок отделения полимеризации.

Этилен по первому потоку подается в подогреватель ПТ-1, где нагревается до температуры начала реакции (140-215) °С горячей водой поступающей в рубашку подогревателя из рубашки первой зоны реактора Р-1.

Подогреватель ПТ-1 представляет собой аппарат типа "труба в трубе" длиной 208 м и диаметром трубы высокого давления 40 мм.

Газ после подогревателя ПТ-1 с температурой (140 - 215) °С поступает в первую зону реактора Р-1/2. Между БК 1 и Р-1/2 расположен первый ввод инициатора (линза с отводом Ду 40, Ру - 2500, диаметр сужающего устройства линзы 15 мм).

Реактор Р-1/2 представляет собой аппарат типа "труба в трубе", длиной 525 м и диаметром 40 мм. В рубашку реактора, для разогрева перед пуском и для нагрева и снятия тепла реакции полимеризации, подается вода с температурой (190-220) °С и давлением до 5,0 МПа из емкости Е-10 станции приготовления воды.

Из 1-ой зоны реактора реакционная смесь подается во 2-ю зону реактора Р-1/5. Перед второй зоной реактора реакционная смесь смешивается с этиленом второго потока.

Для повышения конверсии этилена по длине реактора вводится холодный этилен с отделения компрессии по второму (3-х зонный процесс). Второй поток газа проходит через холодильник - подогреватель ХТ-3, представляющий собой теплообменник типа "труба в трубе" длиной 105 м и диаметром 40 мм.

Реакционная масса после точки смешения подается во вторую зону реактора Р-1/5, представляющий собой аппарат типа "труба в трубе" длиной 337 м и внутренним диаметром трубы высокого давления 6 см. Между первой и второй секциями Р-1/5 расположен второй ввод инициатора (линза с отводом Ду 60, Ру - 2500, диаметр сужающего устройства линзы 24 мм).

Для отвода тепла полимеризации, в рубашку реактора Р-1/5 подается горячая вода из емкости Е-10 станции горячей воды, с температурой (190 - 220) °С и давлением (3,0 - 5,0) МПа. Температура воды (190 - 230) °С. Реакционная масса из второй зоны реактора Р-1/5 подается в третью зону Р-1/6. Третья зона реактора Р-1/6 представляет собой аппарат типа "труба в трубе" длиной 449 м, с внутренним диаметром трубы высокого давления 6 см. Между одиннадцатой и двенадцатой секциями Р-1/6 расположена третья подача инициатора (линза с отводом Ду 60, Ру - 2500, диаметр сужающего устройства линзы 24 мм).

При трехзонном процессе полимеризации этилен с отделения компрессии по второму потоку через холодильник ХТ-4 подается на смешение с реакционной массой после первой зоны реактора Р-1/2.

Для отвода тепла полимеризации, в рубашку реактора подается горячая вода из емкости Е-10 станции горячей воды, с температурой (170 - 235) °С и давлением (10 - 45) Кгс/см².

Реакционная смесь после третьей зоны реактора Р-1/6 подается в первый продуктовый холодильник ХТ-5.

Холодильник ХТ-5 представляет собой аппарат типа "труба в трубе" длиной 220 м. и внутренним диаметром трубы высокого давления 60 мм.

Реакционная масса в холодильнике охлаждается подогретой деминерализованной водой, которая подается в рубашку с давлением (11 - 25) Кгс/см²

и температурой (120 - 200) °С из емкости Е-11 станции горячей воды установки полимеризации этилена.

После первого продуктового холодильника ХТ-5 реакционная масса по трубопроводу подается к регулируемому давлению в реакторе клапану "Бейлера".

После клапана "Бейлера" расплав полимера с температурой не больше 315 °С подается во второй продуктовый холодильник ХТ-6, представляющий собой трубчатку, длиной 219 м и диаметром трубы высокого давления 6 см.

В рубашку холодильника подается горячая вода с температурой (120 - 200) °С и давлением (11 - 25) Кгс/см² [23].

Реакционная масса после холодильника ХТ-6 по материалопроводу, обогреваемому паром 2,2 МПа подается в (ОВД) О-1, где разделяется на жидкую фазу с растворенным в ней этиленом и на газовую-возвратный газ высокого давления (ВГВД).

Материалопровод представляет собой трубопровод высокого давления Ду = 80 мм, снабженный рубашкой обогреваемой паром 22 Кгс/см².

Расплав полиэтилена по трубопроводу, обогреваемому паром Р = 22 Кгс/см² поступает в ОНД О-2, где происходит отделение полиэтилена от остаточного этилена. О-2 представляет собой аппарат вместимостью 14 м³, оборудованный рубашкой, в которую подается пар - 22 Кгс/см².

5.1.5 Отделение и очистка возвратного газа высокого, среднего и низкого давления

Отделение непрореагировавшего этилена от полиэтилена проводится в две стадии: основная масса этилена (около 95-98 %) отделяется при 265 атм. (265 Кгс/см²) в отделителе высокого давления.

Масса, выходящая из реактора, это смесь полимера и непрореагировавшего этилена с содержанием полиэтилена 11 - 19 мас. % в зависимости от конверсии. Указанная выше смесь подается из реактора в отделитель, где при давлении 270 атм. (265 Кгс/см²) и температуре 221 °С разделяется на две фазы: жидкую расплавленный полиэтилен, содержащий 7 - 8 % (по отношению

к количеству полиэтилена) растворенного этилена, и газовую – этилен. Разделение при более высоком давлении было бы более экономично, поскольку выделившийся этилен необходимо снова сжимать до реакционного давления, затрачивая на это дополнительную электроэнергию. Тем не менее, этот процесс проводят в отделителе при давлении 215 -300 атм. (215 – 294 Кгс/см²), т.к. только при этом давлении обеспечивается достаточно полное разделение.

Реакционная масса, проходя через продуктовый холодильник ХТ-6 и реакторный блок, подается в отделитель высокого давления (ОВД) О-1. Подача расплавленной массы происходит через верхнюю крышку аппарата. Непрореагировавший этилен подвергается очистке от содержащегося в нем полимера и охлаждению.

Процесс очистки основан на понижении температуры, растворимость полиэтилена в этилене при этом снижается, и он осаждается из газа. Вследствие того, что полиэтилен смесь молекул с различной молекулярной массой, при понижении температуры сначала выделяется высокомолекулярная часть с более высокой температурой застывания. Поэтому температуру понижают ступенчато, чтобы на каждой ступени осадившийся полиэтилен был жидким, и его легко можно было бы удалить из холодильника.

Расплав содержащий полимер поступает в О-2 отделения грануляции. В процессе работы в О-1 поддерживается оптимальный уровень расплава (40-60) % (1000 - 1500) мм. При увеличении уровня может произойти унос полимера в систему рецикла возвратного газа и ее забивке. Снижение уровня ведет к прорыву газа в отделитель низкого давления и последующему росту давления в ОНД О-2.

С ОВД О-1 газ ВД поступает в сепаратор высокого давления Ц-1 обогреваемый паром 22 который подается в рубашку аппарата, Х-1 газ охлаждается горячей водой, которая подается в межтрубное пространство со станции приготовления воды с температурой (129-159) °С. После газ поступает в сепаратор газа высокого давления Ц-2, затем в холодильник Х-2, охлаждаемый оборотной водой. Далее поступает в сепаратор высокого давления Ц-3,4, обогреваемый паром 6 кг/см², который подается в рубашку аппарата.

После сепаратора Ц-3,4 газ разделяется на два потока. Один поток направляется на узел (Кр-1) и электрозадвижки НАЕ-01, регулирующих давление в узлах при технологическом процессе. Электрозадвижка НАЕ-02 (Кр2) регулирует превышение давления в ОВД, при давлении в ОВД более 300 Кгс/см² электрозадвижка открывается и газ частично сбрасывается в колонну К-1. Клапан PIRCA-Di- 02 регулирует давление газа поступающего после колонны К-1 на всас компрессоров К-3. При понижении давления на всасе компрессоров, клапан Кр1 закрывается и основной поток газа после сепаратора Ц-3 направляется в колонну К-1. При повышении давления на всасе компрессоров клапан Кр1 открывается и газ после сепаратора Ц-3 частично направляется в колонну К-2.

Второй поток, основной объем газа, через электрозадвижку НІЕ-Н-03 направляется в холодильники типа "труба в трубе" Х-3,4, в трубное пространство которых, подается обратная вода либо захлажденный конденсат. Охлажденный газ после холодильников с температурой 110 °С подается во второй сепаратор Ц-5,6, где происходит дальнейшее отделение НМПЭ от газа. Выделенный из газа НМПЭ под давлением удаляется в сепаратор среднего давления С-2. Газ, с остатками НМПЭ, из сепаратора Ц-5,6 подается в смеситель С-3, и далее на всас компрессора К-3.

В случае забивки холодильников Х/1-4 НМПЭ схемой предусмотрена подача пара 22 Кгс/см² в рубашки холодильников для расплава полимера. Для расплавления полимера отложившегося на стенках холодильников схемой предусмотрено изменение направления потока горячего газа от сепаратора Ц-3,4 в холодильники Х/3-4, далее в сепаратор Ц-5,6 данная операция теоретически возможна при непрерывном технологическом процессе, но осуществлять ее можно только при остановленной технологической линии.

Окончательно газ высокого давления очищается от НМПЭ в колоннах очистки возвратного газа высокого давления К-1, 2. Колонны К-1, 2 представляют собой вертикальный цилиндрический аппарат вместимостью 4,5 м³, внутри оборудован отбойными тарелками, с рубашкой для обогрева паром 0,6 МПа. При подготовке аппаратов к ремонтным работам пропарки и

для очистки тарелок от отложений НМПЭ, схемой предусмотрена подача острого пара 2,2 МПа внутрь колонн.

Загрязненный конденсат после пропарки и промывки тарелок колонн К-1, 2 сливается в канализацию, НМПЭ в тару.

Для проведения ремонтных работ на колонне К-1 схемой предусмотрена байпасная линия. Для продувки колонн К-1, 2 от кислорода и этилена используется азот с давлением 20,0 МПа.

Выгрузка НМПЭ осуществляется вручную открытием ручных вентиляей.

Газ из сепаратора С-2 поступает во вторичный сепаратор С-1, вертикальный, цилиндрический аппарат вместимостью 0,63 м³ снабженный рубашкой для обогрева паром с давлением 0,6 МПа. Для продувки сепаратора от этилена, кислорода и продувки трубопровода от сепаратора С-1 до ресивера Р-2 используется азот с давлением 0,6 МПа. Для анализа газа высокого давления, на трубопроводе перед вторичным сепаратором С-1 установлен пробоотборник.

Газ из сепаратора С-1 подается в ресивер Р-1 отделения компримирования.

Низкомолекулярный полиэтилен из сепараторов С-1, 2 периодически сливается в тару.

Кроме НМПЭ из сепараторов С-1,2 в сборник С-4 поступает охлажденный в кожухотрубчатых холодильниках Х-10/1,2 возвратный газ низкого давления отделения грануляции.

5.1.6 Первичная грануляция

Расплав полиэтилена из нижней части отделителя низкого давления поступает в гранулятор, расположенный непосредственно под отделителем.

Гранулятор представляет собой одношнековый экструдер, с отношением длины к диаметру 10:1, в выходной части которого, установлена плита с отверстиями (фильерами), через которые полиэтилен выдавливается в вид тонких жгутов. По другую сторону плиты расположено режущее устройство, состоящее из примыкающих к плите вращающихся ножей. Выходящие из от-

верстий жгуты режутся ножами; полученные гранулы охлаждаются водой, затвердевают и поступают в отделение конфекционирования.

Управление процессом грануляции заключается в поддержании постоянного уровня в отделителе низкого давления. Для этого необходимо регулировать производительность экструдера, скорость вращения шнека, размер гранул, скорость вращения привода ножей и дозировку добавок, если они вводятся в полиэтилен [23].

5.1.7 Конфекционирование

Узел конфекционирования предназначен для окончательной подготовки полиэтилена к отправке потребителю. Подготовка включает: формирование товарных партий (придание необходимой степени однородности свойств), анализ готовых партий по показателям ГОСТа с оформлением паспорта, упаковку и маркировку полиэтилена. Полученные на узле первичной грануляции гранулы могут поступать в отделение конфекционирования посредством гидро и пневмотранспорта.

При гидротранспортировке гранулы с водой специальным насосом подаются в водоотделитель, затем в центрифугу, а обезвоженные гранулы – пневмотранспортом через автоматические весы в анализные бункеры.

Подача гранул в отделение конфекционирования гидротранспортом сложнее, но исключается появление пыли и стружки, которые образуются при пневмотранспортировке. Из анализных бункеров берутся пробы гранул, в которых определяется ПТР и количество включений. После анализа гранулы из нескольких анализных бункеров, имеющих ПТР в пределах, установленных технологическим регламентом, поступают в смесители, где формируются партии. В смесителях полиэтилен, поступивший из разных бункеров, смешивают так, чтобы значения ПТР проб, взятых из любого места готовой партии, были близки между собой. Это необходимо для того, чтобы партию полиэтилена можно было перерабатывать при одном и том же режиме и получать одинаковые по качеству изделия. При малой разнице значений ПТР полиэтилен из различных анализных бункеров можно соединять в партии без

перемешивания, при этом его качество не ухудшается. На этом основан способ формирования партий путем сортировки: после определения ПТР полиэтилен направляется в товарный бункер непосредственно из анализных бункеров, причем в каждый товарный бункер должен попадать продукт в узком диапазоне ПТР. После смешения базовые марки не требуют больше никакой обработки, поэтому после анализа по всем показателям, предусмотренным ГОСТом, готовая партия из смесителя пневмотранспортом подается в бункеры готовой продукции.

Часть полиэтилена выпускается не в виде базовых марок, а подвергается дополнительной обработке. Для этого гранулы после смесителя поступают в бункеры линии вторичной грануляции. Для получения всех указанных марок материал предварительно смешивается с концентратами стабилизаторов, красителей или сажевым концентратом в смесителях различного типа. Для получения марок с трудно смешиваемыми компонентами (например, минеральные наполнители, каучукоподобные материалы) вместо сухого смешения производится горячее смешение в тяжелых смесителях типа «Бенбери». Во время горячего смешения и последующей грануляции материал расплавляется и обволакивает частицы наполнителя, красителя и других добавок. Происходит горячая гомогенизация. После гранулятора гранулы пневмотранспортом подаются в товарные бункеры. Готовый материал расфасовывается в мешки.

5.2 Аналитический контроль[5-11]

Таблица 5. Наименование сырья, материалов, продукта и места его отбора.

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели	Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5	6	7	8
Входной контроль							
1	Тригнокс С (третбутилпероксибензоат), сертификат	Первичный входной контроль	Каждая партия при поступлении на склад хранения перекиси	-	Визуальный	-	Инженер по ресурсному обеспечению ППЭ
2	Тригнокс 42S сертификат	Первичный входной контроль	Каждая партия при поступлении на склад хранения перекиси	-	Визуальный	-	Инженер по ресурсному обеспечению ППЭ
3	Тригнокс 36-С75, сертификат	Первичный входной контроль	Каждая партия при поступлении на склад хранения перекиси	-	Визуальный	-	Инженер по ресурсному обеспечению ППЭ
4	Тригнокс В, сертификат	Первичный входной контроль	Каждая партия при поступлении на склад хранения перекиси	-	Визуальный	-	Инженер по ресурсному обеспечению ППЭ
5	Тригнокс-21S, сертификат	Первичный входной контроль	Каждая партия при поступлении на склад хранения перекиси	-	Визуальный	-	Инженер по ресурсному обеспечению ППЭ
6	Луперокс Di, сертификат	Первичный входной контроль	Каждая партия при поступлении на склад хранения перекиси	-	Визуальный	-	Инженер по ресурсному обеспечению ППЭ
7	Луперокс-26, сертификат	Первичный входной контроль	Каждая партия при поступлении на склад хранения перекиси	-	Визуальный	-	Инженер по ресурсному обеспечению ППЭ

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели	Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5	6	7	8
8	Налко 1801(TRI-ACT) , сертификат	Первичный входной контроль	Каждая партия при поступлении на склады УМТОП	-	Визуальный	-	Инженер по подготовке производства ППЭ
9	Масло «Marcol-82», Сертификат	Первичный входной контроль	Каждая партия при поступлении на склад хранения масел	-	Визуальный	-	Инженер по ресурсному обеспечению ППЭ
10	Масло FINAVESTAN A 80 B, сертификат	Первичный входной контроль	Каждая партия при поступлении на склады УМТОП	-	Визуальный	-	Инженер по подготовке производства ППЭ
11	Масло «Shell Ondina» 917, Сертификат	Первичный входной контроль	Каждая партия при поступлении на склады УМТОП	-	Визуальный	-	Инженер по подготовке производства ППЭ
12	Масло «Shell Tellus-68», Сертификат	Первичный входной контроль	Каждая партия при поступлении на склады УМТОП	-	Визуальный	-	Инженер по подготовке производства ППЭ
13	Масло «Шелл Мадрелла Е», Сертификат	Первичный входной контроль	Каждая партия при поступлении на склады УМТОП	-	Визуальный	-	Инженер по подготовке производства ППЭ
14	Масло «Гидроникойл FH-51» , Сертификат	Первичный входной контроль	Каждая партия при поступлении на склады УМТОП	-	Визуальный	-	Инженер по подготовке производства ППЭ
15	Масло "Оритес 270 DS", сертификат	Первичный входной контроль	Каждая партия при поступлении на склады УМТОП	-	Визуальный	-	Инженер по подготовке производства ППЭ
16	Масло промышленное И-40А (И-Г-А-68), ГОСТ 20799-88 с изм. 1-5 И-50А (И-ГТ-А-100),	1. Вязкость кинематическая при 40 °С, мм ² /с И-40А	Каждая партия при поступлении на склады УМТОП	61 – 75	ГОСТ 33-2016	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер по подготовке производства ППЭ

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели	Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5	6	7	8
	ГОСТ 20799–88 с изм. 1–5 – из транспортной тары	И-50А		90 – 110	ГОСТ 4333–2014		
		2. Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С, не ниже И-40А		220			
		И-50А		225			
		3. Содержание воды, % И-40А		Следы	ГОСТ 2477–2014		
		И-50А		Следы			
		4. Содержание механических примесей, % И-40А		Отсутствие	ГОСТ 6370–83 с изм. 1		
		И-50А	Отсутствие				
5. Температура застывания, °С	Каждая партия при поступлении на склады УМТС или к.1044	Не выше минус 15	По паспорту поставщика				
2. Температура вспышки,		Не ниже 210	ГОСТ 4333-2021				

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели	Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5	6	7	8
		определяемая, в открытом тигле °С					
		3.Содержание механических примесей, %		отсутствие	ГОСТ 6370-83, изм.1		
		4.Содержание воды, %		следы	ГОСТ 2477-2014 или МКХА 30-14-01-15		
17	Масло вазелиновое медицинское, ГОСТ 3164-78 с изм. 1-4, – из транспортной тары	1. Вязкость кинематическая при 50°С мм ² /с - для масел из западно-сибирских нефтей 2. Температу ра вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С 3.Содержание воды и парафина	Каждая партия при поступлении на склад масел	28,0 – 38,5 26,0 – 38,5	ГОСТ 33-2016	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер по подготовке производства ППЭ
				Не ниже 185	ГОСТ 6356-75 с изм. 1-3		
				Отсутствие	ГОСТ 3164-78 с изм. 1-4		

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели	Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5	6	7	8
		4.Плотность при 20°С, г/см ³ - для масел из западно-сибирских нефтей		0,870 – 0,890 Не менее 0,850	ГОСТ 3900–85 с изм. 1		
18	Масло вазелиновое «Пионер 2060»	Первичный входной контроль	Каждая партия при поступлении на склады УМТОП	-	Визуальный	-	Инженер по подготовке производства ППЭ
Производственный контроль							
19	Этилен ГОСТ 25070-2013 на выходе с производства мономеров	1. Объемная доля этилена, %	По согласованию	Не менее 99,9	ГОСТ 24975.1-89 п.6.5 или ASTM D 6159-97	-	По данным лаборатории производства мономеров
		2. Объемная доля пропилена, %	По согласованию	Не более 0,005	ГОСТ 24975.1-89 п.4.1 или ASTM D 6159-97	-	
		3. Объемная доля окиси углерода, %	По согласованию	Не более 0,0005	ГОСТ 24975.1-89 п.4.5	-	
		4. Объемная доля двуокиси углерода, %	По согласованию	Не более 0,001	ГОСТ 24975.1-89 п.4.5	-	
		5. Объемная доля диеновых углеводородов, %	По согласованию	Не более 0,0005	ASTM D 6159-97	-	
		6. Массовая доля воды в продукте, поставляе-	По согласованию	Не более 0,001	ГОСТ 24975.5-91 или автоматиче-	-	По данным лаборатории производства мономеров

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели		Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5		6	7	8
		мом по трубопроводу, %				ский влагомер типа ШОУ		
	Этилен ГОСТ 25070-2013 на входе на установку перед подогревателем этилена	7. Объемная доля ацетилена, %	1 раз в смену и по требованию	Не более 0,001		ГОСТ 24975.1-89 п.4.2 или ASTM D 6159-97	Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
	ГОСТ 25070-2013	8. Объемная доля метана и этана в сумме, %	1 раз в смену и по требованию	Не более 0,1		ГОСТ 24975.1-89 п.4.1 или ASTM D 6159-97	Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		9. Объемная доля кислорода в продукте, поставляемом по трубопроводу, %	По согласованию	Не более 0,0005		ГОСТ 24975.3-81 с изм.1 или МХКА 30-14-08-27	Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		сумма углеводородов C ₃ в том числе пропилена	По согласованию	не менее 96,0 не более 0,2	не менее 90,0 не более 10,0		Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		сумма углеводородов C ₄	По согласованию	не выше 3,0	не выше 10,0		Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		сумма углеводородов C ₅	По согласованию	отс	не выше 1,0		Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели		Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5		6	7	8
20	Пропилен ГОСТ 25043-2013 на выходе с производства мономеров	1. Объемная доля пропилена, %	По согласованию	<u>В.с</u> Не менее 99,8	<u>Л.с</u> Не менее 99,0	ГОСТ 24975.1-89 п.6.5 или МХКА 30-14-01-94		По данным лаборатории производства мономеров
		2. Объемная доля этилена, %	По согласованию	Не более 0,005	Не более 0,01	ГОСТ 24975.1-89 п.6.1 или МХКА 30-14-01-94		
		3. Объемная доля ацетилена и метилацетилена, %	По согласованию	Не более 0,001	Не более 0,005	ГОСТ 24975.1-89 п.6.2 или МХКА 30-14-01-94		
		4. Объемная доля углеводородов C ₄ , %	По согласованию	Не более 0,002	Не более 0,05	МХКА 30-14-01-94		
		5. Объемная доля диеновых углеводородов (пропадиена и бутадиена), %	По согласованию	Не более 0,001	Не более 0,015	МХКА 30-14-01-94		
		6. Объемная доля этана и пропана, %	По согласованию	Не более 0,2	Не более 0,7	ГОСТ 24975.1-89 п.6.1 или МХКА 30-14-01-94		
21	Возвратный газ после сепаратора С-1 (при использовании пропилена)	1. Объемная доля пропилена, %	По согласованию	Не нормируется (определение обязательно)		МХКА 30-14-08-30	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		2. Объемная доля метана и этана и в	1 раз в смену и по требованию	Не нормируется (определение обязательно)		МХКА 30-14-08-30		

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели	Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5	6	7	8
		сумме, %					
22	Кислород газообразный технический 2-й сорт ГОСТ 5583-78 перед компрессором К-2	1. Объемная доля кислорода, %	по требованию, но не реже 1 раза в год	Не менее 99,5	ГОСТ 5583-78 с изм.1-4, п.3.2	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		2. Объемная доля водяных паров, %	по требованию, но не реже 1 раза в год	Не более 0,009	ГОСТ 5583-78 с изм.1-4, п. 3.3 или автоматический влагомер типа ШОУ	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
23	Воздушная среда в помещениях, на наружных установках перед проведением огневых и газоопасных работ. Корпусов ППЭ (точное место отбора анализа – согласно наряду-допуску или разрешению)	1. Взрывопожароопасная концентрация горючих газов и паров, %	По согласованию	отсутствие	Сигнализатор типа СГГ или эксплозиметр ЭТХ	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		2. Объемная доля кислорода, %	По согласованию	Не менее 20	МХКА 30-14-08-24	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		2. Объемная доля кислорода, %	По согласованию	Не нормируется (определение обязательно)	МХКА 30-14-08-24	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		3. Объемная доля этилена, %	По согласованию	Не нормируется (определение обязательно)	МХКА 30-14-08-30	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		4. Объемная доля пропилена, %	По согласованию	Не нормируется (определение обязательно)	МХКА 30-14-08-30	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
24	Рабочая среда из аппаратов и трубопроводов перед приемом взрывопожароопасных сред	1. Объемная доля кислорода, %	По согласованию	Не более 0,2	МХКА 30-14-08-24 или МХКА 30-14-08-27	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели	Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5	6	7	8
25	Азот или этилен перед пуском или остановкой производств. ППЭ:С-2, К-1, С-1, К-2, Р-2, О-2	1. Объемная доля азота, %	При пуске, остановке, по требованию	Не нормируется (определение обязательно)	МХКА 30-14-08-30	Аппаратчик ПЭ или машинист к/у и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		2. Объемная доля этилена, %	При пуске, остановке, по требованию	Не нормируется (определение обязательно)	МХКА 30-14-08-30	Аппаратчик ПЭ или машинист к/у и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
26	Деминерализованная вода на входе на УПЭ с эстакады	1. Солеосодержание, мкг/дм ³	По согласованию	Не нормируется (определение обязательно)	МХКА 30-14-02-29 с изм.2		По данным лаборатории производства мономеров
		2. Показатель рН	По согласованию	Не нормируется (определение обязательно)	МХКА 043-2008		По данным лаборатории производства мономеров
		3. Жесткость общая, мкг/дм ³	По согласованию	Не нормируется (определение обязательно)	МХКА 30-14-08-39		По данным лаборатории производства мономеров
		4. Кислород растворенный, мкг/дм ³	По согласованию	Не нормируется (определение обязательно)	МХКА 30-14-03-17		По данным лаборатории производства мономеров
		5. Железо общее, мкг/дм ³	По согласованию	Не нормируется (определение обязательно)	МХКА 30-14-08-33		По данным лаборатории производства мономеров
		6. Медь, мкг/дм ³	По согласованию	Не нормируется (определение обязательно)	МХКА 019-2007		По данным лаборатории производства мономеров
		7. Кремниевая кислота, мкг/дм ³	По согласованию	Не нормируется (определение обязательно)	МХКА 30-14-07-31		По данным лаборатории производства мономеров
		8. Содержание CL,	По согласованию	Не нормируется (определение	МХКА 30-14-08-35		По данным лаборатории производства мо-

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели	Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5	6	7	8
		мкг/дм ³		обязательно)			номеров
27	Вода оборотная из коллектора В-5 на входе узла компримирования	1. Взвешенные вещества, мкг/дм ³	1 раз в месяц	Не более 25	МХКА 30-14-03-16	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		2. Жесткость общая, ммоль/дм ³	1 раз в месяц	Не более 3,9	МХКА 30-14-08-39	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		3. Показатель рН	1 раз в месяц	6,5 - 9	МХКА 043-2008	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
28	Захоложенная вода на входе узла компримирования	1. Показатель рН	по требованию	Не нормируется (определение обязательно)	МХКА 043-2008	Аппаратчик или машинист и лаборант химического анализа	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		2. Солеодержание, мкг/дм ³	по требованию	Не нормируется (определение обязательно)	МХКА 30-14-02-29 с изм.2	Аппаратчик или машинист и лаборант химического анализа	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
29	Циркуляционная вода из емкостей Е-15, Е-16 и насосов Н-15, Н-16.	1. Солеодержание, мкг/дм ³	2 раза в месяц	Не более 1200	МХКА 30-14-02-29 с изм.2	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		2. Показатель рН	1 раз в сутки и по требованию	9 - 10	МХКА 043-2008	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		3. Жесткость общая, мкмоль/дм ³	2 раза в месяц	Не более 5	МХКА 30-14-08-39	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		4. Кислород растворенный, мкг/дм ³	2 раза в месяц	Не более 30	МХКА 30-14-03-17	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		5. Железо общее, мкг/дм ³	1 раз в 2 месяца	Не более 30	МХКА 30-14-08-33	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		6. Медь, мкг/дм ³	1 раз в 2 месяца	Не более 30	МХКА 019-2007	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории	Инженер химического анализа 1 категории

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели	Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5	6	7	8
		18203-035		$5,5 \pm 25$			
		2. Определен ие массовой доли гранул, % 2.1 размером от 1 до 2 мм: - для марок, предназна- ченных для изготовления пленок спе- циального назначения 2.2 размером от 5 до 8 мм:	По согласованию	Не более 0,5 Не более 0,25 Не более 0,25	ГОСТ 16337- 77 с изм.1 – 3 п.3.8	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		3. Определе- ние массовой доли серых и окисленных гранул, %: - высший сорт - первый сорт - второй сорт	1 раз в сутки, при отклонении от нор- мального техноло- гического режима по требованию	Не допускается Не допускается Не более 0,1	ГОСТ 16337- 77 с изм.1 – 3 п.3.9	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		4. Наличие слипшихся гранул, %	По согласованию	Не допускается	ГОСТ 16337- 77 с изм.1 – 3 п.3.8	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели	Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку						
1	2	3	4	5	6	7	8						
		5. Определе-ние количе-ства включе-ний, шт. для марок	Один раз в час и по требованию при отклонении от нор-мального техноло-гического режима	В.с. 1 с. 2 с.	ГОСТ 16337-77 с изм.1 – 3 п.3.14	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ						
		15303-003		2				8	30				
		15803-020		2				8	30				
		16204-020		2				8	30				
		16803-070		2				8	30				
		16305-005		2				8	30				
		17803-015		2				8	30				
		15503-004		2				8	30				
		16603-011		2				8	30				
		17603-006		2				8	30				
		17703-010		5				8	30				
		18003-030		5				10	30				
		18103-035		5				10	30				
		15003-002		2				8	30				
		18203-055		5				10	30				
								6. Массовая доля экстра-гируемых веществ, % для марок 15303-003 15803-020 Высший сорт Первый, вто-рой сорт	По согласованию	Не более 0,4	ГОСТ 16337-77 с изм.1 – 3 п.3.14	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
								Не более 0,6					
		31		Масло «Гидроникойл FH-51»				1. Вязкость кинемати-	2 раза в год и по тре-бованию	Не менее 10	ГОСТ 33-2016	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории	Инженер химического анализа 1 категории

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели	Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5	6	7	8
	- Из гидроаккумуляторной станции - из маслостанций клапана Бейлера, гидравлических систем ППЭ	ческая при 50 °С, мм ² /с				ЦЗЛ	ЦЗЛ
		2. Массовая доля механических примесей, %	По согласованию, аналитический контроль 2 раза в год	Не более 0,003	ГОСТ 10577-78 с изм.1-3	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		3. Содержание воды, %	По согласованию, аналитический контроль 2 раза в год	Отсутствие	ГОСТ 2477-2014	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		4. Температура застывания, °С	По согласованию, аналитический контроль 2 раза в год	Не выше минус 70	ГОСТ 20287-91	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		5. Плотность при 20 °С, г/см ³	По согласованию, аналитический контроль 2 раза в год	Не более 0,88	ГОСТ 3900-85 с изм.1	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
32	Масла промышленные, общего назначения, И-40А, И-50А, ГОСТ 20799-88 с изм.1-5; ИГП-38, ТУ 38.101413-97 с изм.1 из маслобаков насосов Н-15, 16	1. Содержание воды, %	1 раз в месяц; по требованию	следы	ГОСТ 2477-2014	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		2. Содержание механических примесей, %	1 раз в месяц; по требованию	отсутствие	ГОСТ 6370-83 с изм.1	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		3. Вязкость кинематическая при 40 °С, мм ² /с, для: И-40А И-50А ИГП-38	По согласованию, аналитический контроль 2 раза в год		61 – 75 90 – 110 55 – 65	ГОСТ 33-2016	Старший аппаратчик ПЭ и инженер 4 категории ЦЗЛ

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели	Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5	6	7	8
33	Масло турбинное ТП-22 ГОСТ 9972-2020 со станции смазки электродвигателя на подшипники главного двигателя экструдера Э-1	1. Содержание механических примесей, %	По согласованию, аналитический контроль 2 раза в год	отсутствие	ГОСТ 6370-83 с изм.1	Машинист гранулирования пластических масс ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		2. Содержание воды, %	По согласованию, аналитический контроль 2 раза в год	Отсутствие	ГОСТ 2477-2014	Машинист гранулирования пластических масс ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		3. Вязкость кинематическая при 40 °С, мм ² /с	По согласованию, аналитический контроль 2 раза в год	28,8 - 35,2	ГОСТ 33-2016	Машинист гранулирования пластических масс ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
34	Масло трансмиссионное ЯрМарка «Супер Э»(ТМ5-18) ТУ 0253-018-00219158-96 с изм.1.2 Из станции смазки редукторов экструдера Э-1 Из станции смазки упорного подшипника экструдера Э-1	1. Вязкость кинематическая при 100°С, мм ² /с	По согласованию, аналитический контроль 2 раза в год	13,5 - 15,5	ГОСТ 33-2016	Машинист гранулирования пластических масс ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		2. Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С	По согласованию, аналитический контроль 2 раза в год	Не ниже 185	ГОСТ 4333-2021	Машинист гранулирования пластических масс ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		3. Массовая доля механических примесей, %	По согласованию, аналитический контроль 2 раза в год	Не более 0,01	ГОСТ 6370-83 с изм.1	Машинист гранулирования пластических масс ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		4. Массовая доля воды, %	По согласованию, аналитический контроль 2 раза в год	следы	ГОСТ 2477-2014	Машинист гранулирования пластических масс ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели	Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5	6	7	8
35	Масло гидравлическое «Шелл Теллус-68», из маслобаков насосов Н-1, 2.	1. Содержание механических примесей, %	по требованию	отсутствие	ГОСТ 6370-83 с изм.1	Машинист насосных установок и лаборант химического анализа	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		2. Содержание воды, %	по требованию	отсутствие	ГОСТ 2477-2014	Машинист насосных установок и лаборант химического анализа	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
36	Масло компрессорное «Оритес-270 DS» с узла компримирования	1. Содержание воды, %	По согласованию, аналитический контроль 1 раз в год	Не более 0,25	ГОСТ 2477-2014	Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		2. Вязкость кинематическая при 40 ⁰ С, мм ² /с	По согласованию, аналитический контроль 1 раз в год	260 – 286	ГОСТ 33-2016	Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		3. Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, ⁰ С	По согласованию, аналитический контроль 1 раз в год	Не ниже 230	ГОСТ 4333-2021	Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		4. Плотность при 15 ⁰ С, г/см ³	По согласованию, аналитический контроль 1 раз в год	1,080 – 1,100	ГОСТ 3900-85 с изм. 1	Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		5. Температура застывания, ⁰ С	По согласованию, аналитический контроль 1 раз в год	Не выше минус 3	ГОСТ 20287-91	Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
37	Масла промышленные, общего назначения, И-40А, И-50А, ГОСТ 20799-88 с изм.1-5;	1. Содержание воды, %	По согласованию, аналитический контроль 1 раз в год	следы	ГОСТ 2477-2014	Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		2. Содержание механических примесей, %	По согласованию, аналитический контроль 1 раз в год	отсутствие	ГОСТ 6370-83 с изм. 1	Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели	Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5	6	7	8
	ИГП-38 ТУ 38.101413-97 с изм.1 Из емкостей узла компримирования.	нических примесей, %	трьоль 1 раз в год			борант химического анализа ЦЗЛ	ЦЗЛ
		3.Вязкость кинематическая при 40°C, мм ² /с для: И-40А И-50А ИГП-38	По согласованию, аналитический контроль 1 раз в год	61-75 90-110 55 – 65	ГОСТ 33-2016	Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		4.Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С, для: И-40А И-50А ИГП-38	По согласованию, аналитический контроль 1 раз в год	Не ниже 220 210 225	ГОСТ 4333-2021	Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
38	Масло компрессорное «Ори-тес-270 DS» из баков смазки цилиндров компрессоров: К-1, К-2, К3 узла компримирования	1.Содержание воды, %	По согласованию, аналитический контроль 2 раза в год	Не более 0,25	ГОСТ 2477-2014	Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		2. Вязкость кинематическая при 40°C, мм ² /с	По согласованию, аналитический контроль 2 раза в год	260 – 286	ГОСТ 33-2016	Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		3.Содержание механических примесей, %	По согласованию, аналитический контроль 2 раза в год	отсутствие	ГОСТ 6370-83 с изм.1	Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели	Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5	6	7	8
39	Масло вазелиновое медицинское (масло «Pioneer-2059», «Shell Ondina-927») ГОСТ 3164-78 из баков охлаждения цилиндров компрессоров: К-3/1,2	1. Массовая доля механических примесей, %	1 раз в месяц	отсутствие	ГОСТ 6370-83, с изм.1	Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		2. Содержание воды и парафина, %	1 раз в месяц	отсутствие	ГОСТ 3164-78, с изм.1,2	Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		3. Внешний вид, %	1 раз в месяц	Прозрачная жидкость без мех.примесей. Допускается расслоение на два слоя: Верхний – не менее 60 Нижний – не более 40	Визуально	Машинист компрессорных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
40	Раствор инициатора Тригнокс-С в масле (жидкость) корп. с насосов Н-3, 4, 5, 6	1. Содержание основного вещества, %	По согласованию	3-20%	МВИ № 30-14-08-50	Машинист насосных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
41	Раствор инициатора Тригнокс-В (Луперокс-Di) в масле (жидкость) с емкостей Е-5, 6.	1. Содержание Тригнокс-В, %	По согласованию	4-9%	МКХА 041-2008	Машинист насосных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
42	Раствор смеси инициаторов Тригнокс-С и Тригнокс-В в масле (жидкость) с емкостей Е-5, 6.	1. Содержание Тригнокс-С %	По согласованию	3-20%	МКХА № 30-14-08-58	Машинист насосных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		2. Содержание Тригнокс-В, %	По согласованию	5-13%			

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели	Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5	6	7	8
43	Раствор смеси инициаторов Тригнокс-В (Луперокс-Д) и Тригнокс-21S (Луперокс-26) в масле (жидкость) с емкостей Е-5, 6.	1. Содержание Тригнокс-В (Луперокс-Д), % 2. Содержание Тригнокс-21S (Луперокс-26), %	По согласованию По согласованию	5-13% 10-20%	МКХА № 018-2008	Машинист насосных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
44	Раствор смеси инициаторов Тригнокс-В, Тригнокс-21S и Тригнокс-42S в масле (жидкость) с емкостей Е-5, 6.	1. Содержание Тригнокс-В % 2. Содержание Тригнокс-21S 3. Содержание Тригнокс-42S	По согласованию По согласованию По согласованию	5-12% 7-20% 2-10%	МКХА № 018-2008	Машинист насосных установок ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
Приемочный контроль							
45	Полиэтилен высокого давления. Пусковые и переходные марки: Марка А ТУ 2211-088-70353562-2006	1. Внешний вид	Каждая партия на объединенной пробе	Гранулы, размер и форма которых не регламентируется и не определяется. Допускается наличие любого цвета полимерной пыли и полимерных лент. Не должны содержать посторонних предметов, песка, цементной пыли.	Визуально ТУ 2211-088-70353562-2006 п.4.2.7	Машинист гранулирования пластических масс ПЭ и лаборант химического анализа ЦЗЛ	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели	Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5	6	7	8
		2. Показатель текучести расплава, г/10 мин	Каждая партия на объединенной пробе	Не нормируется, определение обязательно	ТУ 2211-088-70353562-2006 п.4.2.4 и ГОСТ 11645-2021	Машинист гранулирования и лаборант химического анализа	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ
		3. Разброс показателя текучести расплава, %		Не нормируется, определение обязательно	ТУ 2211-088-70353562-2006 П. 4.2.5		
		4. Массовая доля летучих веществ, %		Не нормируется, определение обязательно	ТУ 2211-088-70353562-2006 П. 4.2.6		
46	Отходы полиэтилена высокого давления	1. Внешний вид - марка Ж	по требованию	Полиэтилен в виде гранул, цепочек из гранул, концентраты и композиции в виде сметок и россыпей.	ТУ 2211-088-70353562-2006 П. 4.27	Машинист гранулирования и лаборант химического анализа	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ

№ п/п	Сырье, контроль отбора	Контролируемый показатель	Частота испытаний	Нормы и технические показатели	Способы контроля	Кто отбирает пробу	Кто осуществляет проверку
1	2	3	4	5	6	7	8
		1. Внеш-ний вид- марка Г	по требованию	полиэтилен, концентраты и композиции полиэтилена в виде блинов, глыб, жгутов, агломератов, кусков после комкоотделителя и сортировочного барабана	ТУ 2211-088-70353562-2006 П. 4.27	Машинист гранулирования и лаборант химического анализа	Инженер химического анализа 1 категории ЦЗЛ

6. Контроль и автоматика производства

6.1 Автоматический контроль

Система автоматизации успешно решает задачи безопасности и улучшения условий труда, меняет характер труда, на различных этапах автоматизации путем освобождения работников от необходимости контроля за процессом производства полиэтилена, т.к. позволяет вывести людей из опасной зоны расположения оборудования, механизмов, в которых протекают опасные производственные процессы.

Внедрение автоматических устройств помогает снизить процент производственного брака и отходов, уменьшить затраты на сырье и энергию, позволяет сократить численность производственных рабочих.

Таким образом, автоматизация приводит к улучшению главных показателей эффективности производства: увеличению количества и качества выпускаемой продукции при снижении себестоимости.

Автоматизация процессов производства - это одно из основных направлений по повышению производительности труда.

Производство полиэтилена определяется как опасное и вредное производство в связи с наличием следующих факторов:

- работа со взрывопожароопасными веществами (применение, обращение и получение);
- опасные параметры производственного процесса – температура (до 330 °С) и сверхвысокое давление (до 250 МПа);
- использование взрывоопасных перекисных инициаторов, способных к автоокислению и взрыву при нарушении температурного режима хранения;
- экзотермический характер реакции полимеризации этилена;
- сложность производственной системы, которая состоит из множества взаимосвязанного оборудования;

- наличие фланцевых и сварных соединений, разветвленной сети трубопроводов с запорной и регулирующей арматурой;

6.2 Цели критерии и ограничения создания АСУ

Распределённая система управления - система управления технологическим процессом, отличающаяся построением распределённой системы ввода-вывода и децентрализацией обработки данных.

АСУ должна обеспечивать:

- автоматизированный контроль и управление в реальном масштабе времени основными и вспомогательными технологическими процессами производства;
- оперативное получение информации о возникновении аварийных ситуаций;
- генерацию необходимых технологических отчетов;
- выполнение функций контроля оперативным персоналом фактических параметров работы установки на соответствие нормативно-технологическим параметрам;
- сбор информации о техническом состоянии оборудования.

Противоаварийная защита должна обеспечивать:

- получение необходимой информации от датчиков производственных параметров, параметров состояния исполнительных механизмов, а также параметров ДВК;
- анализ и обработку входной информации;
- автоматический вывод сигналов управления на исполнительные механизмы;
- выделение основной причины остановки процесса производства полиэтилена;

К основным параметрам, которые необходимо контролировать в реакторе следует отнести: давление и его перепады, температура по длине реактора.

Давление в реакторах обычно измеряют с помощью тензометрических датчиков. Тензометрические датчики имеют очень высокую чувствительность и точность 0,25 % в диапазоне измерения 0...400 МПа. Они могут применяться только на чистом газе без полиэтилена (забивается). Тензометрические датчики только на входе в реактор и на боковом вводе. Для измерения температур по длине реактора применяются малоинерционные двойные термомпары, которые с помощью линзового уплотнения вводятся прямо в реактор. Двойные (имеющих два одинаковых измерительных элемента) они сделаны для того, чтобы повысить надежность измерений. Обычно одна термомпара используется для измерения и регулирования, а другая для аварийной сигнализации и блокировки.

6.3 Автоматизация реакторного блока установки полимеризации

После компрессоров К-3 газ с давлением до 235,0 МПа и температурой не более 90 °С двумя потоками (при двух работающих компрессорах) подается в аппарат "типа труба в трубе" Р-1 отделения полимеризации.

На подаче газа перед Р-1 установлены отсекающие гидравлические клапана: НН-Н-01 - на первом потоке, НН-Н-02 - на втором потоке.

Для предохранения оборудования реактора от разрушения при критическом значении давления на каждом потоке установлены предохранительные электромагнитные клапана, срабатывающих при давлении 260 МПа:

НАЕ-03 - на первом потоке;

НАЕ-04 - на втором потоке;

Электромагнитный клапан - это пружинный клапан с дополнительной магнитной нагрузкой (закрывающий и подъемный магнит).

Давление газа на входе в реактор контролируется по показаниям тензодатчиков, установленных в отдельном шкафу. Газ из трубопроводов 1-го, 2-

го потоков к тензодатчикам подается через вентиль высокого давления по импульсной линии.

На ЦПУ давление на входе в реактор и в реакторе контролируется по монитору с показанием давления PIRCAE-05, PIRCAE-06, соответственно по первому, второму потокам.

Для предупреждения критических значений процесса полимеризации по длине реактора предусмотрена аварийная защита процесса, производящая остановку процесса полимеризации и сброс давления из зон реактора через сбросные клапаны. По длине реактора установлены три быстродействующих сбросных клапана: (БК): НIE-H-07 (БК-1); НIE-H-08 (БК-2); НIE-H-09 (БК-3); Исполнение клапанов - "НО".

Первый поток этилена объединяется с третьим перед входом в подогреватель ПТ-2, где нагревается до температуры (130-210) °С паром давлением 2,2 МПа и сохраняется на заданном уровне контуром автоматического регулирования TIRCA-H-10.

Подогреватель ПТ-2 представляет собой аппарат типа «труба в трубе» длиной 208 м и внутренним диаметром трубы высокого давления 40 мм. Газ после ПТ-2 поступает в первую зону реактора P-1/1.

При срабатывании аварийных программ автоматически открывается быстродействующий сбросной гидравлический клапан позиция НIE-H-07 БК-1, который находится на трубопроводе подачи этилена в 1-ю зону реактора P-2/1.

Первая зона реактора P-1/1 - это аппарат типа «труба в трубе» длиной 525 м и внутренним диаметром 40 мм. Между БК-1 и P-1/1 расположен первый ввод инициатора от насоса Н-1, 2 (линза с отводом Ду 40, Ру 2500: диаметр сужающего устройства линзы - 15мм). Сужающее устройство необходимо для равномерного распределения инициатора в системе путем создания турбулентного потока. В рубашку реактора подается подогретая вода (давлением $P=50 \text{ кг/см}^2$) с температурой от 145 до 225 °С и давлением до 50 кг/см^2 , поступающей со станции горячей воды от насосов Н-15/1-2.

Первая зона реактора P-1/1 оборудована системой контроля температуры (110-320) °С позиция TIRA-H/TIRAE-HH-19 которая предназначена для срабатывания сигнализации при температуре 319 °С и аварийной программы при достижении температуры внутри реактора значения 329 °С по двум каналам.

Процесс полимеризации в 1-й зоне реактора P-1/1 проходит при температуре, не более 325 °С, и давлении (160-235) МПа. Из зоны P-1/1 реакционная смесь поступает во 2-ю зону реактора, состоящую из P-1/2 и части P-1/3 (1-6 секции).

Второй поток этилена проходит через холодильники 2-й зоны ХТ-3, 4, где соединяется с реакционной смесью после реактора P-1/1.

ХТ-3 представляет собой теплообменник типа «труба в трубе» длиной 105 м и внутренним диаметром 40 мм, в рубашку которого подается захлажденный конденсат.

ХТ-4 представляет собой теплообменник типа «труба в трубе» длиной 208 м и внутренним диаметром 40 мм, в рубашку которого подается захлажденный конденсат. Регистрация температуры до и после ХТ-4 (10 – 90) °С и (10-50) °С соответственно осуществляется контурами TIR-31.

Температура этилена в точке смешения поддерживается в пределах (130-240) °С.

Перед точкой смешения двух потоков на трубопроводе после ХТ-4 находится сбросной быстродействующий гидравлический клапан НIE-H-08 (БК-2), который открывается при вызывании аварийных программ.

P-1/2 представляет собой аппарат типа «труба в трубе» длиной 337 метров и внутренним диаметром трубы высокого давления 6 см. Между первой и второй секциями P-1/2 расположен второй ввод инициатора от насоса Н-1, 2 (линза с отводом Ду 60, Ру 2500, диаметр сужающего устройства линзы 24 мм.). Сужающее устройство необходимо для равномерного распределения инициатора в системе путем создания турбулентного потока. В рубашке реактора циркулирует подогретая вода (давлением $P=50 \text{ кг/см}^2$) с темпера-

турой (155-220) °С и давлением до 50 кг/см², поступающей со станции горячей воды от насосов Н-15/2.

На входе в Р-1/2 в точке смешения установлен прибор замера температуры (130-240) °С TIRA-H/TIRAE-НН-20.

Вторая зона реактора Р-1/2 оснащена по всей длине приборами замера температуры (110-320) °С, TIRA-H/TIRCAE-НН-21.

На выходе из Р-1/2 установлен сбросной быстродействующий гидравлический клапан НIE-Н-09 БК-3.

Из Р-1/2 реакционная смесь подается во вторую часть второй зоны (зона 2 б) - в Р-1/3 (1-6 секции).

Р-1/3 представляет собой аппарат типа «труба в трубе» длиной 450 м с внутренним диаметром трубы высокого давления 60 мм.

Вторая часть второй зоны Р-1/3 (1-6 секции) по всей длине снабжена приборами для измерения температуры (110-320) °С, TIRA-H/TIRAE-НН-22.

Из 2-ой зоны реактора реакционная смесь поступает в 3-ю зону - часть реактора Р-1/3 (с места ввода инициатора) плюс первый продуктовый холодильник ХТ-5.

Между шестой и седьмой секциями зоны ректора Р-1/3 расположен третий ввод инициатора (линза с отводом Ду 60 Ру 2500, диаметр сужающего устройства линзы 24 мм).

Эта часть зоны реактора Р-1/3 по всей длине снабжена приборами для измерения температуры 110-320 °С, TIRA-H/TIRCAE-НН – 23.

Реакционная смесь из Р-1/3 после инициирования реакции поступает во вторую часть третьей зоны реактора ХТ-5 на охлаждение.

Холодильник Х-5 представляет собой аппарат типа «труба в трубе» длиной 220 м и внутренним диаметром 6 см, в рубашку которого подается подогретая вода с температурой (130-170) °С и давлением до 30 кг/см².

По всей длине холодильник Х-5 снабжен приборами измерения температуры 110-320 °С, TIRA-H/TIRCAE-НН-24.

Термопары устанавливаются вдоль труб зоны реакции для контроля профиля температуры реакционной смеси в реакторах. Профиль температуры является результатом настроенных параметров процесса, таких как давление в реакторе, степень очищенности зон реактора, количество инициатора, тип модификатора, а также количественное распределение инициатора.

Очень важно при ведении технологического процесса учитывать все эти параметры для поддержания целевой производительности.

Пиковая температура в зонах реактора Р-1 должна поддерживаться согласно технологических карт процесса на заданном уровне.

Смесь ПЭ плюс непрореагировавший этилен из 3-й зоны реактора с температурой не более 280 °С через запорно-регулирующий клапан «Бёллера» поступает во 2-й продуктовый холодильник ХТ-5.

На трубопроводе при входе в ХТ-5 установлены приборы замера температуры (110-310)°С, TIRA-H/TIRAE-HH-25.

Давление в реакторе поддерживается с помощью клапана-регулятора PV-24002 (клапан «Бёллера»), установленного на выходе из первого продуктового холодильника ХТ-4.

Второй продуктовый холодильник ХТ-5 представляет собой аппарат типа «труба в трубе» длиной 220 м и внутренним диаметром 60 мм, в рубашку которого подается горячая вода с температурой (130-170) °С и давлением до 3,0 МПа, поступающей со станции горячей воды.

Из 2-го продуктового холодильника ХТ-5 реакционная смесь с температурой не более 280 °С и давлением около 30 МПа направляется в отделитель высокого давления О-1.

7. Расчетная часть

7.1 Материальный баланс

7.1.1 Общий материальный баланс

Технологический процесс производства полиэтилена высокого давления является непрерывным и состоит из следующих стадий:

- 1) Компримирование реакционной массы;
- 2) Полимеризация;
- 3) Выделение полиэтилена при высоком давлении;
- 4) Выделение полиэтилена при низком давлении;
- 5) Грануляция;
- 6) Очистка возвратного газа.

Исходные данные для расчета материального баланса

В данном материальном балансе отражены все основные материальные потоки, включая подачу пропана, кислорода и растворителя перекисных инициаторов. Сами инициаторы в данном балансе не учитываются, поскольку масса инициаторов, подаваемых в реактор, пренебрежимо мала по сравнению с массой остальных компонентов. Кроме того, в реакторах трубчатого типа в процессе полимеризации практически все перекисные инициаторы распадаются и не участвуют в других материальных потоках.

На рисунке 4. представлена схема материальных потоков установки полимеризации этилена.

Исходными материалами для разработки материального баланса являются:

- заданная ассортиментная годовая мощность Производства полиэтилена – 125 тысяч тонн в год;
- годовой фонд работы установки – 7680 часов в год (среднее значение фонда рабочего времени);
- количество подаваемых компонентов (этилен, пропан, кислород, масло, инициаторы);

- паспортная производительность компрессоров второго каскада;
- средний расход пропана при концентрации в реакторе, объемной долей 0,2 %;

Для расчета материального баланса установки полимеризации этилена при смешанном иницировании (кислород + пероксиды) принимаем:

- производительность компрессоров II каскада К-3, К-4 - 30 т/ч (2-х компрессоров – 60 т/ч);

Часовая производительность одной технологической линии установки полимеризации этилена при смешанном иницировании рассчитывается исходя из заданной ассортиментной мощности – 125 тысяч тонн в год:

$$\frac{125000000}{7680} = 16276.042 \quad \frac{\text{кг}}{\text{час}}$$

- конверсия этилена 16,5 / 60, массовая доля, составит ~ 27,1 %

Время на капитальный ремонт и профилактику производства - 45 дней в год, следовательно, эффективное время работы оборудования 320 дней в год;

Годовой фонд рабочего времени - 365-45 = 320 дней или 7680 часов [39];

Определяем часовую производительность технологической линии без учета потерь:

Производительность:

$$N = 125000 \text{ тонн/год};$$

Количество рабочих дней в году:

$$D = 320;$$

Суточная производительность по готовому продукту без учета потерь:

$$P_c := \frac{N}{D} \quad P_c = 390.625 \quad \frac{T}{сут}$$

Часовая производительность по готовому продукту без учета потерь:

$$P_{ч} := \frac{P_c \cdot 10^3}{24} \quad P_{ч} := \frac{P_c \cdot 1000}{24} \rightarrow \frac{\frac{125000}{320} \cdot 1000}{24} = 16276.042$$

$$P_{ч} = 16276 \quad \frac{кг}{час}$$

Потери (НМПЭ) полимера на стадиях составили 16,27 кг/ч или 0,1%.

Определяем секундную производительность технологической линии без учета потерь:

$$P_{сс} := \frac{125000000}{320 \cdot 24 \cdot 3600} = 4.521 \quad \frac{кг}{с}$$

Производительность в час с учетом потерь:

$$a := 0.23$$

$$P_{пс} := \frac{P_{ч}}{1 - \frac{a}{100}} \rightarrow \frac{\frac{\frac{125000}{320} \cdot 1000}{24}}{1 - \frac{0.23}{100}}$$

$$P_{пс} = 16313.6 \quad \frac{кг}{час}$$

где $P_{пс}$ - суточная производительность готового продукта с учетом потерь [39]

N - производительность готового продукта т/год

a - общий процент потерь продукта по всем стадиям процесса 0,23%

Производительность без учёта потерь на абсолютно сухой полимер
(влажность готового продукта – 0,3 %):

$$aч := 0.3$$

$$Пчбп := \frac{Пч}{1 + \frac{aч}{100}} \rightarrow \frac{\frac{\frac{125000}{320} \cdot 1000}{24}}{1 + \frac{0.3}{100}}$$

$$Пчбп = 16227.4 \quad \frac{кг}{час}$$

7.1.2 Постадийный материальный баланс

1. Стадия компримирования (бустерный компрессор).

Таблица 7 - Материальный баланс бустерного компрессора

Приход			Расход		
Наименование вещества	кг/ч	%	Наименование вещества	кг/ч	%
1. Этилен "свежий"	15403	60,57	1. Этилен, в том числе:	25389	99,84
2. Возвратный газ низкого давления	9986	39,27	- Пропан	40	0,16
2. Пропан	40	0,16			
Итого:	25429	100,00	Итого:	25429	100,00

2. Стадия компримирования (компрессор I каскада).

Таблица 7.1 - Материальный баланс компрессоров 1 каскада

Приход			Расход		
Наименование вещества	кг/ч	%	Наименование вещества	кг/ч	%
1. Этилен, в том числе:	25389	99,83	1. Этилен, в том числе:	25389	99,83
- Пропан	40	0,16	- Пропан	40	0,16
2. Кислород	3,26	0,01	- Кислород	3,26	0,01
Итого:	25432,26	100,00	Итого:	25432,26	100,00

3. Стадия компримирования (компрессор II каскада).

Таблица 7.2 - Материальный баланс компрессоров 2 каскада

Приход			Расход		
Наименование вещества	кг/ч	%	Наименование вещества	кг/ч	%
1. Этилен, в том числе:	25389	42,01	1. Этилен, в том числе:	45291,75	74,95
- Пропан	40	0,07	- Пропан	25	0,04
- Кислород	3,26	0,01	- Кислород	1,63	0,003
2. Возвратный газ высокого давления (ВГВД)	35000	57,92	2. Этилен, в том числе:	15097,25	24,98
			- Пропан	15	0,02
			- Кислород	1,63	0,003
Итого:	60432,26	100,00	Итого:	60432,26	100,00

4. Стадия полимеризации.

Таблица 7.3 - Материальный баланс зоны 1 реактора

Приход			Расход		
Наименование вещества	кг/ч	%	Наименование вещества	кг/ч	%
1. Этилен, в том числе:	45291,75	99,92	1. Расплав, в том числе:	45327,57	100
- Пропан	25	0,055	- Этилен	38780,36	85,56
- Кислород	1,63	0,004	- Полиэтилен	6544	14,44
2. Раствор инициаторов, в том числе:	0,41	0,001	- Масло инициаторное	0,0036	0,00001
- Дитретбутилпероксид			- НМПЭ	3,21	0,01
- Трет-бутилперокси-3,5,5-триметилгесаноат	1,43	0,003			
- Трет-бутилперокси-2-этилгесаноат	2,15	0,005			
- Трет-бутилперокси-неодеcanoат	5,2	0,011			
- Масло инициаторное	0,0036	0,00001			
Итого:	45327,57	100,000	Итого:	45327,57	100,00

Таблица 7.4 - Материальный баланс зоны 2 реактора

Приход			Расход		
Наименование вещества	кг/ч	%	Наименование вещества	кг/ч	%
1. Расплав, в том числе:	45327,57	100	1. Расплав, в том числе:	59752,36	100
- Этилен	38780,36	64,90	- Этилен	45745,94	76,56
- Полиэтилен	6544	10,95	- Полиэтилен	14000	23,43
- Масло инициаторное	0,0036	0,00001	- Масло инициаторное	0,0072	0,00001
- НМПЭ	3,21	0,01	- НМПЭ	6,42	0,01
2. Раствор инициаторов, в том числе:	0,8	0,0013			
- Дитретбутилпероксид					
- Трет-бутилперокси-3,5,5-триметилгесаноат	1,42	0,0024			
- Трет-бутилперокси-2-этилгесаноат	1,04	0,0017			
- Масло инициаторное	0,0036	0,00001			
3. Этилен, в том числе:	14404,90	24,11			
- Пропан	15	0,03			
- Кислород	1,63	0,003			
Итого:	59752,36	100,00	Итого:	59752,36	100,00

Таблица 7.5 - Материальный баланс зоны 3 реактора

Приход			Расход		
Наименование вещества	кг/ч	%	Наименование вещества	кг/ч	%
1. Расплав, в том числе:	59752,36	100	1. Расплав, в том числе:	59755,63	100
- Этилен	45745,94	76,56	- Этилен	43468,58	72,74
- Полиэтилен	14000	23,43	- Полиэтилен	16276	27,24
- Масло инициаторное	0,0072	0,00001	- Масло инициаторное	0,0108	0,00002
- НМПЭ	6,42	0,01	- НМПЭ	11,04	0,02
2. Раствор инициаторов, в том числе:	1,2	0,0020			
- Дитретбутилпероксид					
- Трет-бутилперокси-3,5,5-триметилгесаноат	1,02	0,0017			
- Трет-бутилперокси-2-этилгесаноат	1,04	0,0017			
- Масло инициаторное	0,0036	0,00001			
Итого:	59755,63	100,00	Итого:	59755,63	100,00

5. Стадия выделения полиэтилена при высоком давлении.

Таблица 7.6 - Материальный баланс линии возвратного газа высокого давления

Приход			Расход		
Наименование вещества	кг/ч	%	Наименование вещества	кг/ч	%
1. Расплав, в том числе:	59755,63	100	1. ВГВД, в том числе:	35000	58,57
- Этилен	43468,58	72,74	- Этилен	34992,79	58,56
- Полиэтилен	16276,00	27,24	- НМПЭ	7,21	0,01
- Масло инициаторное	0,0108	0,00002	2. Расплав, в том числе:	24755,63	41,43
- НМПЭ	11,04	0,02	- Этилен	8475,78	14,18
			- Полиэтилен	16276,00	27,24
			- Масло инициаторное	0,0108	0,00002
			- НМПЭ	3,83	0,01
Итого:	59755,63	100,00	Итого:	59755,63	100,00

6. Стадия выделения полиэтилена при низком давлении.

Таблица 7.7 - Материальный баланс линии возвратного газа низкого давления

Приход			Расход		
Наименование вещества	кг/ч	%	Наименование вещества	кг/ч	%
2. Расплав, в том числе:	24755,63	100	1. Этилен, в том числе:	8470,08	34,21
- Этилен	8475,78	34,24	- Масло инициаторное	0,0108	0,00004
- Полиэтилен	16276,00	65,75	- НМПЭ	3,83	0,02
- Масло инициаторное	0,0108	0,00004	2. Этилен	5,7	0,02
- НМПЭ	3,83	0,02	- Полиэтилен	16276,00	65,75
Итого:	24755,63	100,00	Итого:	24755,63	100,00

7. Стадия грануляции

Таблица 7.8 - Материальный баланс стадии грануляции

Приход			Расход		
Наименование вещества	кг/ч	%	Наименование вещества	кг/ч	%
1. Этилен	5,7	0,04	1. Полиэтилен сырец	16232,87	99,74
- Полиэтилен	16276,00	99,96	2. Потери полиэтилена	37,43	0,23
			3. Потери этилена в системе обезвоживания	5,7	0,04
Итого:	16281,70	100,00	Итого:	16276,00	100,00

7.2 Технологический расчет основного аппарата

7.2.1 Выбор конструкции и материала полимеризатора

Выбор типа полимеризатора

В промышленности для производства ПЭВД используют два типа установок, отличающиеся друг от друга конструкцией реактора для производства полиэтилена. Выделяют следующие виды реакторов: трубчатые аппараты, которые работают по принципу идеального вытеснения; автоклавы с мешалкой, работающие по принципу идеального смешения.

Для получения полиэтилена с достаточно высокими молекулярной массой и плотностью полимеризацию проводят при высоких давлениях. Это диктует необходимость применения толстостенных металлических труб и аппаратов с ограниченной поверхностью теплообмена. Кроме этого, этилен имеет самую высокую теплоту полимеризации среди мономеров олефинового ряда, что требует эффективного теплоотвода.

Различия процесса полимеризации в трубчатом реакторе и в автоклаве состоят в различных температурных режимах и времени нахождения реакционной массы в аппарате. ПЭВД, получаемый в аппаратах разного типа, несколько различается по свойствам [33].

Производство ПЭВД в автоклаве.

Промышленные аппараты представляют собой вертикальные толстостенные аппараты непрерывного действия с винтовой мешалкой, расположенной по высоте аппарата, и с наружной охлаждающей рубашкой. Обычно такие реакторы имеют высоту около 6м, диаметр примерно 300мм, емкость 0.5м³. Их изготавливают из специальной высококачественной стали. Производительность реактора составляет 15000т/год полиэтилена.

При проведении полимеризации в автоклаве время пребывания этилена в реакторе составляет около 2 минут. Образование тепла через стенку аппарата почти отсутствует. Фактически реактор работает в адиабатическом режиме. Выделяющаяся теплота реакции расходуется на подогрев свежего этилена, поступающего в реактор после предварительного охлаждения до 35-

40 °С. Глубина превращения мономера определяется в адиабатическом процессе разностью температур на входе и выходе в реактор. Максимальная температура процесса при рабочем давлении 196 МПа может достигать 250 °С.

Благодаря сравнительно однородному температурному режиму в реакторе смешения получаемый продукт имеет относительно узкое молекулярно-массовое распределение [33].

Производство ПЭВД в трубчатом реакторе.

Промышленные трубчатые реакторы-полимеризаторы представляют собой последовательно соединенные теплообменники типа «труба в трубе». Отдельные звенья «трубчатки» соединяют массивными полыми плитами – ретурбентами или калачами. Трубы и калачи снабжены рубашками, последовательно соединенными между собой. В качестве теплоносителя для подогрева этилена и отвода избыточного тепла применяют перегретую воду с температурой 190-230 °С, которая поступает в рубашку трубчатки реактора противотоком к потоку реакционной массы. Применение высоких температур необходимо для предотвращения образования пленки полимера на стенках труб. Для поддержания постоянного температурного режима в реакторе и обеспечения эффективного теплосъема проводится дополнительный ввод этилена и инициатора в различные зоны по длине реактора [38].

Многозонный реактор более производительен, чем однозонный. Однозонный реактор при максимальной температуре реакции (300°С) обеспечивает 15-17% превращения этилена за один проход. Двухзонный достигает при той же температуре 21-24% превращения. В трехзонном реакторе при двух боковых вводах степень превращения увеличивается до 26-30%. Производительность четырехзонного аппарата по сравнению с трехзонным увеличивается незначительно.

Сильно экзотермический характер процесса приводит к тому, что температура массы по длине реактора повышается, достигая к концу реакции

240-250 °С. Максимальная температура и конверсия зависят от концентрации инициатора и давления.

Общее количество тепла, отбираемое через стенку, составляет около 30% всего тепловыделения. Это обусловлено сравнительно низким коэффициентом теплопередачи, который определяется ограниченной поверхностью теплообмена.

Трубчатый реактор имеет ряд преимуществ по сравнению с автоклавным.

Во-первых, полимеризация протекает по иному режиму, т.к. в трубчатом реакторе осуществляется больший теплосъем через стенку, чем в автоклаве. Конверсия этилена в полиэтилен в автоклаве ниже, поскольку адиабатическая составляющая суммарного выхода продукта в трубчатом реакторе существенно меньше. Однако наличие температурного профиля по длине трубчатого реактора позволяет получать продукт с более широким молекулярно-массовым распределением, что важно при дальнейшем производстве продукции, полученной из полиэтилена, некоторых сортов кабельных покрытий и др.

Во-вторых, при полимеризации в трубчатом реакторе можно использовать в качестве инициатора дешевый кислород, т.е. исключить подачу парафинового масла с пероксидными инициаторами.

Подача различных инициаторов в разные зоны реактора позволяет варьировать свойства получаемого полиэтилена.

В-третьих, структура полиэтилена, образующегося в трубчатом реакторе менее разветвленная, чем у полиэтилена, получаемого в автоклаве, так как во втором случае более выражена реакция передачи цепи на полимер [33].

7.2.2 Выбор типа материала

Конструкционные материалы выбирают в зависимости от температуры, давления и коррозионного действия среды. Основным машиностроитель-

ным материалом являются конструкционные стали. Сталь – это сплав железа с углеродом, который находится в стали в виде карбида железа – цемента. В конструкционных сталях массовое содержание углерода составляет до 0,7%. Они подразделяются на две группы: углеродистые и легированные.

Углеродистые стали применяются при отсутствии воздействия агрессивных сред. Легированные стали, являются высококачественными конструкционными материалами.

Основным фактором при выборе конструкционного материала является его коррозионная стойкость. Во-первых, коррозия ставит под угрозу прочность аппарата, во-вторых, она вызывает загрязнение перерабатываемого продукта. В первом случае можно согласиться на изготовление аппарата из менее стойких материалов, при этом увеличив толщину стенки реактора. Во втором случае целесообразно применять материалы, исключающие возможность коррозии [40].

Процесс получения ПЭВД в трубчатом реакторе идет в очень тяжелых условиях: высокое давление (до 250 МПа), температура (до 320 °С). В связи с этим обычная сталь совершенно не пригодна для изготовления таких реакторов.

Выбираем легированную сталь повышенного качества 30X2H2M (ГОСТ 4543-2016 [28]) для труб высокого давления. Стальные детали должны быть подвергнуты термохимической обработке (цементированию, азотированию, закалке) для увеличения твердости и износостойкости их рабочих поверхностей.

Наружные поверхности деталей (секций, фланцев, заглушек, переток, колен) покрывают эмалью [23].

7.2.3 Расчет размеров основного аппарата



Расчёт зоны нагрева и других зон реактора сводится к определению количества подводимого или снижаемого тепла, расчёту критериев подобия, определяющих режим теплопередачи и теплоотдачи, что в конечном итоге позволяет определить необходимую длину и общую длину каждой зоны реактора. В связи с применением смещенного инициирования в процессе производства полиэтилена высокого давления изменяется температурный профиль реакции по длине реактора. Поэтому необходимо рассчитать эффективную длину реактора при смещенном инициировании, так как по экспериментальным данным известно, что длина реактора в связи с увеличением конверсии на 3 - 4 % соответственно уменьшится на n -е количество метров.

Тепловой расчёт ведётся как расчёт теплообменника, разделённого на три зоны.

Первая зона реакции.

Объем реактора находят по уравнению:

$$V_p = \tau \cdot V_c = 38,1 \cdot 0,015 = 0,571 \text{ м}^3$$

(7.2.3.1)

где V_c – объемный расход, $\text{м}^3/\text{с}$;

τ – время необходимое для проведения процесса, с

$$V_c = \frac{G}{\rho} = \frac{8,185}{563,1} = 0,15$$

(7.2.3.2)

где G – массовый расход, $\text{кг}/\text{с}$;

ρ – плотность смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$$G = 0,5 \cdot 16,37 = 8,185 \text{ кг}/\text{с}$$

$$\frac{1}{\rho_{см}} = \frac{x_{эТ}}{\rho_{эТ}} + \frac{x_{пЭ}}{\rho_{пЭ}} = \frac{0,885}{550,66} + \frac{0,115}{910} = 0,00173 \quad (7.2.3.3)$$

где $x_{эТ}$ – массовая доля этилена, $x_{эТ} = 0,115$;

$x_{пЭ}$ – массовая доля полиэтилена, $x_{пЭ} = 0,885$;

$\rho_{эТ}$ – плотность этилена, $\rho = 550,66 \text{ кг/м}^3$

$\rho_{пЭ}$ – плотность полиэтилена, $\rho = 910 \text{ кг/м}^3$

$\rho_{см} = 563,1 \text{ кг/м}^3$

$$\tau = \frac{L}{\omega} = \frac{525}{10,57} = 49,7 \text{ с} \quad (7.2.3.4)$$

где L – длина трубы высокого давления, $L = 525 \text{ м}$;

V_c – объемный расход, $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$;

ω – линейная скорость, м/с

$$\omega = \frac{V_c}{S} = \frac{0,013}{0,00126} = 10,32 \text{ м/с} \quad (7.2.3.5)$$

где S – площадь сечения потока, м^2 ;

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,04)^2}{4} = 0,00126 \text{ м}^2 \quad (7.2.3.6)$$

где D – внутренний диаметр трубы, $D = 0,04 \text{ м}$

По ТУ 3612-014-00220302-99 принимаем объем аппарата $0,660 \text{ м}^3$.

Вторая зона реакции.

Объем реактора находят по уравнению:

$$V_p = \tau \cdot V_c = 47,9 \cdot 0,021 = 1,006 \text{ м}^3 \quad (7.2.3.7)$$

где V_c – объемный расход, $\text{м}^3/\text{с}$;

τ – время необходимое для проведения процесса, с

$$V_c = \frac{G}{\rho} = \frac{12,277}{574,5} = 0,021 \quad (7.2.3.8)$$

где G – массовый расход, кг/с ;

ρ – плотность смеси, кг/м^3 ;

$$G = 0,75 \cdot 16,37 = 12,277 \text{ кг/с}$$

$$\frac{1}{\rho_{см}} = \frac{x_{э\text{т}}}{\rho_{э\text{т}}} + \frac{x_{пэ}}{\rho_{пэ}} = \frac{0,844}{550,66} + \frac{0,156}{910} = 0,00166 \quad (7.2.3.9)$$

где $x_{э\text{т}}$ – массовая доля этилена, $x_{э\text{т}} = 0,156$;

$x_{пэ}$ – массовая доля полиэтилена, $x_{пэ} = 0,844$;

$\rho_{э\text{т}}$ – плотность этилена, $\rho = 550,66 \text{ кг/м}^3$

$\rho_{пэ}$ – плотность полиэтилена, $\rho = 910 \text{ кг/м}^3$

$\rho_{см} = 569,08 \text{ кг/м}^3$

$$\tau = \frac{L}{\omega} = \frac{331}{10,57} = 49,7 \text{ с} \quad (7.2.3.10)$$

где L – длина трубы высокого давления, $L = 331 \text{ м}$;

V_c – объемный расход, $0,021 \text{ м}^3/\text{с}$;

ω – линейная скорость, м/с

$$\omega = \frac{V_c}{S} = \frac{0,021}{0,00283} = 7,42 \text{ м/с} \quad (7.2.3.11)$$

где S – площадь сечения потока, м^2 ;

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,06)^2}{4} = 0,002823 \text{ м}^2 \quad (7.2.3.12)$$

где D – внутренний диаметр трубы, $D = 0,06 \text{ м}$

По ТУ 3612-014-00220302-99 принимаем объем аппарата $1,1 \text{ м}^3$.

Третья зона реакции.

Объем реактора находят по уравнению:

$$V_p = \tau \cdot V_c = 48,1 \cdot 0,027 = 1,298 \text{ м}^3$$

где V_c – объемный расход, $\text{м}^3/\text{с}$;

τ – время необходимое для проведения процесса, с

$$V_c = \frac{G}{\rho} = \frac{16,37}{610,1} = 0,027$$

где G – массовый расход, кг/с ;

ρ – плотность смеси, кг/м^3 ;

$$G = 16,37 \text{ кг/с}$$

$$\frac{1}{\rho_{см}} = \frac{x_{эт}}{\rho_{эт}} + \frac{x_{пэ}}{\rho_{пэ}} = \frac{0,27}{550,66} + \frac{0,74}{910} = 0,00130$$

где $x_{эт}$ – массовая доля этилена, $x_{эт} = 0,27$;

$x_{пэ}$ – массовая доля полиэтилена, $x_{пэ} = 0,74$;

$\rho_{эт}$ – плотность этилена, $\rho = 550,66 \text{ кг/м}^3$

$\rho_{пэ}$ – плотность полиэтилена, $\rho = 910 \text{ кг/м}^3$

$\rho_{см} = 610,1 \text{ кг/м}^3$

$$\tau = \frac{L}{\omega} = \frac{331}{10,57} = 49,7 \text{ с}$$

где L – длина трубы высокого давления, $L = 450 \text{ м}$;

V_c – объемный расход, $0,027 \text{ м}^3/\text{с}$;

ω – линейная скорость, м/с

$$\omega = \frac{V_c}{S} = \frac{0,027}{0,00283} = 9,54 \text{ м/с}$$

где S – площадь сечения потока, м^2 ;

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,06)^2}{4} = 0,002823 \text{ м}^2$$

где D – внутренний диаметр трубы, $D = 0,06 \text{ м}$

По ТУ 3612-014-00220302-99 принимаем объем аппарата $1,6 \text{ м}^3$.

7.3 Тепловой расчет основного аппарата

Уравнение теплового баланса:

$$Q_{\text{прих.}} + Q_{\text{х.р.}} = Q_{\text{расх.}} + Q_{\text{нагр.}} + Q_{\text{пот}}$$

где $Q_{\text{прих.}}$ – количество тепла, приходящее с реакционной массой, Вт;

$Q_{\text{х.р.}}$ – количество тепла, выделяющееся в результате химической реакции, Вт;

$Q_{\text{расх.}}$ – количество тепла, уносимое реакционной массой, Вт;

$Q_{\text{нагр.}}$ – количество тепла, отводимое с помощью рубашки, Вт;

$Q_{\text{пот}}$ – количество потерь тепла в окружающую среду, Вт

7.3.1 Первая зона реактора

$$Q_{\text{прих}} = G_1 \cdot C_{p1} \cdot T_1 = 8,185 \cdot 2,4492 \cdot 10^3 \cdot 408,15 = 8182061,421 \text{ Вт}$$

(7.3.1.1)

где G_1 – расход этилена, $G_1=8,185$ кг/с;

$$C_{p1} \text{ – теплоемкость этилена, } C_{p1}=2,4492 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}; \quad [28]$$

T_1 – температура поступающего этилена, $T_1=408,15$ К.

$$Q_{\text{х.р.}} = G_1 \cdot q \cdot X = 8,185 \cdot 3,55 \cdot 10^6 \cdot 0,115 = 3341526,25 \text{ Вт}$$

(7.3.1.2)

где G_1 – расход этилена, $G_1=8,185$ кг/с;

$$q \text{ – тепловой эффект реакции, } q = 3,55 \text{ МДж}; \quad [28]$$

X – степень конверсии этилена, $X = 0,115$

$$Q_{\text{расх}} = G_2 \cdot C_{p2} \cdot T_2 = 8,185 \cdot 2,5 \cdot 10^3 \cdot 496 = 10149400,0 \text{ Вт} \quad (7.3.1.3)$$

где G_2 – расход этилена, $G_2= 8,185$ кг/с;

$$C_{p2} \text{ – теплоемкость смеси, } C_{p1}=2,5 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}; \quad [28]$$

T_2 – температура поступающего этилена, $T_2=496$ К.

Определим потери в окружающую среду:

$$Q_{\text{пот.}} = F_{\text{руб.}} \cdot \alpha_{\text{общ.}} \cdot (t_{\text{ст}}^{\text{руб.}} - t_{\text{окр.ср.}}) = 262 \cdot 10 \cdot (172,9 - 20) = 524000,0 \text{ Вт} \quad (7.3.1.4)$$

где: $F_{\text{руб.}}$ – поверхность теплообмена рубашки, $F = 262$ м²;

$\alpha_{\text{общ.}}$ – коэффициент теплоотдачи от рубашки в окружающую среду,

принимаяем $\alpha_{\text{общ.}} = 10$ Вт/(м²·К); [28]

$t_{\text{окр.ср.}}$ – температура окружающей среды, принимаем $t_{\text{окр.ср.}} = 20$ °С;

$t_{\text{ст}}^{\text{руб.}}$ – температура стенки рубашки, 172,9 °С;

$$t_{\text{ст}}^{\text{руб.}} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{159,4 + 135,4}{2} = 172,9 \text{ °С}$$

(7.3.1.5)

где t_1 и t_2 – температура теплоносителя на входе в аппарат и выходе из него;

$$Q_{\text{нагр}} = Q_{\text{прих}} - Q_{\text{х.р.}} - Q_{\text{расх}} - Q_{\text{пот}} = 8182061,421 - 3341526,25 - 10149400 - 4524000,00 = 5832864,829 \text{ Вт} \quad (7.3.1.6)$$

Расчет поверхности теплообмена.

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} \quad (7.3.1.7)$$

где Nu – критерий Нуссельта;

λ – коэффициент теплопроводности, $\lambda = 0,147$ Вт/(м·К) [28];

$d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубы, $d_{\text{вн}} = 0,04$ м;

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \quad (7.3.1.8)$$

где Re – критерий Рейнольдса;

Pr – критерий Прандтля.

$$Re = \frac{W_{\text{cp}} \cdot d_{\text{вн}}}{\mu} = \frac{6516,72 \cdot 0,04}{1112,3 \cdot 10^{-7}} = 2343511,64 \quad (7.3.1.9)$$

режим турбулентный

где W_{cp} – массовая скорость теплоносителя, кг/с·м²;

μ – динамический коэффициент вязкости, Па·с; [28]

$$\mu_{\text{см}} = \mu_{\text{эм}} \cdot (1 - \varphi_0)^{-3} = 636 \cdot 10^{-7} \cdot (1 - 0,17) = 1112,3 \cdot 10^{-7} \text{ Па·с} \quad (7.3.1.10)$$

где φ_0 – объемная доля полиэтилена

$$\varphi_0 = \frac{G_{\text{нэ}} \cdot \rho_{\text{нэ}}}{G_{\text{р.м.}} \cdot \rho_{\text{р.м.}}} = \frac{0,895 \cdot 910}{8,185 \cdot 568,02} = 0,17 \quad (7.3.1.11)$$

$$W_{\text{cp}} = \frac{G_1}{S_{\text{тр}}} = \frac{8,185}{0,001256} = 6516,72 \quad (7.3.1.12)$$

где $S_{\text{тр}}$ – площадь проходного сечения реакционной трубы, м²;

$$S_{\text{тр}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,04)^2}{4} = 0,001256 \text{ м}^2 \quad (7.3.1.13)$$

$$Pr = \frac{Cp \cdot \mu}{\lambda} = \frac{2,5 \cdot 10^3 \cdot (1112,3) \cdot 10^{-7}}{0,147} = 1,89 \quad (7.3.1.14)$$

Подставляем все значения в формулу (4.8):

$$Nu = 0,023 \cdot (2343511,64)^{0.8} \cdot (1,89)^{0.4} = 3700,03$$

Находим α_1 по формуле (4.7):

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} = \frac{3452,87 \cdot 0,147}{0,04} = 12689,3 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{град}$$

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}$$

где α_1 - коэффициент теплоотдачи от реакционной массы к стенке, кДж/м³·град;

α_2 - коэффициент теплоотдачи от стенки к воде, кДж/м³·град;

Nu – критерий Нуссельта;

λ – коэффициент теплопроводности воды, $\lambda = 0,6677$ Вт/(м·К); [28]

$d_{\text{нар}}$ - наружный диаметр трубы, $d_{\text{нар}} = 0,095$ м;

$$\text{Nu} = 0,023 \cdot \text{Re}^{0.8} \cdot \text{Pr}^{0.4} \cdot \left(\frac{d_{\text{нар}}}{d_{\text{вн}}}\right)^{0.45} \quad (7.3.1.15)$$

где Re – критерий Рейнольдса;

Pr – критерий Прандтля.

По формуле (4.9) находим:

$$\text{Re} = \frac{W_{\text{ср}} \cdot d_{\text{вн}}}{\mu} = \frac{4971,94 \cdot 0,147}{1347 \cdot 10^{-7}} = 5425947,88 \text{ Дж}$$

где $W_{\text{ср}}$ – массовая скорость теплоносителя, кг/с·м²;

μ – динамический коэффициент вязкости, $\mu = 1347 \cdot 10^{-7}$ Па·с; [28]

По формуле (4.12) находим:

$$W_{\text{ср}} = \frac{G_1}{S_{\text{тр}}} = \frac{49,14}{0,00488345} = 4971,94 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2$$

где $S_{\text{м.тр}}$ – площадь поперечного сечения межтрубного пространства,

$$S_{\text{м.тр}} = 9,88345 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2;$$

$G_{\text{в}}$ – массовый расход воды, кг/с

$$G_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{нагр}}}{\Delta i} = \frac{5832864,829}{118690,27} = 49,14 \text{ Дж} \quad (7.3.1.16)$$

$$\Delta i = c_{p1} \cdot T_1 - c_{p2} \cdot T_2 = 4,4315 \cdot 10^3 \cdot 459,15 - 4,690 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 459,15 = 118690,27 \text{ Дж/кг} \quad (7.3.1.17)$$

По формуле (6.14) находим:

$$\text{Pr} = \frac{c_p \cdot \mu}{\lambda} = \frac{4,4698 \cdot 10^2 \cdot 1347 \cdot 10^{-7}}{0,6677} = 0,901$$

По формуле (4.15) находим:

$$Nu = 0,023 \cdot (5425947,88)^{0,8} \cdot (0,901)^{0,4} \cdot \left(\frac{0,147}{0,095}\right)^{0,45} = 6554,1$$

По формуле (4.7) находим:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} = \frac{6554,1 \cdot 0,6677}{0,095} = 46065 \text{ кДж/м}^3 \cdot \text{град}$$

$$r_{ст} = r_1 + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + r_2 = 0,000172 + \frac{0,0275}{39} + 0,000172 = 0,00105 \quad (7.3.1.18)$$

где r_1, r_2 – сопротивления загрязнений с обеих сторон стенки, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$;

$\delta_{ст}$ – толщина стенки, м;

$\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности материала стенки, $\lambda_{ст} = 39$ $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; [с]

Рассчитываем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{ст} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (7.3.1.19)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{ст} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{126893} + 0,00105 + \frac{1}{46065}} = 926,3 \text{ кДж/м}^3 \cdot \text{град}$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от реакционной массы к стенке, $\text{кДж/м}^3 \cdot \text{град}$;

α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки к воде, $\text{кДж/м}^3 \cdot \text{град}$;

Средняя разность температур:

$$\begin{array}{ccc} 300 & \longleftarrow & 135 \\ 159 & \longrightarrow & 186 \end{array}$$

$$\Delta t_n = 300 - 186 = 114 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_k = 159 - 135 = 24 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{(\Delta t_n + \Delta t_k)}{2}$$

$$(7.3.1.20)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{(\Delta t_n + \Delta t_k)}{2} = \frac{114 + 24}{2} = 69 \text{ }^\circ\text{C}$$

Расчет необходимой поверхности охлаждения первой зоны реактора:

$$F_{\text{рас}} = \frac{Q_{\text{нагр}}}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}}$$

(7.3.1.21)

$$F_{\text{рас}} = \frac{Q_{\text{нагр}}}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{5832864,829}{926,369} = 91,3 \text{ м}^2$$

где Q - количество теплоты, которое необходимо отвести, Вт;
 K - коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);
 $\Delta t_{\text{ср}}$ - средняя разность температур, °С

Действительная поверхность охлаждения первой зоны реактора:

$$F_{\text{действ}} = \pi \cdot d \cdot l = 3,14 \cdot 0,095 \cdot 525 = 156,6 \text{ м}^2 \quad (4.22)$$

По ГОСТ 9930 - 78 принимаем поверхность теплообмена равной 160 м²,

$F_{\text{действ}} > F_{\text{рас}}$, следовательно поверхности теплообмена достаточно.

7.3.2 Вторая зона реактора

$$Q_{\text{прих}} = G_1 \cdot C_{p1} \cdot T_1 = 12,277 \cdot 2,5 \cdot 10^3 \cdot 493 = 14823932,4 \text{ Вт}$$

где G_1 – расход этилена, $G_1 = 12,277$ кг/с;

C_{p1} – теплоемкость этилена, $C_{p1} = 2,5$ кДж/кг·К;

T_1 – температура поступающего этилена, $T_1 = 493$ К (220 °С).

$$Q_{\text{х.р.}} = G_1 \cdot q \cdot X = 12,277 \cdot 3,55 \cdot 10^6 \cdot 0,0725 = 1198542,1 \text{ Вт}$$

где G_1 – расход этилена, $G_1 = 12,277$ кг/с;

q – тепловой эффект реакции, $q = 3,55$ МДж;

X – степень конверсии этилена, $X = 0,0725$

$$Q_{\text{расх}} = G_2 \cdot C_{p2} \cdot T_2 = 12,277 \cdot 2,5 \cdot 10^3 \cdot 583,15 = 17898331,4 \text{ Вт}$$

где G_2 – расход этилена, $G_2 = 12,277$ кг/с;

C_{p2} – теплоемкость смеси, $C_{p1} = 2,5$ кДж/кг·К;

T_2 – температура поступающего этилена, $T_2 = 583,15$ К (310 °С).

Определим потери в окружающую среду:

$$Q_{\text{пот.}} = F_{\text{руб.}} \cdot \alpha_{\text{общ.}} \cdot (t_{\text{ст}}^{\text{руб.}} - t_{\text{окр.ср.}}) = 340 \cdot 10 \cdot (164,3 - 20) = 490620,0 \text{ Вт}$$

где: $F_{\text{руб.}}$ – поверхность теплообмена рубашки, $F = 340$ м²;

$\alpha_{\text{общ}}$ – коэффициент теплоотдачи от рубашки в окружающую среду, принимаем $\alpha_{\text{общ}} = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [28];

$t_{\text{окр.ср}}$ – температура окружающей среды, принимаем $t_{\text{окр.ср}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;

$t_{\text{ст}}^{\text{руб}}$ – температура стенки рубашки, $164,3 \text{ }^\circ\text{C}$;

$$t_{\text{ст}}^{\text{руб}} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{159,4 + 169,1}{2} = 164,3^\circ\text{C}$$

где t_1 и t_2 – температура теплоносителя на входе в аппарат и выходе из него;

$$Q_{\text{нагр}} = Q_{\text{прих}} - Q_{\text{х.р.}} - Q_{\text{расх}} - Q_{\text{пот}} = 14823932,4 - 1198542,1 - 17898331,4 - 490620,0 = 4763561,099 \text{ Вт}$$

Расчет поверхности теплообмена.

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}$$

где Nu - критерий Нуссельта;

λ - коэффициент теплопроводности, $\lambda = 0,147 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

$d_{\text{вн}}$ - внутренний диаметр трубы, $d_{\text{вн}} = 0,06 \text{ м}$;

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$$

где Re - критерий Рейнольдса;

Pr - критерий Прандтля.

$$Re = \frac{W_{\text{ср}} \cdot d_{\text{вн}}}{\mu} = \frac{4190,10 \cdot 0,06}{2668,6 \cdot 10^{-7}} = 942089$$

режим турбулентный

где $W_{\text{ср}}$ - массовая скорость теплоносителя, $\text{кг}/\text{с} \cdot \text{м}^2$;

μ - динамический коэффициент вязкости, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

$$\mu_{\text{см}} = \mu_{\text{эт}} \cdot (1 - \varphi_0)^{-3} = 636 \cdot 10^{-7} \cdot (1 - 0,38)^{-3} = 2668,6 \cdot 10^{-7} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

где φ_0 - объемная доля полиэтилена

$$\varphi_0 = \frac{G_{\text{нэ}} \cdot \rho_{\text{нэ}}}{G_{\text{р.м.}} \cdot \rho_{\text{р.м.}}} = \frac{2,92 \cdot 910}{12,277 \cdot 5745} = 0,38$$

$$W_{\text{ср}} = \frac{G_1}{S_{\text{тр}}} = \frac{12,277}{0,00283} = 4190,10$$

где $S_{\text{тр}}$ - площадь проходного сечения реакционной трубы, м^2 ;

$$S_{\text{тр}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,06)^2}{4} = 0,00283 \text{ м}^2$$

$$\text{Pr} = \frac{C_p \cdot \mu}{\lambda} = \frac{2,5 \cdot 10^3 \cdot (2668,6) \cdot 10^{-7}}{0,147} = 4,53$$

Подставляем все значения в формулу (4.8):

$$\text{Nu} = 0,023 \cdot (942089)^{0,8} \cdot (4,53)^{0,4} = 2531,9$$

Находим α_1 по формуле (4.7):

$$\alpha_1 = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda}{d} = \frac{2531,9 \cdot 0,147}{0,06} = 6203,2 \text{ кДж/м}^3 \cdot \text{град}$$

$$\alpha_2 = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda}{d}$$

где α_1 - коэффициент теплоотдачи от реакционной массы к стенке, кДж/м³·град;

α_2 - коэффициент теплоотдачи от стенки к воде, кДж/м³·град;

Nu – критерий Нуссельта;

λ - коэффициент теплопроводности воды, $\lambda = 0,6677 \text{ Вт/(м·К)}$;

$d_{\text{нар}}$ - наружный диаметр трубы, $d_{\text{нар}} = 0,146 \text{ м}$;

$$\text{Nu} = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} \cdot \left(\frac{d_{\text{нар}}}{d_{\text{вн}}}\right)^{0,45}$$

где Re – критерий Рейнольдса;

Pr – критерий Прандтля.

По формуле (4.9) находим:

$$\text{Re} = \frac{W_{\text{ср}} \cdot d_{\text{вн}}}{\mu} = \frac{792,96 \cdot 0,151}{1347 \cdot 10^{-7}} = 888915,8 \text{ Дж}$$

где $W_{\text{ср}}$ – массовая скорость теплоносителя, кг/с·м²;

μ – динамический коэффициент вязкости, $\mu = 1347 \cdot 10^{-7} \text{ Па·с}$ [28];

По формуле (7.3.1.12) находим:

$$W_{\text{ср}} = \frac{G_1}{S_{\text{тр}}} = \frac{41,66}{0,052537} = 792,96 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2$$

где $S_{\text{м.тр}}$ – площадь поперечного сечения межтрубного пространства, $S_{\text{м.тр}} = 52,537 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$;

G_B – массовый расход воды, кг/с

$$G_B = \frac{Q_{нагр}}{\Delta i} = \frac{4763561,099}{114321,62} = 41,66 \text{ Дж}$$

$$\Delta i = C_{p1} \cdot T_1 - C_{p2} \cdot T_2 = 4,4315 \cdot 10^3 \cdot 442,25 - 4,690 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 442,25 = 114321,62 \text{ Дж/кг}$$

где T_1, T_2 – 169,1 °С (442,25 К)

По формуле (7.3.1.14) находим:

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{\lambda} = \frac{4,4698 \cdot 10^3 \cdot 1347 \cdot 10^{-7}}{0,6677} = 0,901$$

По формуле (7.3.1.15) находим:

$$Nu = 0,023 \cdot (888915,8)^{0,8} \cdot (0,901)^{0,4} \cdot (0,297/0,146)^{0,45} = 1743,8$$

По формуле (7.3.1.7) находим:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} = \frac{1743,8 \cdot 0,6677}{0,146} = 7974,9 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{град}$$

$$r_{ст} = r_1 + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + r_2 = 0,000172 + \frac{0,043}{39} + 0,000172 = 0,00145$$

где r_1, r_2 – сопротивления загрязнений с обеих сторон стенки, (м²·К)/Вт;

$\delta_{ст}$ – толщина стенки, м;

$\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности материала стенки, $\lambda_{ст} = 39$

Вт/(м·К) [28];

Рассчитываем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{ст} + \frac{1}{\alpha_2}} \tag{4.19}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{ст} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{6203,1} + 0,00145 + \frac{1}{7974,9}} = 575,8 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{град}$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от реакционной массы к стенке, кДж/м²·град;

α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки к воде, кДж/м²·град;

Средняя разность температур:

$$\begin{array}{ccc} 300 & \longleftarrow & 154 \\ 159 & \longrightarrow & 170 \end{array}$$

$$\Delta t_H = 300 - 159 = 146 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_K = 154 - 170 = 16 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{(\Delta t_H + \Delta t_K)}{2}$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{(\Delta t_H + \Delta t_K)}{2} = \frac{146+16}{2} = 81 \text{ }^\circ\text{C}$$

Расчет необходимой поверхности охлаждения второй зоны реактора:

$$F_{рас} = \frac{Q_{нагр}}{K \cdot \Delta t_{cp}}$$

$$F_{рас} = \frac{Q_{нагр}}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{4763561,1}{575,8 \cdot 81} = 102,1 \text{ м}^2$$

где Q – количество теплоты, которое необходимо отвести, Вт;

K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);

Δt_{cp} – средняя разность температур, °С

Действительная поверхность охлаждения первой зоны реактора:

$$F_{действ} = \pi \cdot d \cdot l = 3,14 \cdot 0,146 \cdot 331 = 151,7 \text{ м}^2$$

По ГОСТ 9930 - 78 принимаем поверхность теплообмена равной 160 м²,

$F_{действ} > F_{рас}$, следовательно поверхности теплообмена достаточно.

7.3.3 Третья зона реактора

$$Q_{прих} = G_1 \cdot C_{p1} \cdot T_1 = 16,37 \cdot 2,5 \cdot 10^3 \cdot 517,65 = 20754350,6 \text{ Вт}$$

где G_1 – расход этилена, $G_1 = 16,37 \text{ кг/с}$;

C_{p1} – теплоемкость этилена, $C_{p1} = 2,5 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$;

T_1 – температура поступающего этилена, $T_1 = 517,65 \text{ К}$ (244,5⁰С).

$$Q_{х.р.} = G_1 \cdot q \cdot X = 16,37 \cdot 3,55 \cdot 10^6 \cdot 0,0725 = 1598121,2 \text{ Вт}$$

где G_1 – расход этилена, $G_1 = 12,277 \text{ кг/с}$;

q – тепловой эффект реакции, $q = 3,55 \text{ МДж}$;

X – степень конверсии этилена, $X = 0,0725$

$$Q_{расх} = G_2 \cdot C_{p2} \cdot T_2 = 16,37 \cdot 2,5 \cdot 10^3 \cdot 583,15 = 23865413,7 \text{ Вт}$$

где G_2 – расход этилена, $G_2 = 16,37 \text{ кг/с}$;

C_{p2} – теплоемкость смеси, $C_{p2} = 2,5 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$;

T_2 – температура поступающего этилена, $T_2 = 583,15\text{K}$ ($310\text{ }^\circ\text{C}$).

Определим потери в окружающую среду:

$$Q_{\text{пот.}} = F_{\text{руб.}} \cdot \alpha_{\text{общ.}} \cdot (t_{\text{ст}}^{\text{руб.}} - t_{\text{окр.ср.}}) = 340 \cdot 10 \cdot (164,3 - 20) = 490620,0 \text{ Вт}$$

где: $F_{\text{руб.}}$ – поверхность теплообмена рубашки, $F = 460 \text{ м}^2$;

$\alpha_{\text{общ.}}$ – коэффициент теплоотдачи от рубашки в окружающую среду, принимаем $\alpha_{\text{общ.}} = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [28];

$t_{\text{окр.ср.}}$ – температура окружающей среды, принимаем $t_{\text{окр.ср.}} = 20\text{ }^\circ\text{C}$;

$t_{\text{ст}}^{\text{руб.}}$ – температура стенки рубашки, $165,45\text{ }^\circ\text{C}$;

$$t_{\text{ст}}^{\text{руб.}} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{159,4 + 171,5}{2} = 165,45^\circ\text{C}$$

где t_1 и t_2 – температура теплоносителя на входе в аппарат и выходе из него;

$$Q_{\text{нагр}} = Q_{\text{прих}} - Q_{\text{х.р.}} - Q_{\text{расх}} - Q_{\text{пот}} = 20754350,6 - 1598121,2 - 23865413,7 - 490620 = 5199804,4 \text{ Вт}$$

Расчет поверхности теплообмена.

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}$$

где Nu – критерий Нуссельта;

λ – коэффициент теплопроводности, $\lambda = 0,147 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

$d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубы, $d_{\text{вн}} = 0,06 \text{ м}$;

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$$

где Re – критерий Рейнольдса;

Pr – критерий Прандтля.

$$Re = \frac{W_{\text{ср}} \cdot d_{\text{вн}}}{\mu} = \frac{0 \cdot 0,06}{0 \cdot 10^{-7}} = 0$$

режим турбулентный

где $W_{\text{ср}}$ – массовая скорость теплоносителя, $\text{кг}/\text{с} \cdot \text{м}^2$;

μ – динамический коэффициент вязкости, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

$$\mu_{\text{см}} = \mu_{\text{эт}} \cdot (1 - \varphi_0)^{-3} = 636 \cdot 10^{-7} \cdot (1 - 0,38)^{-3} = 2668,6 \cdot 10^{-7} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

где φ_0 – объемная доля полиэтилена

$$\varphi_0 = \frac{G_{нэ} \cdot \rho_{нэ}}{G_{р.м.} \cdot \rho_{р.м.}} = \frac{4,02 \cdot 910}{16,37 \cdot 5914} = 0,38$$

$$W_{ср} = \frac{G_1}{S_{тр}} = \frac{16,37}{0,00283} = 5784,45$$

где $S_{тр}$ – площадь проходного сечения реакционной трубы, м²;

$$S_{тр} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,06)^2}{4} = 0,00283 \text{ м}^2$$

$$Pr = \frac{Cp \cdot \mu}{\lambda} = \frac{2,5 \cdot 10^3 \cdot (2668,6) \cdot 10^{-7}}{0,147} = 4,53$$

Подставляем все значения в формулу (4.8):

$$Nu = 0,023 \cdot (942089)^{0,8} \cdot (4,53)^{0,4} = 2531,9$$

Находим α_1 по формуле (7.3.1.7):

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} = \frac{2531,9 \cdot 0,147}{0,06} = 6203,2 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{град}$$

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}$$

где α_1 - коэффициент теплоотдачи от реакционной массы к стенке, кДж/м²·град;

α_2 - коэффициент теплоотдачи от стенки к воде, кДж/м²·град;

Nu – критерий Нуссельта;

λ - коэффициент теплопроводности воды, $\lambda = 0,6677$ Вт/(м·К);

$d_{нар}$ - наружный диаметр трубы, $d_{нар} = 0,146$ м;

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot \left(\frac{d_{нар}}{d_{вн}}\right)^{0,45}$$

где Re – критерий Рейнольдса;

Pr – критерий Прандтля.

По формуле (7.3.1.9) находим:

$$Re = \frac{W_{ср} \cdot d_{вн}}{\mu} = \frac{79296 \cdot 0,151}{1347 \cdot 10^{-7}} = 888915,8 \text{ Дж}$$

где $W_{ср}$ – массовая скорость теплоносителя, кг/с·м²;

μ – динамический коэффициент вязкости, $\mu = 1347 \cdot 10^{-7}$ Па·с; [с]

По формуле (7.3.1.12) находим:

$$W_{cp} = \frac{G_1}{S_{mp}} = \frac{41,66}{0,052537} = 792,96 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2$$

где $S_{м.тр}$ – площадь поперечного сечения межтрубного пространства,
 $S_{м.тр} = 52,537 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$;

G_B – массовый расход воды, кг/с

$$G_B = \frac{Q_{нагр}}{\Delta i} = \frac{4763561,099}{114321,62} = 41,66 \text{ Дж}$$

$$\Delta i = c_{p1} \cdot T_1 - c_{p2} \cdot T_2 = 4,4315 \cdot 10^3 \cdot 442,25 - 4,690 \cdot 10^3 \cdot 442,25 = 114321,62 \text{ Дж/кг}$$

где T_1, T_2 – 169,1 °С (442,25 К)

По формуле (6.14) находим:

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{\lambda} = \frac{4,4699 \cdot 10^3 \cdot 1347 \cdot 10^{-7}}{0,6677} = 0,901$$

По формуле (4.15) находим:

$$Nu = 0,023 \cdot (888915,8)^{0,8} \cdot (0,901)^{0,4} \cdot (0,297/0,146)^{0,45} = 1743,8$$

По формуле (4.7) находим:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} = \frac{1743,8 \cdot 0,6677}{0,146} = 7974,9 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{град}$$

$$r_{ст} = r_1 + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + r_2 = 0,000172 + \frac{0,043}{39} + 0,000172 = 0,00145$$

где r_1, r_2 – сопротивления загрязнений с обеих сторон стенки,
 (м²·К)/Вт;

$\delta_{ст}$ – толщина стенки, м;

$\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности материала стенки, $\lambda_{ст} = 39$
 Вт/(м·К) [28];

Рассчитываем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{cm} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (7.3.3.19)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{ст} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{6203,1} + 0,00145 + \frac{1}{7974,9}} = 575,0 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{град}$$

где α_1 - коэффициент теплоотдачи от реакционной массы к стенке, кДж/м³·град;

α_2 - коэффициент теплоотдачи от стенки к воде, кДж/м³·град;

Средняя разность температур:

$$\begin{array}{ccc} 310 & \longleftarrow & 220 \\ 185 & \longrightarrow & 215 \end{array}$$

$$\Delta t_n = 310 - 185 = 125 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_k = 220 - 215 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{(\Delta t_n + \Delta t_k)}{2}$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{(\Delta t_n + \Delta t_k)}{2} = \frac{125+5}{2} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$$

Расчет необходимой поверхности охлаждения второй зоны реактора:

$$F_{рас} = \frac{Q_{нагр}}{K \cdot \Delta t_{cp}}$$

$$F_{рас} = \frac{Q_{нагр}}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{4763561,1}{589,5 \cdot 65} = 138,9 \text{ м}^2$$

где Q – количество теплоты, которое необходимо отвести, Вт;

K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);

Δt_{cp} - средняя разность температур, °С

Действительная поверхность охлаждения первой зоны реактора:

$$F_{действ} = \pi \cdot d \cdot l = 3.14 \cdot 0.146 \cdot 450 = 206,3 \text{ м}^2$$

По ГОСТ 9930 - 78 принимаем поверхность теплообмена равной 160 м²,

$F_{действ} > F_{рас}$, следовательно поверхности теплообмена достаточно. 11

Для повышения эффективности отвода тепла реакции и обеспечения производительности реакторов от 110 до 125 тыс.т/год на станции горячей воды необходимо осуществить следующие технические мероприятия:

- В данный момент горячая вода с обогрева 1 зоны реакторного блока противотоком поступает в подогреватель П1.

Предложение перевести подогреватель П1 на ПАР 2,2 МПа. Это позволит увеличить расход воды через рубашки второй и третьей зон реактора, что обеспечит повышенный теплосъем в этих зонах;

- в связи с этим добавится контур регулирования давления воды на выходе из первой зоны;

- с целью достижения проектных уровней конверсии по зонам реактора расходы горячей воды по рубашкам зон реактора должны составлять по 175-250 т/ч, по рубашкам продуктовых холодильников и холодильников первой ступени охлаждения возвратного газа высокого давления – по 75 т/ч;

- температура воды в первом контуре охлаждения должна составлять 175 - 190 °С, в зависимости от режима полимеризации, во втором контуре - 135 - 145 °С.

7.4 Механический расчет

7.4.1 Техническая характеристика.

Аппарат предназначен для полимеризации этилена.

Таблица 7.9. Рабочие параметры подогревателя.

Подогреватель	
1.2. Давление рабочее, кг/см ²	
в трубах высокого давления	2500.0
в рубашке	32.0
1.3. Давление расчетное, кг/см ²	
в трубах высокого давления	2500.0
в рубашке	36.0
1.4. Давление пробное, кг/см ²	
в трубах высокого давления	3800.0
в рубашке	42.0
1.5. Температура рабочая, °С	
в трубах высокого давления	70
в рубашке	70...160
1.6. Температура расчетная, °С	
в трубах высокого давления	240
в рубашке	240
1.7. Среда	взрывопожароопасная
в трубах высокого давления	этилен, пропилен, перекиси
в рубашке	пар
1.8. Максимальная разность температур стенки при наружном обогреве труб высокого давления, °С в условиях разогрева	147
1.9. Максимальная допустимая разница температур между коленом-перетоком и необогреваемым участком трубы высокого давления	190

Таблица 7.10. Рабочие параметры реактора.

Реактор	
1.2. Давление рабочее, кг/см ²	
в трубах высокого давления	2500.0
в рубашке	75.0
1.3. Давление расчетное, кг/см ²	
в трубах высокого давления	2500.0
в рубашке	80.0
1.4. Давление пробное, кг/см ²	
в трубах высокого давления	4200.0

Реактор	
в рубашке	104.0
1.5. Температура рабочая, °С	
в трубах высокого давления	60...160
в рубашке	240
1.6. Температура расчетная, °С	
в трубах высокого давления	340
в рубашке	240
1.7. Среда	взрывопожароопасная
в трубах высокого давления	полиэтилен, пропилен, этилен
в рубашке	вода
1.8. Максимальная разность температур стенки при наружном обогреве труб высокого давления, °С в условиях разогрева	147...163
1.9. Максимальная допустимая разница температур между коленом-перетоком и необогреваемым участком трубы высокого давления	190

7.4.2 Расчет трубы высокого давления

Материал труб: 30CrNiMo8V с механическими характеристиками:

$$\text{При } 20 \text{ } ^\circ\text{C } \delta_T > 8200 \text{ кгс/см}^2 : \delta_B \geq 9500 \text{ кгс/см}^2$$

$$\text{При } 340 \text{ } ^\circ\text{C } \delta_T^t > 6500 \text{ кгс/см}^2 : \delta_B^t \geq 7500 \text{ кгс/см}^2$$

Толщину стенки трубы рассчитываем по формуле:

$$S = \frac{1,25 \cdot P_{\text{рв}} \cdot d_{\text{вн}}}{2 \cdot \varphi \cdot (\sigma_p) - P} + C + C_1 \quad (7.4.2.1)$$

где $d_{\text{вн}}$ - внутренний диаметр, см ($d_{\text{вн}} = 0,04$ м)

P - расчетное давление кгс/см²; $P = 2500$ кгс/см²

$\delta_{\text{доп}}$ - допускаемое напряжение для материала труб при расчетной температуре, кгс/см²

c - прибавка на коррозию, см ($c = 0$)

c_1 - конструктивно-технологическая прибавка

$$\sigma_{\text{доп}} = \min \{ \sigma_B / \Pi_B; \sigma_T / \Pi_T \} \quad (7.4.2.2)$$

где σ_B - предел прочности при расчетной температуре, $\sigma_B = 7500$ кг/см² [31];

σ_T - предел текучести материала труб при расчетной температуре,

$$\sigma_T = 6500 \text{ кг/см}^2 [31];$$

Π_T – запас прочности по пределу текучести, $\Pi_T=1,5$ [31];

Π_B – предел прочности по пределу прочности, $\Pi_B = 2,2$ [31];

$$\sigma_{\text{доп}} = \min \{7500/2,2 = 3400 \text{ кг/см}^2; 6500/1,5 = 4330 \text{ кг/см}^2\}$$

$$\text{принимаем } \sigma_{\text{доп}} = 3400 \text{ кг/см}^2$$

$$c_1 = \Delta_1 + (\beta - 1) \cdot \frac{\Delta_2}{2} \quad (7.4.2.3)$$

$$c_1 = \Delta_1 + (\beta - 1) \cdot \frac{\Delta_2}{2} = 0,0012 + (2,082 - 1) \cdot \frac{0,0021}{2} = 0,0023$$

где β – коэффициент толстостенности, 2,082;

Δ_1 - прибавка, учитывающая отрицательный допуск по толщине стенки, см;

Δ_2 - прибавка, учитывающая положительный допуск на наружный диаметр, см;

$$Ln_{\beta} = \frac{1,25 \cdot P}{\sigma_{\text{доп}}} \quad (7.4.2.4)$$

$$Ln_{\beta} = \frac{1,25 \cdot 2500}{3400} = 0,92$$

$$\beta = 2,082$$

$$\Delta_1 = \Delta \cdot Sp = 0,56 \cdot 0,5 \cdot D(\beta - 1) = 0,056 \cdot 0,5 \cdot 0,04 \cdot (2,082 - 1) = 0,0012 \text{ м} \quad (7.4.2.5)$$

$\Delta = 0,056$ отрицательный допуск по толщине стенки $\delta = -7\%$

$$\Delta_2 = \Delta' \cdot \beta \cdot D = 0,02 \cdot 2,082 \cdot 0,04 = 0,0021 \text{ м} \quad (7.4.2.6)$$

$\Delta' = 0,02$ положительный допуск допуске на наружный диаметр $\delta = + 2\%$

$$S = \frac{1,25 \cdot 2500 \cdot 0,04}{2 \cdot 1 \cdot (3400) - (1,25 \cdot 2500)} + 0,0023 = 0,041 \text{ м}$$

Принята толщина стенки: $S = 4,3$ см [34].

7.4.3 Расчет укрепления отверстия труб диаметром 159*6

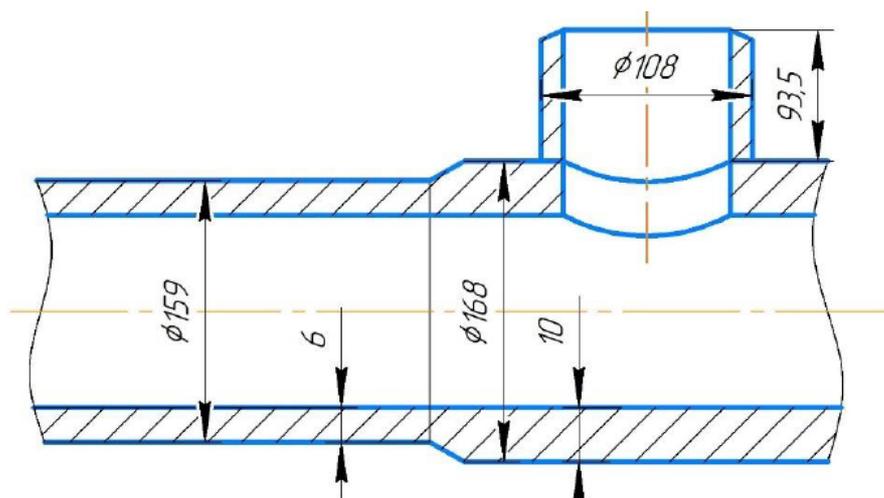


Рисунок - 5. Сечение трубы диаметром 159*6.

Наибольший допустимый диаметр неукрепленного отверстия определяем по формуле:

$$d_{\text{пред}} = \left(\frac{2}{\varphi_0} - 1,75 \right) \cdot \sqrt{(D_{\text{н}} - S) \cdot (S - C)} \quad (7.4.3.7)$$

где P - расчетное давление кгс/см²; $P = 36$ кгс/см²;

$D_{\text{н}}$ - диаметр наружный с толщиной укрепления стенки, 168 мм;

S - толщина стенки, 10 мм;

C - конструктивно-технологическая прибавка;

$[\delta]$ - допускаемое напряжение для материала трубы при расчетной температуре, кгс/см² $[\delta] = 13,2$ кг/см²;

$$\varphi_0 = \frac{P \cdot [D_{\text{н}} - (S - C)]}{200 \cdot (S - C) \cdot [\delta]} \quad (7.4.3.8)$$

$$\varphi_0 = \frac{36 \cdot [168 - (10 - 1,395)]}{200 \cdot (10 - 1,395) \cdot [13,2]} = 0,25$$

$$d_{\text{пред}} = \left(\frac{2}{0,25} - 1,75 \right) \cdot \sqrt{(168 - 10) \cdot (10 - 1,395)} = 230,45 \text{ мм}$$

$d = 84 \text{ мм} < d_{\text{пред}} = 230 \text{ мм}$ - дополнительного укрепления не требуется.

7.4.4 Расчет колена труба диаметром 159*6

Номинальная толщина стенки определяется по формуле:

$$S = \left(\frac{P \cdot D_n}{200 \cdot [\delta] + P} \right) + C \quad (7.4.3.9)$$

где P- расчетное давление кгс/см² ; P = 36 кгс/см²;

D_n - диаметр наружный с толщиной укрепления стенки, 168 мм;

S - толщина стенки, 10 мм;

c - конструктивно-технологическая прибавка;

[δ] - допускаемое напряжение для материала трубы при расчетной температуре, кгс/см² [δ] = 13,2 кг/см²;

φ - 1.

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

$$(7.4.3.10)$$

$$C_1 = A_1 \cdot (S - C) = 0,18 \cdot 2,14 = 0,385 \text{ мм}$$

$$(7.4.3.11)$$

где A₁ = 0,18 мм (таб.) - при минусовом отклонении толщине стенки

$$\delta = -15\% \text{ и } \left(\frac{R}{D_n} = \frac{1300}{159} = 8,1 > 3,5 \right)$$

R - радиус гiba трубы, мм (R = 1300)

$$S - C = 2,14 \text{ мм}$$

C₂ - прибавка, учитывающая искажение формы при гibe.

$$C_2 = A \cdot (S - C) = 0,85 \cdot 2,14 = 1,82 \text{ мм}$$

$$(7.4.3.12)$$

A₂ - коэффициент, зависящий от овальности гнутого участка трубы α = 6

$$\text{и величины } \left(\frac{S_n}{D_n} = \frac{2,14}{159} \right)$$

C₃ - прибавка на коррозию, мм C₃ = 1 мм

$$C = 0,385 + 1 + 1,82 = 3,205 \text{ мм}$$

Подставляем данные в формулу (7.4.3.9):

$$S = \left(\frac{P \cdot D_H}{200 \cdot [\delta] + P} \right) + C = \frac{36 \cdot 159}{200 \cdot 13,2 + 36} + 3,205 = 5,3 \text{ мм}$$

Принята толщина, $S = 6,0$ мм.

7.4.5 Расчет элементов рубашек трубы диаметром 273*12

Материал трубы сталь 20

Механические характеристики при 20 °С

Предел текучести $\delta_T = 2200$ кгс/см² :

Предел прочности $\delta_B = 4200$ кгс/см²

Номинальная толщина стенки определяется по формуле:

$$S = \left(\frac{P \cdot D_H}{200 \cdot [\delta] + P} \right) + C \quad (7.4.3.13)$$

Формула пригодна при соблюдении условия

$$s - \left(\frac{S - C}{D_H} \right) \leq 0,25$$

где P - расчетное давление, $P = 80$ кгс/см²

D_H - наружный диаметр трубы $D_H = 273$ мм

γ - коэффициент прочности сварного шва $\gamma = 1$

$[\delta]$ - допускаемое напряжение для материала трубы при расчетной температуре, кгс/см² $[\delta] = 13,2$ кг/см²;

ϕ - коэффициент прочности сварного шва, $\phi = 1$

C - прибавка

A_1 - коэффициент, зависящий от величины минусового допуска по толщине стенки, $\delta = -5\%$ ($A_1 = 0,05$ мм, табл.)

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (7.4.3.14)$$

$$C = 0,442 + 1 = 1,442 \text{ мм}$$

$$C_1 = A_1 \cdot (S - C) \quad (7.4.3.15)$$

$$C_1 = 0,05 \cdot 8,53 = 0,426 \text{ мм}$$

Наибольший допустимый диаметр неукрепленного отверстия определяем по формуле:

$$d_{\text{пред}} = \left(\frac{2}{\varphi_0} - 1,75 \right) \cdot \sqrt{(D_{\text{н}} - S) \cdot (S - C)} \quad (7.4.3.19)$$

где P - расчетное давление кгс/см²; $P = 80$ кгс/см²;

$D_{\text{н}}$ - диаметр наружный с толщиной укрепления стенки, 299 мм;

S - толщина стенки, 28 мм;

C - конструктивно-технологическая прибавка;

$[\delta]$ - допускаемое напряжение для материала трубы при расчетной температуре, кгс/см² $[\delta] = 13,2$ кг/см²;

$$\varphi_0 = \frac{P \cdot [D_{\text{н}} - (S - C)]}{200 \cdot (S - C) \cdot [\delta]} \quad (7.4.3.20)$$

$$\varphi_0 = \frac{80 \cdot [299 - (28 - 1,426)]}{200 \cdot (28 - 1,426) \cdot [13,2]} = 0,31$$

$$d_{\text{пред}} = \left(\frac{2}{0,31} - 1,75 \right) \cdot \sqrt{(299 - 28) \cdot (28 - 1,426)} = 399 \text{ мм}$$

$d = 200 \text{ мм} < d_{\text{пред}} = 399 \text{ мм}$ - дополнительного укрепления не требуется.

7.4.7 Расчет колена труба диаметром 273*12

Номинальная толщина стенки определяется по формуле:

$$S = \frac{(P \cdot D_{\text{н}})}{(200 \cdot \varphi [\delta] + P)} + C \quad (6.20)$$

где

P - расчетное давление, $P = 80$ кгс/см²

$D_{\text{н}}$ - наружный диаметр трубы $D_{\text{н}} = 273$ мм

γ - коэффициент прочности сварного шва $\gamma = 1$

$[\delta]$ - допускаемое напряжение для материала трубы при расчетной температуре, $[\delta] = 13,2$ кгс/см²

C - прибавка

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

где

$A_1 = 0,18$ мм (таб.) - при минусовом отклонении толщине стенки $\delta = -5\%$ и $\frac{R}{D_H} = \frac{1300}{273} = 4,8$

R - радиусгиба трубы, мм ($R = 1300$)

$S - C = 8,53$ мм

C_2 - прибавка, учитывающая искажение формы при гйбе.

$C_2 = A \cdot (S - C) = 0,33 \cdot 8,53 = 2,815$ мм

(7.4.3.21)

A_2 - коэффициент, зависящий от овальности гнутого участка трубы $\alpha = 6$ и величины $\frac{S_0}{D_H} = \frac{8,53}{273}$

$S_0 = S - C = 8,53$ мм, $A_2 = 0,33$ (таб.)

C_3 - прибавка на коррозию, мм $C_3 = 1$ мм

$C = 0,51 + 2,815 + 1 = 4,325$ мм

Подставляем данные в формулу (6.20):

$$S = \left(\frac{P \cdot D_H}{200 \cdot [\delta] + P} \right) \cdot C = \frac{80 \cdot 273}{200 \cdot 13,2 + 80} + 4,325 = 12,0 \text{ мм}$$

Принята толщина, $S = 12,0$ мм.

7.4.8 Расчет перетоков

Переток ($D=219 \times 10$, $R=800$)

Материал: сталь 20

Механические характеристики при 20°C .

Предел текучести $\delta_T = 2200$ кгс/см²;

Предел прочности $\delta_B = 4200$ кгс/см²;

Толщина стенки определяется по формуле:

$$S - C = \frac{P \cdot D_n}{200 \cdot \varphi \cdot [\sigma]} + P \quad (6.9)$$

Формула пригодна при соблюдении условия:

$$\frac{S - C}{D_n} \leq 0,25; \quad \frac{14 - 1,478}{219} = 0,06 \leq 0,25$$

где P – расчетное давление, $P = 80 \text{ кг/см}^2$;

D_n – наружный диаметр, $D_n = 219 \text{ мм}$;

φ – коэффициент прочности сварного шва, $\varphi = 1$;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала трубы при расчетной температуре, $[\sigma] = 13,2 \text{ кг/см}^2$;

C – прибавка, мм

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0,644 + 2,125 + 1 = 3,77 \text{ мм}$$

где C_1 – конструктивно, технологическая прибавка, мм

C_2 – прибавка, учитывающая искажение формы трубы при гнбе, мм;

$$C_1 = A_1 \cdot (S - C) = 0,1 \cdot 6,44 = 0,644 \text{ мм}$$

A_1 – коэффициент, зависящий от величины отклонения по, $A_1 = 0,1 \text{ мм}$ при отклонении по толщине стенки $\delta = -5 \%$ и при $R/D_n = 800/219 = 3,65$

$$C_2 = A_2 \cdot (S - C) = 0,33 \cdot 6,44 = 2,125 \text{ мм}$$

A_2 – коэффициент, зависящий от овальности круглого участка трубы $\alpha = 6\%$, и при $S_0/D_n = 6,44/219 = 0,294$; $A_2 = 0,33$;

$$S - C = S_0$$

$$S_0 = \frac{P \cdot D_n}{200 \cdot [\sigma_{дон}] + P} = \frac{80 \cdot 219}{200 \cdot 13,2 + 80} = 6,44 \text{ мм}$$

C_3 – прибавка, компенсирующая коррозию, $C_3 = 1 \text{ мм}$

Подставляем данные в формулу (6.9):

$$S_0 = \frac{P \cdot D_n}{200 \cdot \varphi \cdot [\sigma]} + C = \frac{80 \cdot 219}{200 \cdot 1 \cdot 13,2} + 3,77 = 10,209 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки перетока равной 10 мм.

Переток (D=219x8, R=710)

Материал трубы сталь 20.

Механические характеристики при 20 °С.

Предел текучести $\delta_T = 2200 \text{ кгс/см}^2$;

Предел прочности $\delta_B = 4200 \text{ кгс/см}^2$;

Номинальная толщина определяется по формуле:

Толщина стенки определяется по формуле:

$$S - C = \frac{P \cdot D_H}{200 \cdot \varphi \cdot [\sigma] + P} \quad (6.9)$$

Формула пригодна при соблюдении условия:

$$\frac{S - C}{D_H} \leq 0,25; \quad \frac{14 \cdot 1,4/8}{219} = 0,06 \leq 0,25$$

где P – расчетное давление, $P = 80 \text{ кг/см}^2$;

D_H – наружный диаметр, $D_H = 219 \text{ мм}$;

φ – коэффициент прочности сварного шва, $\varphi = 1$;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала трубы при расчетной температуре, $[\sigma] = 13,2 \text{ кг/см}^2$;

C – прибавка, мм

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0,644 + 2,125 + 1 = 3,77 \text{ мм}$$

где C_1 – конструктивно, технологическая прибавка, мм

C_2 – прибавка, учитывающая искажение формы трубы при гире, мм;

$$C_1 = A_1 \cdot (S - C) = 0,1 \cdot 6,44 = 0,644 \text{ мм}$$

A_1 – коэффициент, зависящий от величины отклонения по, $A_1 = 0,1 \text{ мм}$
при отклонении по толщине стенки $\delta = -5 \%$ и при $R/D_H = 800/219 = 3,65$

$$C_2 = A_2 \cdot (S - C) = 0,33 \cdot 6,44 = 2,125 \text{ мм}$$

A_2 – коэффициент, зависящий от овальности круглого участка трубы $\alpha = 6\%$, и при $S_0/D_H = 6,44/325 = 0,198$; $A_2 = 0,33$;

$$S - C = S_0$$

$$S_0 = \frac{P \cdot D_H}{200 \cdot [\sigma_{доп}] + P} = \frac{80 \cdot 219}{200 \cdot 13,2 + 80} = 6,44 \text{ мм}$$

C_3 – прибавка, компенсирующая коррозию, $C_3 = 1 \text{ мм}$

Подставляем данные в формулу (6.9):

$$S_0 = \frac{P \cdot D_H}{200 \cdot \varphi \cdot [\sigma] + P} + C = \frac{80 \cdot 219}{200 \cdot 1 \cdot 13,2 + 80} + 3,77 = 10,209 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки перетока равной 10 мм.

7.4.9 Расчет фланца

Фланец $d_y = 80$

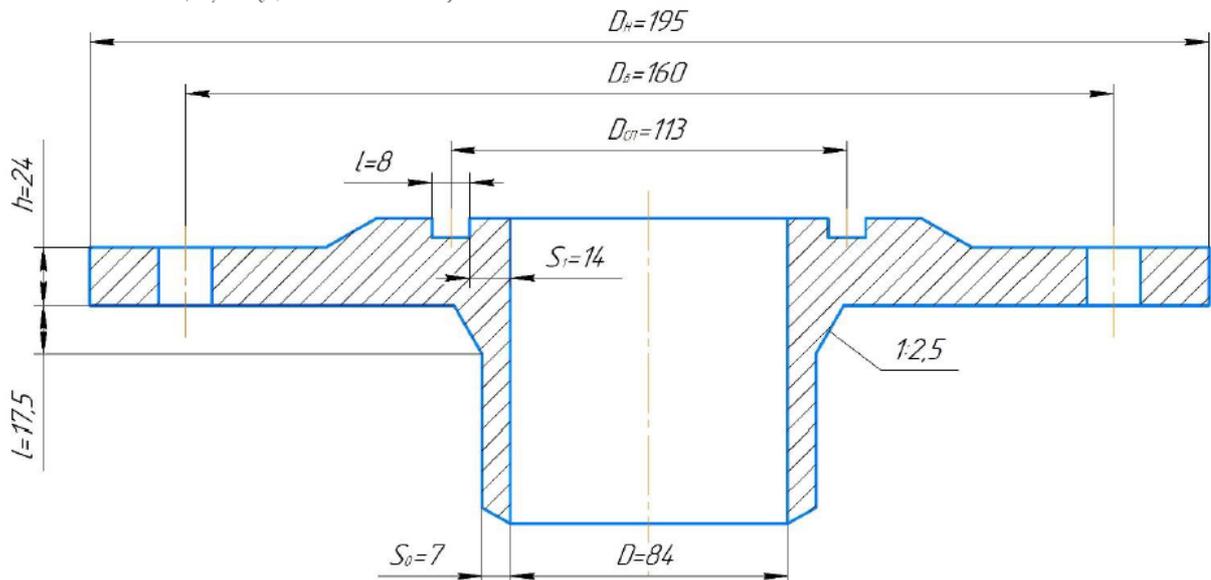


Рисунок 5. Фланец $d_y=80$.

Материал фланца - сталь 20.

Механические характеристики при 20°C

Предел текучести $\delta_T = 2200 \text{ кг/см}^2$; Предел прочности $\delta_B = 4400 \text{ кг/см}^2$;

Материал болтов - сталь 35

Предел текучести $\delta_T = 3200 \text{ кг/см}^2$; Предел прочности $\delta_B = 5400 \text{ кг/см}^2$;

Материал прокладки - медь МЗМ.

Расчет проводим по [14]. Расчетные формулы применимы при

$$\frac{D_n}{D} \leq 2 \quad \frac{19,5}{8,4} \approx 2$$

Равнодействующая внутреннего давления

$$Q_g = 0,785 \cdot D_{сп}^2 \cdot P \quad (7.4.3.22)$$

$$Q_g = 0,785 \cdot 11,3^2 \cdot 36 = 3608 \text{ кгс.}$$

Реакция прокладки в рабочих условиях:

$$R_{II} = 2 \cdot n \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot P \quad (7.4.3.23)$$

$$R_n = 2 \cdot 3,14 \cdot 11,3 \cdot 0,4 \cdot 4,75 \cdot 36 = 4856 \text{ кгс}$$

где m - принимается по табл., $m = 4,75$;

b_0 - определяется по табл., $0,4$ см;

P - расчетное давление, кг/см^2 ($P = 36$);

Условие, возникающее от разности температур фланца и болтов в период эксплуатации

$$Q_t = \gamma \cdot n \cdot f_b \cdot E_b \cdot t_p \cdot (\alpha_{cp} - \alpha_b \cdot K_1) \quad (7.4.3.24)$$

где γ - коэффициент принимается по табл. ($\gamma = 0,25$);

K_1 - принимается по табл. ($K_1 = 0,95$);

f_b - площадь поперечного сечения болта, см^2 . $f_b = 1,41$ (для болта М16);

n - количество болтов ($n = 8$);

α_{cp} и α_b - коэффициенты линейного расширения материала фланца и болтов, мм/мм . $\text{гр} = 12,78 \cdot 10^6$;

E_b , E_f - модуль упругости материала фланца и болтов при $t_p = 240$ °С;

$E_b = E_f = 1,76 \cdot 10^6$ кг/см^2 .

$$Q_t = 0,25 \cdot 8 \cdot 2 \cdot (1,76 \cdot 10^6) \cdot 240 \cdot ((12,78 \cdot 10^6) \cdot (1 - 0,95)) = 1125 \text{ кгс/см}^2$$

Болтовая нагрузка

В условиях монтажа принимается большее из

$$P_{b1} = \zeta \cdot (\alpha \cdot Q_g + R_n) \quad (7.4.3.25)$$

$$P_{b1} = \zeta \cdot (\alpha \cdot Q_g + R_n) = 1,1 \cdot (1,25 \cdot 3628 + 4854) = 10300 \text{ кгс}$$

$$P_{b1} = \pi \cdot b_0 \cdot D_{cm} \cdot q \quad (7.4.3.26)$$

$$P_{b1} = 3,14 \cdot 0,4 \cdot 11,3 \cdot 900 = 12779,0 \text{ кгс}$$

где q - минимальное давление на прокладку кг/см^2 ($q=900$);

$\alpha = 1,25$ (табл.);

ζ - принимается меньшее из 2х величин.

$$\zeta = \frac{[\sigma]_{\psi}^{20}}{[\sigma]_{\psi}^e} = \frac{1470}{1330} = 1,1; \quad \xi = \frac{[\sigma]_{\psi}^{20}}{[\sigma]_{\psi}^e} = \frac{1100}{950} = 1,16$$

где $[\sigma]_{\psi}^{20}$, $[\sigma]_{\psi}^e$ - допускаемое напряжение для материала фланца при 20 °С и рабочих условиях $t = 250$ °С (принимается по ГОСТ 14249-89);

$\delta_{\phi 20}$, $\delta_{\phi t}$ - допускаемое напряжение для материала болтов при 20 °С и рабочих условиях;

$$[\delta]_{\phi}^{20} = 1300 \text{ кг/см}^2; [\delta]_{\phi}^t = 1070 \text{ кг/см}^2 \text{ (табл.)};$$

В рабочих условиях:

$$P_{\delta 2} = Q_g \cdot R_n \cdot Q_r \quad (7.4.3.27)$$

$$P_{\delta 2} = 3608 \cdot 4856 \cdot 1125 = 9587 \text{ кгс}$$

Условие прочности болтов

$$\delta_{\phi 2} = \frac{P_{\delta 1}}{n \cdot f_{\delta}} \leq [\delta]^{20} \quad \frac{12779,0}{8 \cdot 1.41} = 1132 \leq 1300$$

Условие прочности выполняется.

Приведенный изгибающий момент M_0 принимается большее из 2-х значений.

$$M_0 = \frac{P_{\delta 1} \cdot (D_{\phi} - D_{\text{сп}})}{2} \quad (7.4.3.28)$$

$$M_0 = \frac{12779,0 \cdot (16 - 11,3)}{2} = 30030,0 \text{ кгс} \cdot \text{см}$$

$$M_{02} = \frac{1}{2} \cdot [P_{\delta 2} \cdot (D_{\phi} - D_{\text{сп}})] + Q_g \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_3) \cdot \frac{[\delta]_{\text{сп}}^{20}}{[\delta]_{\text{сп}}^t}$$

(7.4.3.29)

$$M_{02} = \frac{1}{2} \cdot [9588 \cdot (16 - 11,3)] + 3608 \cdot (11,3 - 8,4 - 1) \cdot 1,1 \\ = 28556,15 \text{ кгс} \cdot \text{см}$$

где S_3 - эквивалентная толщина втулки

$$S_3 = \aleph \cdot S_0$$

\aleph - коэффициент равен ($\aleph = 1.42$) в зависимости от:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{S_0}{D} \rightarrow \frac{0.7}{8.4} \rightarrow 0.083 \\ \beta := \frac{S_1}{S_0} \rightarrow \frac{1.4}{0.7} \rightarrow 2.0 \\ i := 1 : 2.5 \end{array} \right.$$

Принимаем $M_0 = 30030 \text{ кгс} \cdot \text{см}$

Максимальное напряжение во втулке фланца:

а) в сечении S_1

$$\delta_1 = \frac{T \cdot M_0 \cdot \omega_0}{D \cdot (S_1 - C)^2} \quad (6.30)$$

$$\omega = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot (1 + (\psi_1 \cdot f^2))} \quad (6.31)$$

$$\omega = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,8 \cdot (1 + (0,26 \cdot 2,3^2))} = 0,37$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{D \cdot S_2}} = \frac{2,4}{\sqrt{8,4 \cdot 1}} = 0,828$$

где ψ_1 - коэффициент определяется в зависимости от:

$$K = \frac{D_H}{D} = \frac{195}{84} = 2,3;$$

$\psi_1 = 0,26$;

T - определяется по табл. в зависимости от $K = 2$; $T = 1,5$;

$D^* = D + S_1 = 8,4 + 1,4 = 9,8$ при $D < 205$; $8,4 < 20 \cdot 1,4$

f - коэффициент определяется по табл. в зависимости от

$$\lambda = \frac{l}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{1,75}{\sqrt{8,4 \cdot 0,7}} = 0,72; \quad \frac{S_1}{S_0} = \frac{1,4}{0,7} = 2; \quad f = 1$$

Подставляем данные в формулу (7.4.3.30)

$$\delta_1 = \frac{T \cdot M_0 \cdot \omega_0}{D \cdot (S_1 - C)^2} = \frac{1,5 \cdot 30030 \cdot 0,37}{9,8 \cdot (1,4 - 0,1)^2} = 1006,0 \text{ кг/см}^2$$

в сечении S_0

$$\delta_0 = f \cdot \delta_1 = 1 \cdot 1006 = 1006 \text{ кг/см}^2$$

Окружное напряжение в кольце фланца

$$\delta_K = \frac{M_0 \cdot [1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{D \cdot h^2} \quad (6.32)$$

$$\delta_K = \frac{30030,0 \cdot [1 - 0,37 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,83)] \cdot 3}{8,4 \cdot 2,4^2} = 658,41 \text{ кг/см}^2$$

где ψ_2 - коэффициент определяется по черт. 9 в зависимости от $K = 2$;

$$\psi_2 = 3$$

Условие прочности:

а) в сечении S1

$$\sqrt{\delta_1^2 + \delta_R^2} + \delta_1 + \delta_K \leq [\delta]$$

$$\text{где } [\delta] = n \cdot \delta_{T20} = 1 \cdot 2200 = 2200 \text{ кг/см}^2$$

$[\delta]$ - допускаемое напряжение при 20 °С

$$\sqrt{1006^2 + 658,41^2} + 1006 + 658,41 = 1203 \text{ кг/см}^2 < 2200 \text{ кг/см}^2$$

б) в сечении So

$$\sqrt{(\delta_0 + \delta_K)^2 + \delta_t^2} + (\delta_0 + \delta_M) \cdot \delta_t \leq [\delta_0]$$

где δ_M - меридиальное напряжение от внутреннего давления, кг/см²

$$\delta_M = \frac{P \cdot D}{4 \cdot (S_0 - C)} \quad (7.4.3.33)$$

$$\delta_M = \frac{36 \cdot 8,4}{4 \cdot (0,7 - 0,1)} = 125 \text{ кг/см}^2$$

δ_t - тангенциальное напряжение от во втулке от внутреннего давления, кг/см².

$$\delta_t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S - C)} \quad (7.4.3.34)$$

$$\delta_t = \frac{36 \cdot 8,4}{2 \cdot (0,7 - 0,1)} = 251 \text{ кг/см}^2$$

(δ_0) - допускаемое напряжение при 20 °С для $P_y \leq 40$

$$[\sigma]_0 = 0,003 \cdot E_{20} \cdot n = 0,003 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 1 = 5999,0 \text{ кг/см}^2$$

$$\sqrt{(1006 + 125)^2 + 251^2} + (1006 + 126) \cdot 251 = 1275 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} < 6000 \text{ кг/см}^2$$

Условие прочности выполняется.

Условие герметичности:

(где $(\varphi) = 0,009$ при $D < 2000$ мм)

$$\varphi = \frac{\sigma_R}{E_{20}} \cdot \frac{D}{h} \leq [\varphi] \quad (6.35)$$

$$\varphi = \frac{677}{2 \cdot 10^6} \cdot \frac{8,4}{8,4} = 0,0018 < 0,009$$

Условие герметичности выполняется.

7.4.10 Подбор штуцеров

Выбираем проход штуцера для рубашек, обозначения «1-1,6-Dy ОН 26-01-34-66» [30]:

$$P_y = 1,0-1,6 \text{ Мн/м}^2, D_y = 225 \text{ мм}, D_b = 226 \text{ мм}, H = 80 \text{ мм}$$

Выбран тип прохода штуцеров сварного типа.

Второй тип прохода штуцеров – резьбовой, предназначенный для высоких давлений [34].

$$P_y = 250 \text{ Мн/м}^2, D_y = 60 \text{ мм}, d_1: \text{ М } 140 \times 3, d_2 = 100 \text{ мм}, l = 95;$$

$$P_y = 250 \text{ Мн/м}^2, D_y = 40 \text{ мм}, d_1: \text{ М } 95 \times 3, d_2 = 65 \text{ мм}, l = 75;$$

$$P_y = 250 \text{ Мн/м}^2, D_y = 10 \text{ мм}, d_1: \text{ М } 30 \times 2, d_2 = 19 \text{ мм}, l = 28.$$

7.4.11 Подбор фланцев

Выбираем фланцы к выбранным проходам штуцеров:

1) фланцы арматуры, соединительных частей, и трубопроводов из черных металлов [34]:

$$P_y = 4,0 \text{ Мн/м}^2, D_y = 225 \text{ мм}, D_b = 226 \text{ мм}, D_\phi = 357 \text{ мм}, H = 35 \text{ мм}$$

2) фланцы к проходам штуцеров с резьбовым соединением [30]:

$$P_y = 250 \text{ Мн/м}^2, D_y = 40 \text{ мм}, d_1: \text{ М } 95 \times 3, d_2 = 225 \text{ мм}, b = 60 \text{ мм}, D_b = 185 \text{ мм}, d_3 = 42 \text{ мм};$$

$$P_y = 250 \text{ Мн/м}^2, D_y = 60 \text{ мм}, d_1: \text{ М } 140 \times 3, d_2 = 350 \text{ мм}, b = 80 \text{ мм}, D_b = 250 \text{ мм}, d_3 = 56 \text{ мм};$$

$$P_y = 250 \text{ Мн/м}^2, D_y = 10 \text{ мм}, d_1: \text{ М } 30 \times 2, d_2 = 115 \text{ мм}, b = 25 \text{ мм}, D_b = 75 \text{ мм}, d_3 = 22 \text{ мм}.$$

7.4.12 Подбор прокладок

Применяют линзы уплотнительные, сталь марки 35ХМ [34]:

$P_y = 250 \text{ МН/м}^2$, $D_y = 60 \text{ мм}$, $d_1 = 80,6 \text{ мм}$, $d_2 = 110 \text{ мм}$, $d_3 = 150 \text{ мм}$
 $b_1 = 15 \text{ мм}$, $b_2 = 60 \text{ мм}$;

$P_y = 250 \text{ МН/м}^2$, $D_y = 40 \text{ мм}$, $d_1 = 51,3 \text{ мм}$, $d_2 = 76 \text{ мм}$, $d_3 = 105 \text{ мм}$
 $b_1 = 10 \text{ мм}$, $b_2 = 35 \text{ мм}$;

$P_y = 250 \text{ МН/м}^2$, $D_y = 10 \text{ мм}$, $d_1 = 13,6 \text{ мм}$, $d_2 = 24 \text{ мм}$, $d_3 = 34 \text{ мм}$
 $b_1 = 4 \text{ мм}$, $b_2 = 13 \text{ мм}$.

7.4.13 Подбор термокомпенсаторов

Выбираем волновые линзовые компенсаторы (на рубашку). Такой тип компенсаторов ограничивается относительно небольшим избыточным давлением, не более $1,6 \text{ МН/м}^2$ [34].

$P_y = 1,6 \text{ МН/м}^2$, $D_y = 300 \text{ мм}$, $D_v = 325 \text{ мм}$, $D = 475 \text{ мм}$, $l = 74 \text{ мм}$, $S = 4 \text{ мм}$

Линзовое уплотнение к компенсатору:

Линза «300-1,6 У ОН 26-01-79-68».

7.5 Расчет опор

Определение ветровой нагрузки.

Вес реактора незаполненного $y = 431700 \text{ кг}$,

Вес опор – $y_{оп} = 68170 \text{ кг}$,

Вес реактора без опор $y_1 = 363530 \text{ кг}$,

Изгибающий момент в расчетном сечении аппарата определяется по формуле:

$$M_{в} = \sum_{i=1}^{n_0} P_i (X_i - X_0)$$

где

P_i – горизонтальная сила от действия ветра на участок, кг,

$$P_i = 0,6 \cdot \beta_i \cdot g_i \cdot D_i \cdot h_i ,$$

g_i – нормативный скоростной напор, кгс/см² - 45,

β_i – коэффициент увеличения скоростного напора по участкам:

$$\beta_i = 1 + E \cdot m_i = 1 + E \cdot 0,35$$

m_i – коэффициент пульсации скоростного напора ветра в точке I (при высоте аппарата $H = 10$ м), - 0,35.

E – коэффициент динамичности, зависит от периода колебаний,

T – период собственных колебаний аппарата.

$$T = 2 \cdot \pi \cdot H \cdot \sqrt{\frac{Q_1 \cdot K_i^2 + Q_2 \cdot \beta_i^2}{g \cdot (V \cdot \frac{H}{2 \cdot H_1} + V_0)}}$$

K_i – относительное перемещение центров тяжести участков:

$$K_i = \gamma \frac{H}{2EJ_1} A_i + Y_0 \alpha_i$$

Y_0 – угол поворота опорного сечения, 1/кгс·см,

$$Y_0 = \frac{1}{G \cdot J_0^2}$$

G – коэффициент упорного неравномерного сжатия грунта, кгс/см² – 10,

J_ϕ – момент опор, см⁴,

$$J_\phi = 0,5 \cdot (D_{н4}^4 - D_{в4}^4)$$

E – модуль упругости материала, кгс/см² – $1,99 \cdot 10^6$,

H – высота аппарата – 9200 см,

g – ускорение свободного падения, см/сек² – 981,

γ – коэффициент определяемый в зависимости от схемы аппарата

$$J_\phi = 0,05 \cdot (1874 - 1214) = 33 \cdot 10^6 \text{ см}^4$$

$$J_1 = 0,05 \cdot (1484 - 1204) = 14 \cdot 10^6 \text{ см}^4$$

$$\frac{J_1}{J_2}$$

$$J_2 = 3 \cdot 0,05 \cdot (D_{нТ}^4 - D_{вТ}^4) = 3 \cdot 0,05 \cdot (21,94 - 17,74) = 19781 \text{ см}^4$$

где $D_T = 21,9$ см, - диаметр наружный труб,

$D_{вТ} = 17,70$ см, - диаметр внутренний труб,

$$\frac{H_1}{H} = \frac{574,8}{754,8} = 0,7615$$

$$\gamma = 4,0,$$

α_i – относительные координаты центров тяжести:

$$\alpha_1 = \frac{H_1}{H} = \frac{467,4}{754,8} = 0,619$$

$$\alpha_0 = \frac{X_1}{X} = \frac{90}{754,8} = 0,119$$

A_i – безразмерный коэффициент,

$$A_1 = 0,375, A_0 = 0,026,$$

$$K_1 = \gamma \cdot \frac{H}{2 \cdot E \cdot J_1} \cdot A_1 + (1,98 \cdot 10^{-9} \cdot \alpha_1$$

$$K_1 = 4,0 \cdot \frac{754,8}{2 \cdot 1,99 \cdot 10^6 \cdot 14 \cdot 10^6} \cdot 0,375 + (1,98 \cdot 10^{-9} \cdot 0,619 = 1,227 \cdot 10^{-9}$$

$$K_0 = \gamma \cdot \frac{H}{2 \cdot E \cdot J_2} \cdot A_0 + (1,98 \cdot 10^{-9} \cdot \alpha_0$$

$$K_0 = 4,0 \cdot \frac{754,8}{2 \cdot 1,99 \cdot 10^6 \cdot 1,978 \cdot 10^4} \cdot 0,026 + (1,98 \cdot 10^{-9} \cdot 0,1192) = 1,233 \cdot 10^{-9}$$

Q_0 – вес опор, кг – 2784.

Q_1 – вес незаполненного участка, кг – 40386.

Q_2 – вес заполненного участка, кг – 65386.

Период колебаний незаполненного аппарата:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot H \cdot \sqrt{\frac{Q_0 \cdot K_1^2 + Q_1 \cdot K_0^2}{g \cdot (\gamma \cdot \frac{H}{2EJ_1} + Y_0)}}$$

$$T = 2 \cdot 3,14 \cdot 754,8 \cdot \sqrt{\frac{40386 \cdot (1,227 \cdot 10^{-9})^2 + 2784 \cdot (1,233 \cdot 10^{-9})^2}{981 \cdot (4 \cdot \frac{754,8}{2 \cdot 1,99 \cdot 10^6 \cdot 14 \cdot 10^6} + 1,98 \cdot 10^{-9})}} = 0,86 \text{ сек}$$

Период колебаний для заполненного аппарата:

$$T_{\text{зап}} = 2 \cdot \pi \cdot H \cdot \sqrt{\frac{Q_2 \cdot K_1^2 + Q_0 \cdot K_0^2}{g \cdot (\gamma \cdot \frac{H}{2EJ_1} + Y_0)}}$$

$$T_{\text{зап}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 754,8 \cdot \sqrt{\frac{65386 \cdot (1,227 \cdot 10^{-9})^2 + 2784 \cdot (1,233 \cdot 10^{-9})^2}{981 \cdot (4 \cdot \frac{754,8}{2 \cdot 1,99 \cdot 10^6 \cdot 14 \cdot 10^6} + 1,98 \cdot 10^{-9})}} = 1,075 \text{ сек}$$

$$E_3 = 1,83, \beta_{i3} = 1,64.$$

Для незаполненного аппарата:

$$E = 1,67, \beta_i = 1,585.$$

Ветровая нагрузка для незаполненного аппарата:

$$P_1 = 0,6 \cdot 1,585 \cdot 45 \cdot 10^{-4} \cdot 148 \cdot 574,8 = 364,06 \text{ кгс/см}^2,$$

$$P_0 = 0,6 \cdot 1,585 \cdot 45 \cdot 10^{-4} \cdot 21,9 \cdot 574,8 = 53,87 \text{ кгс/см}^2.$$

Ветровая нагрузка для заполненного аппарата:

$$P_{13} = 0,6 \cdot 1,64 \cdot 45 \cdot 10^{-4} \cdot 148 \cdot 574,8 = 376,69 \text{ кгс/см}^2,$$

$$P_{03} = 0,6 \cdot 1,585 \cdot 45 \cdot 10^{-4} \cdot 21,9 \cdot 574,8 = 55,74 \text{ кгс/см}^2.$$

Изгибающий момент в месте присоединения опор к реактору:

(заполненный):

$$M_{13} = P_{13} (X_1 - h_2) = 376,69 \cdot (467,4 - 150) = 119561,0 \text{ кгс/см}^2.$$

(незаполненный):

$$M_1 = P_1 (X_1 - h_2) = 364,06 \cdot (467,4 - 150) = 115552,0 \text{ кгс/см}^2.$$

Изгибающий момент в опорном сечении:

(заполненный):

$$M_3 = P_{03} X_0 + P_{13} X_1 = 55,74 \cdot 467,4 + 376,69 \cdot 90 = 181082,33 \text{ кгс/см}^2$$

(незаполненный):

$$M = P_0 X_0 + P_1 X_1 = 53,87 \cdot 467,4 + 364,06 \cdot 90 = 175009,45 \text{ кгс/см}^2.$$

Толщина опорной пластины определяется по формуле:

$$S_k = 1,41 \cdot \sigma \cdot \sqrt{K_4 \cdot \frac{M \cdot X_1}{l \cdot \sigma}}$$

K_4 – коэффициент:

$$K_4 = f(v/e),$$

$$v/e = 16,9/40,90 = 0,41,$$

$$K_4 = 0,35,$$

l – расстояние между косынками, см:

$$l = \pi \cdot 50/360 \cdot r = 3,14 \cdot 50/360 \cdot 93,5 = 40,80 \text{ см.}$$

r – радиус опорного кольца, см – 93,5,

v – расстояние от наружного края пластины до опоры, см – 16,5,

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение для опор из стали 20К, кгс/см²,

$$[\sigma] = 1,1 \cdot \sigma_{\text{доп}} = 1,1 \cdot 1470 = 1617 \text{ кгс/см}^2,$$

$\sigma_{\text{доп}}$ – нормативное допускаемое напряжение для стали 20К при $t = 20^\circ\text{C}$ – 1470.

$$\sigma_2 = \sigma_c \cdot \frac{t_k}{t_k}$$

t_k – расчетная ширина нижней пластины:

$$t_k = \frac{\frac{4 \cdot M}{D_b} + N}{\pi \cdot D_b \cdot \sigma_c}$$

σ_c – допускаемое напряжение сжатия бетона кгс/см² ,

D_b – диаметр болтовой см – 154,

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_c}{t_k} \cdot \frac{\frac{4 \cdot M}{D_b} + N}{\pi \cdot D_b \cdot \sigma_c} = \frac{\frac{4 \cdot M}{D_b} + N}{\pi \cdot D_b \cdot t_k}$$

σ_c - допускаемое напряжение сжатия бетона кгс/см² ,

D_b - диаметр болтовой см – 154,

t_k - ширина нижней пластины, см ($t_k = 33$)

$M_{\text{зос}}$ – момент в опорном сечении (для заполненного аппарата):

$$S_k := 1.41 \cdot 16.5 \cdot \sqrt{\frac{0.35 \cdot 3 \cdot 4.57}{1615}} = 1.27 \text{ см}$$

Принято $S_k = 40$ мм

Расчет болтов крепления опоры к фундаменту.

При $0,4 \cdot N \cdot D_b > M_v$

где

N – осевая сила, кгс – 68170,

D_b – расстояние между болтами , см – 154,

M_v – ветровой изгибающий момент для заполненного аппарата, кгс/см²
, заполненный:

$$0,4 \cdot N_z \cdot D_6 = 0,4 \cdot 68170 \cdot 154 = 4199272 \text{ кгс} \cdot \text{см} > M_{vз} = 181082 \text{ кгс/см}^2$$

Для незаполненного аппарата:

$$0,4 \cdot N \cdot D_6 = 0,4 \cdot 43170 \cdot 154 = 2659272 \text{ кгс} \cdot \text{см} > M_{vз} = 175009 \text{ кгс/см}^2$$

$$\delta_2 = \frac{\frac{4 \cdot M_z}{D_6} + N}{\pi \cdot D_6 \cdot \sigma_c}$$

$$\delta_2 = \frac{\frac{4 \cdot 181082,33}{154} + 43170}{3,14 \cdot 154 \cdot 33} = 3 \text{ кгс/см}^2$$

При выполнении условия рекомендуется принимать $\Pi_6 = 400$; $d_6 = 2,7$ см для аппаратов с $D \leq 140$.

Принято: Π_6 – число болтов – 400,

d_6 – диаметр болта, см – 3,6.

Материал болтов – сталь 35.

8 Подбор вспомогательного оборудования

8.1 Подбираем отделитель высокого давления

Назначение аппарата - отделение полиэтилена от непрореагировавшего этилена, поступающего вместе с полимером из реактора; давление в отделителе 25 - 30 МПа (250-300 кгс/см²), температура 473 К (200 °С), в зависимости от индекса расплава полиэтилена.

Отделитель высокого давления представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд, с уплотненными линзовыми кольцами. Объем аппарата определяется производительностью реактора и рассчитывается в основном по времени пребывания в нем полиэтилена, которое составляет практически 100 - 150 с.

$$T_{\text{раб}}=270 \text{ }^\circ\text{C}, P_{\text{раб}} = 28 \text{ МПа}$$

$$G = 14,63 \text{ кг/с}$$

$$\rho_{\text{см}} = \frac{M}{22,4} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \frac{P}{P_0}$$

$$\rho_{\text{см}} = \frac{M}{22,4} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \frac{P}{P_0} = \frac{28}{22,4} \cdot \frac{273}{273+270} \cdot \frac{28}{0,1013} = 173,71 \text{ кг/м}^3$$

где M - молекулярная масса этилена, кг/моль;

T - рабочая температура в аппарате, К;

P - рабочее давление в аппарате, МПа.

Определение объема:

$$V = \frac{G}{(\rho_{\text{см}})}$$

$$V = \frac{G}{(\rho_{\text{см}})} = \frac{14,63}{173,71} = 0,08 \text{ м}^3/\text{с}$$

Время пребывания газа в аппарате - 90с

$$V_{\text{раб}} = V \cdot \tau = 0,08 \cdot 90 = 7,58 \text{ м}^3$$

Общий объем составляет:

$$V_{\text{общ}} = \frac{V_{\text{раб}}}{f}$$

$$V_{\text{общ}} = \frac{V_{\text{раб}}}{f} = \frac{7,58}{0,8} = 9,47 \text{ м}^3$$

где

f- коэффициент заполнения, $f = 0,8$;

По ГОСТ 9617-76 принимаем вертикальный аппарат $V = 10 \text{ м}^3$, внутренний диаметр $D_B=2000$ мм, высота $H=4595$ мм. Материал Ст 20Х2МА ГОСТ 13372-78.

8.2 Подбираем отделитель низкого давления

$T_{\text{раб}} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$, $P_{\text{раб}} = 0,6 \text{ МПа}$

$G = 5,9 \text{ кг/с}$

$$\rho_{\text{см}} = \frac{M}{22,4} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \frac{P}{P_0}$$

$$\rho_{\text{см}} = \frac{M}{22,4} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \frac{P}{P_0} = \frac{28}{22,4} \cdot \frac{273}{273+200} \cdot \frac{0,6}{0,1013} = 4,27 \text{ кг/м}^3$$

где M – молекулярная масса этилена, кг/моль;

T – рабочая температура в аппарате, К;

P – рабочее давление в аппарате, МПа.

Определение объема:

$$V = \frac{G}{(\rho_{\text{см}})}$$

$$V = \frac{G}{(\rho_{\text{см}})} = \frac{5,9}{2,85} = 2,07 \text{ м}^3/\text{с}$$

Время пребывания газа в аппарате - 13 с

$$V_{\text{раб}} = V \cdot \tau = 2,07 \cdot 13 = 26,91 \text{ м}^3$$

Общий объем составляет:

$$V_{\text{общ}} = \frac{V_{\text{раб}}}{f}$$

$$V_{\text{общ}} = \frac{V_{\text{раб}}}{f} = \frac{26,91}{0,8} = 33,64 \text{ м}^3$$

где

f- коэффициент заполнения, $f = 0,8$;

По ГОСТ 9617-76 принимаем вертикальный аппарат $V = 40 \text{ м}^3$, внутренний диаметр $D_B=2000$ мм, высота $H=6365$ мм. Материал Ст 20Х2МА ГОСТ 13372-78.

8.3 Подбираем бустерный компрессор для сжатия этилена

Расчетная производительность - 5000 кг/ч;

Номинальное рабочее давление всаса - 1,3 кгс/см²;

Номинальное рабочее давление нагнетания - 20 кгс/см²;

Номинальная рабочая температура всаса - 40 °С;

Выбираем компрессор типа 4М10-63/1,2-20 (горизонтальный четырехрядный трехступенчатый с взаимно противоположным движением поршней на оппозитной базе 4М10).

Мощность электродвигателя - 630 кВт.

8.4 Подбираем компрессор 1 каскада для сжатия этилена

Расчетная производительность - 13460 кг/ч;

Выбираем компрессор типа 4ГМ16–13,4/17-281М1;(4 – четырехрядный трехступенчатый; Г - газовый; М - многорядный; 16 - усилие на шток 16 тонн; 4ГМ16 - база компрессора; 13,4 - производительность, м³/час, 17 - давление всаса, кгс/см²; 281 - давление нагнетания, кгс/см²; М1 - модернизированный).

Мощность электродвигателя - 910 кВт.

Начальные условия:

Номинальное рабочее давление - 14 кгс/см²;

Максимальное рабочее давление - 16,7 кгс/см²;

Минимальное рабочее давление - 12,3 кгс/см²;

Номинальная рабочая температура - 40 °С;

Минимальная рабочая температура - 25 °С;

Максимальная рабочая температура - 50 °С.

Конечные условия:

Давление нагнетания - 280 кгс/см² не более;

Температура на выходе - 35 °С не более;

8.5 Подбираем компрессор 2 каскада для сжатия этилена

Расчетная производительность - 30000 кг/ч.

Выбираем компрессор типа 4М40М–1,12/250-2500 – двухступенчатый, горизонтальный, оппозитный с вертикально расположенными цилиндрами и гидравлической передачей движения плунжером высокого давления.

Компрессор двухпоточный, производительность массовая 30000 ±1500 кг/час. (4 - четырехрядный; М40М - база компрессора, усилие на шток 40 тонн; 1,12 - производительность, м³/час; 250 - давление всаса, кгс/см²; 2500 – давление нагнетания, кгс/см²; М1 - модернизированный) [24]

Мощность электродвигателя – 4300 кВт.

Начальные условия:

Номинальное рабочее давление - 245 кгс/см²

Максимальное рабочее давление - 270 кгс/см²;

Минимальное рабочее давление - 207 кгс/см²;

Номинальная рабочая температура - 40 °С;

Минимальная рабочая температура - 30 °С;

Максимальная рабочая температура - 45 °С.

Конечные условия:

Максимальное давление нагнетания - 2450 кгс/см² не более;

Минимальное давление нагнетания - 1450 кгс/см² не менее;

Температура на выходе - 100 °С не более;

8.6 Подбираем насос высокого давления

Для подачи перекисных инициаторов в реакторный блок в первую, вторую и третью зоны реактора:

Расчетная производительность - 40 л/ч;

Номинальное рабочее давление - 2500 кгс/см²;

Максимальное давление - 4000 кгс/см².

По каталогу выбираем насос высокого давления типа НР2202-56 фирмы UNDE двух плунжерный.

Расчетная производительность - $0 \div 100$ л/ч;

Номинальное рабочее давление - 2500 кгс/см²;

9 Объект исследования

9.1. Цели и задачи объекта исследования

- Разработка проекта модернизации трубчатого реактора полимеризатора высоко давления, чтобы обеспечить подачу этилена в подогреватель и первую зону реактора (первый поток) на уровне 75% от суммарной производительности гиперкомпрессоров и оставшиеся 25% через холодильники во вторую зону реактора (второй поток).
- Кроме того, осуществить перенос точки ввода раствора инициаторов в третью зону реактора.
- В результате этих изменений реактор становится двухзонным по газу, но остается трехзонным по инициатору.
- Уход от смешанного инициирования с кислородом с конверсией 20-25% на полностью пероксидное инициирование с конверсией от 25 до 33%.
- Изменение температуры и давления в реакторном блоке при уходе от смешанного инициирования.
- Подбор иницирующей системы, с сохранением качества выпускаемого ПЭ.

9.2 Общие сведения о технологии

Установка «ПЭВД» по первоначальному проекту предназначена для производства 110000 тыс. т/год полиэтилена, путем полимеризации этилена при высоком давлении.

Процесс производства полиэтилена происходит в двухзонном трубчатом реакторе при высоком давлении. В качестве инициатора реакции полимеризации на установке в настоящее время используется кислород.

Использование в качестве инициатора процесса полимеризации кислорода имеет следующие принципиальные недостатки:

- невозможность дозирования кислорода непосредственно в реактор, что приводит к необходимости организации двухступенчатого управления подачей кислорода
- сначала общая дозировка на сторону всасывания компрессором КМ-2, а затем распределение этилена с кислородом по зонам реактора;
- Время пребывания каждой частицы этилена в реакторе составляет около 1,5 минут, поэтому оперативное управление «по отклонению» - невозможно;
- относительно высокая стартовая температура (180 - 195 °С) - температура, при которой реально начинается процесс инициирования кислородом, что приводит к неэффективному использованию длин зон реактора (так как часть реактора приходится использовать в качестве подогревателя).

Использованием смешанного инициирования, применение перекисных инициаторов позволяет повысить производительность установок и создать новые технологические возможности для регулирования физико-механических свойств получаемого полиэтилена путем независимого регулирования температурных параметров по зонам реактора.

Применение смешанного инициирования или полностью пероксидного инициирования позволит увеличить конверсию этилена в реакторе с ~22-23% до ~ 26-30%, что обеспечит заданную часовую производительность реактора.

Для производства 125 тыс. тонн полиэтилена в год, или, при фонде рабочего времени линии 7600 часов в год, производительность каждой линии должна составлять 16,3 т/ч.

При разработке настоящих данных для обеспечения заданной производительности (16,3т/ч) все рекомендации, выводы и численные параметры проверялись расчетным путем, а также условиями реальной эксплуатации практически всех узлов установок:

- узел ввода свежего этилена;
- компрессия;
- реакторный блок;
- отделители высокого и низкого давлений;
- системы возвратного газа высокого и низкого давлений;
- станции горячей воды;
- первичная грануляция, включая систему гидротранспорта;
- система пневмотранспорта.

9.3 Подбор и обоснование оптимальных параметров

В промышленности для производства ПЭВД используют либо рубчатые аппараты, работающие по принципу идеального вытеснения, либо автоклавы с мешалкой, работающие по принципу идеального смешения.

Основная задача данной модернизации – увеличение производительности процесса. Производительность зависит от температур старта по зонам (температур смешения) и пиковых температур. К примеру, чем сильнее удастся охладить поток после пиковой температуры 1-ой зоны, тем больше будет разница ($T_{\text{пика 2 зона}} - T_{\text{смешения 2 зоны}}$). Производительность и ΔT связаны уравнением:

$$\rho C_p \frac{dT}{dt} = \left(\frac{A_i}{A_0}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot A_p e^{-\frac{E_p}{RT}} \cdot [R][M] + \frac{G}{V} \rho C_p \cdot (T_0 - T) + \frac{SK}{V} \cdot (T_{\text{ст}} - T)$$

где $[M]$, $[R]$, $[I]$ – концентрации мономера, радикалов и инициатора; A_i , A_p , A_0 – предэкспоненциальные множители для реакций инициирования, роста и обрыва цепи; E_i , E_p , E_0 – энергия активации реакций инициирования, роста и обрыва цепи; R – газовая постоянная; G – объемная скорость подачи газа в реактор; V – объем реактора; $[M]_0$, $[I]_0$ – входные концентрации мономера и инициатора; T , $T_{\text{ст}}$, T_0 – температуры смеси в реакторе, стенки реактора, газа на входе в реактор; Q_p – тепловой эффект реакции; C_p – удельная теплоемкость реакционной смеси; ρ – плотность реакционной смеси; S – площадь поверхности реактора; K – коэффициент теплопередачи; t – время.

Однако, для простоты расчетов была выведена формула:

$$Q = Q_g + Q_{st}$$

$$Q_g = G_{et} * C_p * (T_{max} - T_{in})$$

$$Q_w = G_w * C_p * (T_{out} - T_{in})$$

$$Q = G_{et} * C_p * (T_{max} - T_{in}) * 1,29$$

$$G_{pe} = Q/q$$

Получена формула $Q = G_{et} * C_p * (T_{max} - T_{in}) * 1,29$ которая помогает быстро рассчитать производительность зоны.

$$M = Q_{reac}/800 \text{ т/ч (кг/ч)}$$

$$Q_{reac} = F * E * C_p * \Delta T \text{ ккал/час}$$

где:

800 - удельная теплота реакции, мкал/кг;

F – поток этилена, т/ч;

E = 1,29 энергетический фактор. Коэффициент, (результат многолетних исследований примерно 30 % тепла уходящего на газ (разогрев) забирает вода);

C_p – удельная теплоемкость = 0,6, ккал/кг * °C;

Δ T – разница температуры пика и старта.

Ниже приведены существующие температуры реактора полимеризации.

Таблица 9. Расчет производительности по зонам реактора.

	Масса этилена, т/ч	Δ T	Пр-ть, т/ч	
До модернизации				
1 зона	30	150	4,4	
2 зона	45	130	5,7	
3 зона	60	88	5,1	15,1

	Масса этилена, т/ч	ΔT	Пр-ть, т/ч	
После модернизации				
1 зона	45	150	6,5	
2 зона	60	130	7,5	
3 зона	60	40	2,3	16,3

Произведенные расчеты работы иницирующей системы:

Период полураспада можно рассчитать по уравнению Аррениуса:

$$K_d = A \cdot e^{-E_a/RT} \text{ и } t_{1/2} = \ln 2 / K_d$$

и при постоянной температуре зависимость давления:

$$[d(\ln k_d/dP)]_T = -\Delta^*/RT$$

где K_d - константа скорости диссоциации инициатора, скорость разложения постоянного инициатора в с^{-1} (1/с);

A - частотный коэффициент Аррениуса в с^{-1} (1/с);

E_a - энергия активации для диссоциации инициатора в (Дж / моль);

R - газовая постоянная 8,3142 (Дж / моль*К);

T - температура в К;

$t_{1/2}$ - полураспад в секундах.

P - давление (кг)

V^* - объем активации ($\text{см}^3/\text{моль}$)

Остаточную концентрацию инициатора можно рассчитать с помощью уравнения:

$$(I) = (I_0) \cdot e^{-k_d \cdot t}$$

где (I_0) - исходная концентрация инициатора;

(I) - концентрация инициатора через время t ;

t - время, измеряемое от начала разложения в секундах.

Таблица 9.1. Термопары по длине реактора.

Подогреватель 1 зоны	Первая зона	Вторая зона	Третья зона	Холодильник 303	Холодильник 304	Холодильник 307	Холодильник 308
T14006 + 216 м	T14009 + 24 м	T14033 + 30 м	T14056 + 30 м	T14030 + 103 м	T14053 + 206	T14074 + 64 м	T14080 + 10 м
T14007 + 10 м	T14010 + 28 м	T14034 + 26 м	T14057 + 26 м	T14031 + 26 м	T14054 + 36 м	T14075 + 64 м	T14081 + 32 м
	T14011 + 24 м	T14035 + 30 м	T14058 + 30 м			T14076 + 64 м	T14082 + 32 м
	T14012 + 28 м	T14036 + 26 м	T14059 + 26 м			T14077 + 42 м	T14083 + 32 м
	T14013 + 24 м	T14037 + 30 м	T14060 + 30 м			T14078 +	T14084 + 24 м
	T14014 + 28 м	T14038 + 26 м	T14061 + 26 м				T14085 + 10 м
	T14015 + 24 м	T14039 + 30 м	T14062 + 30 м				T14086 + 32 м
	T14018 + 28 м	T14040 + 26 м	T14063 + 26 м				T14087 + 32 м
	T14020 + 24 м	T14041 + 30 м	T14064 + 30 м				T14088 + 32 м
	T14097 + 28 м	T14042 + 26 м	T14065 + 26 м				T14089 + 32 м
	T14098 + 24 м	T14043 + 30 м	T14066 + 30 м				
	T14099 + 28 м	T14044 + 20 м	T14067 + 26 м				
	T14016 + 24 м	T14045 + 27,2 м	T14068 + 30 м				
	T14017 + 52 м		T14069 + 26 м				
	T14019 + 52 м		T14070 + 30 м				
	T14021 + 52 м		T14071 + 20 м				
	T14023 + 24 м		T14072 +				
	До точки ввода бокового потока 10 м		До 1 пр. хол. 18,2 м				
	От 1 до 2 зоны 27,2 метра	От 1 до 2 зоны 27,2 метра					
	От T14033 до T14034 30 м	От T14056 до T14057 30 м	От T14056 до T14057 30 м				

Таким образом, требуемые кинетические параметры, т.е. частотный фактор, энергия активации и объем активации получаются путем определения скорости разложения исследуемого пероксида.

Произведен расчет кинетических данных по каждому инициатору в представленной в проекте иницирующей системе:

Half Life data for TBPNД A= 1,52E+14 Mw 244,4
kd = A*e^{-(Ea/RT)} Ea= 115,47
t-1/2 = Ln(2)/kd R 0,008314
T (273.15+degrees)

Таблица 9.2. Период полу распада инициатора TBPNД.

№	Комп							
	Ea	A	R	Температура	Температура	Ea/RT	Kd	t-1/2
Ед. изм.	Дж /моль	1/Sec	Дж /моль*К	°С	К			Сек
1	115,47	1,52E+14	0,008314	140	413,15	33,61560573	0,382	1,811565
2	115,47	1,52E+14	0,008314	160	433,15	32,06345956	1,807	0,383677
3	115,47	1,52E+14	0,008314	180	453,15	30,64832287	7,438	0,093192
4	115,47	1,52E+14	0,008314	200	473,15	29,35282153	27,169	0,025512
5	115,47	1,52E+14	0,008314	225	498,15	27,87973002	118,531	0,005848
6	115,47	1,52E+14	0,008314	250	523,15	26,54742905	449,202	0,001543

Half Life data for ТВРЕН A= 1,54E+14 Mw 216,3
kd = A*e^{-(Ea/RT)} Ea= 124,9
t-1/2 = Ln(2)/kd R 0,008314
T (273.15+degrees)

Таблица 9.3. Период полу распада инициатора ТВРЕН.

№	Комп							
	Ea	A	R	Температура	Температура	Ea/RT	Kd	t-1/2
Ед. изм.	Дж /моль	1/Sec	Дж /моль*К	°С	К			Сек
1	124,9	1,54E+14	0,008314	140	413,15	36,36086564	0,025	27,83736
2	124,9	1,54E+14	0,008314	160	433,15	34,68196154	0,133	5,193848
3	124,9	1,54E+14	0,008314	180	453,15	33,15125597	0,617	1,12386
4	124,9	1,54E+14	0,008314	200	473,15	31,74995591	2,504	0,27678
5	124,9	1,54E+14	0,008314	225	498,15	30,15656256	12,322	0,056251
6	124,9	1,54E+14	0,008314	250	523,15	28,71545759	52,066	0,013313

Half Life data for TOPND A= 3,98E+14 Mw 300,5
kd = A*e^{-(Ea/RT)} Ea= 115,79
t-1/2 = Ln(2)/kd R 0,008314
T (273.15+degrees)

Таблица 9.4 Период полу распада инициатора TOPND.

№	Комп							
	Ea	A	R	Температура	Температура	Ea/RT	Kd	t-1/2
Ед. изм.	Дж /моль	1/Sec	Дж /моль*К	°С	К			Сек
1	115,79	3,98E+14	0,008314	140	413,15	33,70876407	0,9128	0,759404
2	115,79	3,98E+14	0,008314	160	433,15	32,15231647	4,328	0,160146
3	115,79	3,98E+14	0,008314	180	453,15	30,73325803	17,889	0,038746
4	115,79	3,98E+14	0,008314	200	473,15	29,4341665	65,582	0,010569
5	115,79	3,98E+14	0,008314	225	498,15	27,95699263	287,287	0,002413
6	115,79	3,98E+14	0,008314	250	523,15	26,62099948	1092,773	0,000634

Half Life data for TBPIN A= 1,94E+15 Mw 230,3
kd = A*e^{-(Ea/RT)} Ea= 140,78
t-1/2 = Ln(2)/kd R 0,008314
T (273.15+degrees)

Таблица 9.5 Период полу распада инициатора TBPIN.

№	Комп							
	Ea	A	R	Температура	Температура	Ea/RT	Kd	t-1/2
Ед. изм.	Дж /моль	1/Sec	Дж /моль*К	°С	К			Сек
1	140,78	1,94E+15	0,008314	140	413,15	40,98385	0,003	224,9484
2	140,78	1,94E+15	0,008314	160	433,15	39,09149	0,020	33,90316
3	140,78	1,94E+15	0,008314	180	453,15	37,36616	0,115	6,038684
4	140,78	1,94E+15	0,008314	200	473,15	35,7867	0,557	1,244486
5	140,78	1,94E+15	0,008314	225	498,15	33,99072	3,356	0,206541
6	140,78	1,94E+15	0,008314	250	523,15	32,36639	17,032	0,040698

Half Life data for DTBP A= 4,2E+15 Mw 146,2
kd = A*e^{-(Ea/RT)} Ea= 153,46
t-1/2 = Ln(2)/kd R 0,008314
T (273.15+degrees)

Таблица 9.6. Период полу распада инициатора DTBP.

№	Комп							
	Ea	A	R	Температура	Температура	Ea/RT	Kd	t-1/2
Ед. изм.	Дж /моль	1/Sec	Дж /моль*К	°С	К			Сек
1	153,46	4,2E+15	0,008314	140	413,15	44,67525	0,000166	4166,676
2	153,46	4,2E+15	0,008314	160	433,15	42,61244	0,001309	529,5707

№	Комп							
	Ea	A	R	Температура	Температура	Ea/RT	Kd	t-1/2
3	153,46	4,2E+15	0,008314	170	443,15	41,65086	0,003424	202,4486
4	153,46	4,2E+15	0,008314	180	453,15	40,73172	0,008584	80,74899
5	153,46	4,2E+15	0,008314	190	463,15	39,85227	0,020684	33,51173
6	153,46	4,2E+15	0,008314	200	473,15	39,00999	0,04802	14,43448
7	153,46	4,2E+15	0,008314	290	563,15	32,7756	24,48993	0,028303

Half Life data for TAPPI A= 4,12E+15 Mw 188,3
kd = A*e^{-(Ea/RT)} Ea= 127,76
t-1/2 = Ln(2)/kd R 0,008314
T (273.15+degrees)

Таблица 9.7. Период полу распада инициатора TAPPI.

№	Комп							
	Ea	A	R	Температура	Температура	Ea/RT	Kd	t-1/2
Ед. изм.	Дж /моль	1/Sec	Дж /моль*К	°С	К			Сек
1	127,76	4,12E+15	0,008314	140	413,15	37,19347	0,28972	2,392469
2	127,76	4,12E+15	0,008314	160	433,15	35,47612	1,613667	0,429548
3	127,76	4,12E+15	0,008314	180	453,15	33,91036	7,723484	0,089745
4	127,76	4,12E+15	0,008314	200	473,15	32,47698	32,38363	0,021404
5	127,76	4,12E+15	0,008314	225	498,15	30,8471	165,2621	0,004194
6	127,76	4,12E+15	0,008314	250	523,15	29,37299	721,7193	0,00096

Таблица 9.8. Концентрация ПИ.

		Поток	Зона		Jr	dJ	
	% sol	16	Jn/Et	KD 140	2		
DTBP	1,96	0,313147	0,010438	0,000166	0,010435	3,47232E-06	2,38E-08
TBPIN	7,99	1,278418	0,042614	0,003081	0,042352	0,00026181	1,14E-06
TBREN	11,99	1,917628	0,063921	0,0249	0,060816	0,003105285	1,44E-05
TAPPI	9,88	1,581549	0,052718	0,28972	0,029533	0,023184897	1,23E-04
TOPND	14,42	2,306425	0,076881	0,912752	0,012388	0,064492536	2,15E-04
							3,533E-04

Производим расчет на остаточную концентрацию инициатора:

Таблица 9.9. Содержание инициатора на 24 метре реакторного блока.

Точка	T				30				
9	143,117		% sol	22,03	Jn/Et	KD	1,804511278		
Метры		DTBP	2,17	0,478458	0,015949	0,0002	0,015941904	6,69E-06	4,5747E-08
24		TBPIN	8,87	1,9533	0,06511	0,0042	0,064619776	0,00049	2,1286E-06
		TBPEH	13,30	2,92995	0,097665	0,03269	0,092070071	0,005595	2,5866E-05
		TBPND	21,71	4,782564	0,159419	0,4921	0,065592516	0,093826	3,8390E-04
									4,1195E-04

Таблица 9.10 Содержание инициатора на 52 метре реакторного блока.

Точка	T				30				
10	218,092		% sol	20,36	Jn/Et	KD	2,255639098		
Метры		DTBP	2,17	0,478458	0,015942	0,202	0,010107582	0,005834	3,9906E-05
52		TBPIN	8,87	1,9533	0,06462	2,081	0,000591536	0,064028	2,7802E-04
		TBPEH	13,30	2,92995	0,09207	8,063	1,16166E-09	0,09207	4,2566E-04
		TBPND	21,71	4,782564	0,065593	80,087	2,30327E-80	0,065593	2,6838E-04
									1,0120E-03

Таблица 9.11 Содержание инициатора на 76 метре реакторного блока.

Точка	T				30				
11	297		% sol	20,36	Jn/Et	KD	1,804511278		
Метры		DTBP	2,17	0,478458	0,010108	35,623	1,22289E-30	0,010108	6,9135E-05
76		TBPIN	8,87	1,9533	0,000592	239,317	1,6651E-191	0,000592	2,5685E-06
		TBPEH	13,30	2,92995	1,16E-09	543,013			
		TBPND	21,71	4,782564	2,3E-80	3924,801			
									7,1704E-05

Таблица 9.12. Содержание инициатора на 76 метре реакторного блока.

Точка	T				30				
12			% sol	20,36	Jn/Et	KD	2,255639098		
Метры	304	DTBP	2,17	0,478458	1,22E-30	53,824	2,29743E-83	1,22E-30	8,3645E-33
104		TBPIN	8,87	1,9533	1,7E-191	349,468			
		TBPEH	13,30	2,92995	#ЧИСЛО!	759,793			
		TBPND	21,71	4,782564	#ЧИСЛО!	5354,119			
									8,36E-33

Считается, что после температуры пика ($T_{\text{пика}}$) соответствующей зоны реакция полимеризации прекращается практически сразу, смесь полиэтилена

с этиленом продвигается в следующую зону для продолжения реакции и увеличения конверсии. Явно видно, что расстояние, на котором заканчивается реакция – это 76 метрах, оно соответствует термопаре ТП14011, а значит реакция заканчивается в районе термопары ТП14012.

Эпюра реактора полимеризатора до модернизации.

Таблица 9.13 - Эпюра реактора полимеризатора до модернизации



Для определения оптимального дополнительного расхода свежего этилена в начало реактора была составлена таблица соответствия номера термопары метру, на котором она стоит.

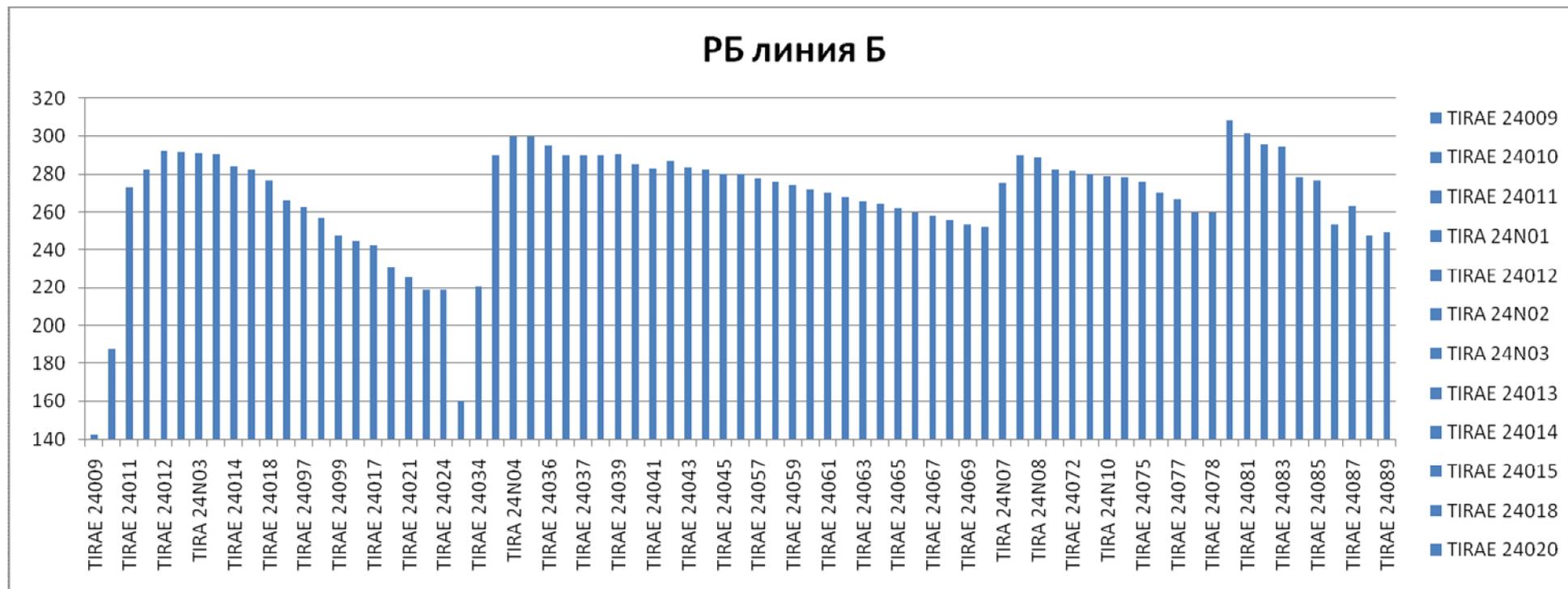
Таблица 9.14. Соответствие термопары и метра реактора после модернизации:

Длина, м	Номер термопары	Температура	Длина, м	Номер термопары	Температура
0	TIR24007	134	725	TIR24039	303
0	TIR24009	137,199	755	TIR24040	298,875
24	TIR24010	164,050	781	TIR24041	295
54	TIR24011	246,100	811	TIR24042	290,300
78	TIR24012	285,200	837	TIR24043	286
108	TIR24013	303,899	857	TIR24044	279,575
132	TIR24014	302,600	887	TIR24045	277,200
162	TIR24015	297,399	913	TIR24056	275,799
186	TIR24018	283,100	943	TIR24057	271,100
216	TIR24020	277,700	969	TIR24058	268,100
240	TIR24097	270	999	TIR24059	262,5
270	TIR24098	263,200	1025	TIR24060	260,75
294	TIR24099	254,600	1055	TIR24061	256,600
324	TIR24016	249,600	1081	TIR24062	253,400
348	TIR24017	241,5	1111	TIR24063	249,300
402	TIR24019	231,699	1137	TIR24064	246,900
432	TIR24021	222,400	1167	TIR24065	244,300
456	TIR24023	216	1193	TIR24066	240,300
510	TIR24024	214,100	1223	TIR24067	236,600
557	TIR24033	147,699	1249	TIR24068	234,100
587	TIR24034	195,400	1279	TIR24069	231,350
613	TIR24035	282,399	1305	TIR24070	280,5
643	TIR24036	300,100	1335	TIR24071	280,5
669	TIR24037	304,5	1355	TIR24072	277,5
699	TIR24038	303,150			

Визуально можно увидеть в таблице 9.15.

Эпюра реактора полимеризатора после модернизации.

Таблица 9.15 - Эпюра реактора полимеризатора после модернизации



Эпюра реактора полимеризатора после модернизации.



Рис. 5. Эпюра реактора полимеризатора после модернизации.

Сравнению эюр реактора полимеризатора.

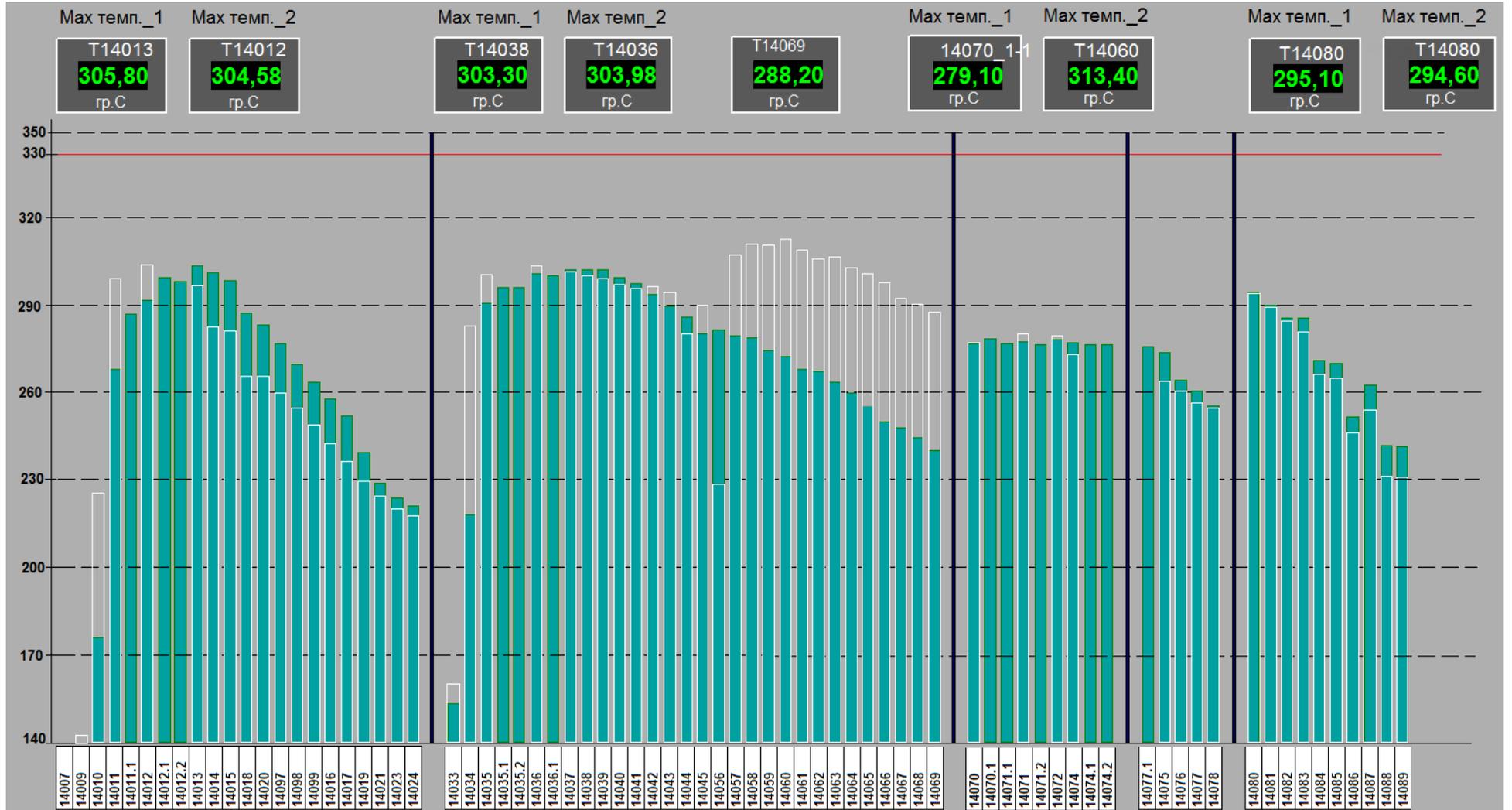


Рис. 6. Сравнению эюр реактора полимеризатора до модернизации и после.

11. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

11.1 Предпроектный анализ

11.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Основным объектом научно-исследовательской работы является производство полиэтилена высокого давления низкой плотности (далее - ПЭВД). Нефтехимические производства.

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

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. Для данного проекта целевым рынком являются предприятия нефтехимической отрасли производства полиэтилена в трубчатом реакторе (РИВ).

Среди указанных предприятий можно выделить:

- А) ООО "Томскнефтехим";
- Б) ПАО "Казаньоргсинтез";
- В) ПАО "Уфаоргсинтез" и др.

Таблица 11. Карта сегментирования рынка.

		Товарный продукт		
		Полиэтилен низкой плотности	Линейный полиэтилен низкой плотности	Полиэтилен высокой плотности
Компания	А			
	Б			
	В			

Из таблицы 1 видно, что результаты исследования и разработка будут интересны и актуальны для компаний А, Б, В.

Продукт (результат НИР) – модернизация узла реакторного блока установки полимеризации этилена.

11.1.2 Диаграмма Исикавы

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Область применения диаграммы:

- Выявление причин возникновения проблемы;
- Анализ и структурирование процессов на предприятии;
- Оценка причинно-следственных связей.

Объектом анализа в проводимой исследовательской работе является модернизация производства ПЭВД.

К факторам, влияющим на объект анализа, относятся:

- Сырье;
- Технология проведения работ;
- Персонал.

Причинно-следственная диаграмма представлена на рисунке 32.1.

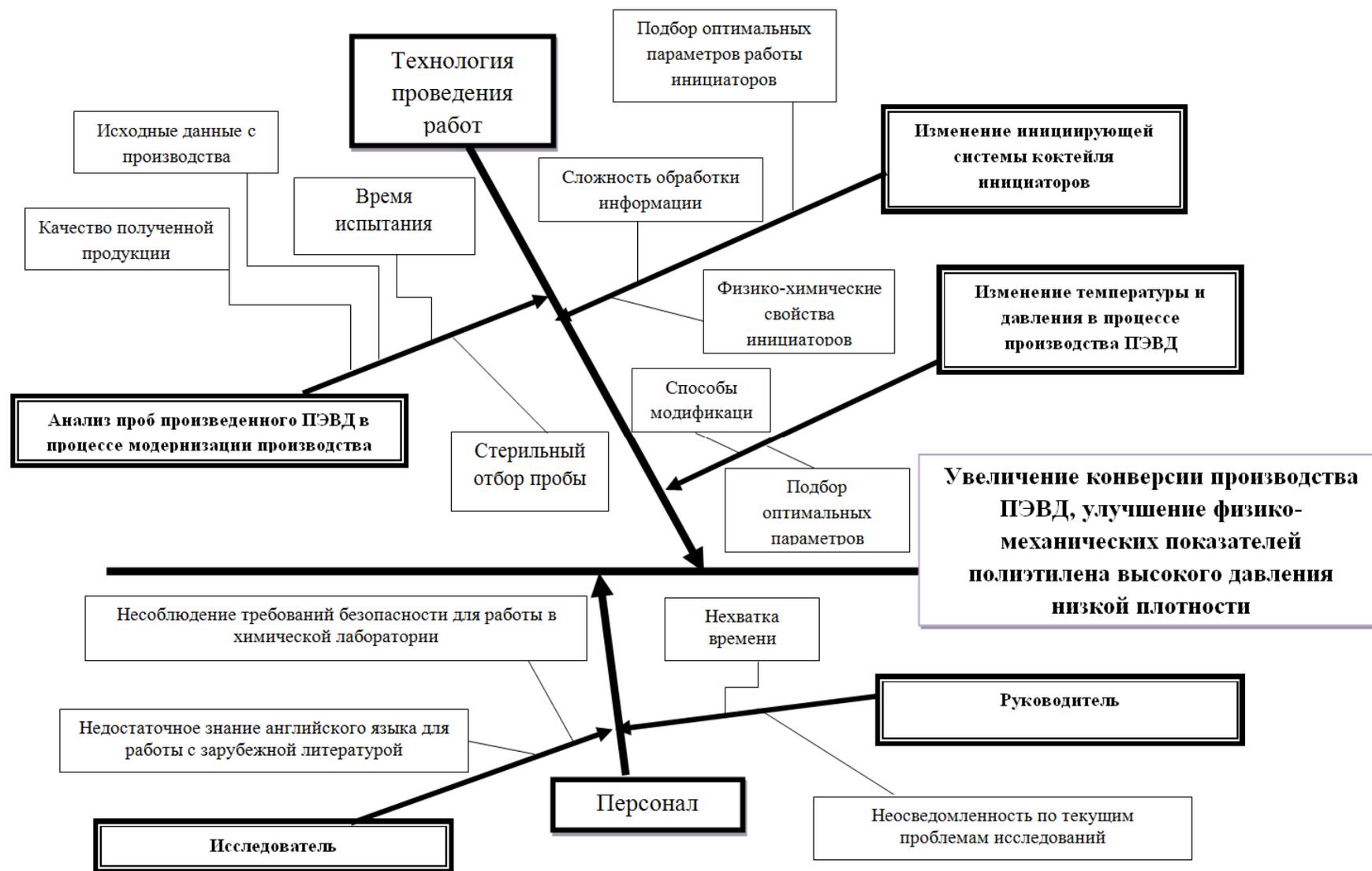


Рисунок 32.1. Причинно-следственная диаграмма Исикавы.

11.1.3 SWOT-анализ

Приведем SWOT - анализ ООО "Томскнефтехим" в таблице 11.1

Таблица 11.1 SWOT - анализ ООО "Томскнефтехим"

	Возможности	Угрозы
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность расширить ассортимент продукции для удовлетворения запросов потребителей в более широком диапазоне; 2. Выход на новые рынки в новых географических районах. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокие импортные пошлины; 2. Политическая нестабильность, в том числе регулярное расширение санкций; 3. Неблагоприятное изменение курсов иностранных валют и политики иностранных правительств в области внешней торговли; 4. Дефицит молодых специалистов.
Сильные стороны	СиВ	СиУ
<ol style="list-style-type: none"> 1. Наличие собственного производства; 2. Наличие патентов; 3. Известность рынка, развитая сбытовая сеть; 4. Команда высококвалифицированных специалистов; 5. Возможность расширения производства. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Дифференциация хозяйственного портфеля; 2. Выход на новые рынки; 3. Разработка комплекса маркетинга "4P" для каждого сегмента; 4. Повышение рентабельности активов. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Укрепление имиджа предприятия; 2. Заключение долгосрочных договоров с иностранными партнерами; 3. Заключение договоров в ВУЗах Томска на обучение молодых специалистов по целевым программам.
Слабые стороны	СлиВ	СлиУ
<ol style="list-style-type: none"> 1. Устаревшие основные фонды; 2. Наличие элементов экологической опасности производства; 3. Слабая маркетинговая политика и как следствие неритмичность и непредсказуемость получения заказов; 4. Стандартные методы продвижения на рынке. 	<ol style="list-style-type: none"> 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. 	<ol style="list-style-type: none"> 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. Укрепление имиджа предприятия; 7. Заключение долгосрочных договоров с иностранными партнерами.

Таким образом, по итогам SWOT-анализа, можно сказать, что предприятию необходимо применение нестандартных методов продвижения продукции

на рынке. Также, в условиях нестабильной политической ситуации, выгоднее заключать долгосрочные договоры, особенно с иностранными партнерами. Еще одной слабой стороной предприятия является устаревшее оборудование - необходима его модернизация.

Целью настоящего экономического расчета является определение расходов на производство полиэтилена с учетом увеличения мощности производства, рассчитать себестоимость 110 тыс. тонн полиэтилена и сравнить ее с себестоимостью 125 тыс. тонн полиэтилена в год и изменения иницилирующей системы коктейлей инициаторов.

11.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Степень проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта оценена с помощью информации таблицы 11.12.

В таблице 11.2 представлена оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации.

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

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	3
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	3	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	37	42

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

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

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (11.1)$$

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

B_i – балл по i -му показателю.

По результатам оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации можно сделать вывод о том, что такая разработка имеет среднюю перспективность, т.к. суммарное количество баллов находится в пределах от 44 до 30. Таким образом, в дальнейшем нужно разрабатывать бизнес-план коммерциализации научной разработки, определять пути продвижения на рынок, прорабатывать вопросы финансирования коммерциализации научной разработки и привлекать компетентных специалистов в команду.

11.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

На основании анализа методов коммерциализации проекта, с учётом степени готовности разработки, для успешного продвижения нового способа производства ПЭВД является инжиниринг, который подразумевает усовершенствование методов, имеющихся на предприятиях нефтехимической промышленности.

11.2 Инициация проекта

Устав научного проекта магистерской работы:

11.2.1 Цели и результат проекта

Информацию по заинтересованным сторонам проекта представим в таблице 11.3.

Таблица 11.3 Заинтересованные стороны проекта.

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Разработчик проекта	Получение оптимальных параметров для большего выхода продукта и их дальнейшего анализа.
Научно - исследовательские институты	Получение оптимальных параметров для выхода готового продукта с дальнейшей возможностью увеличения мощности предприятия.
Предприятия нефтехимической промышленности	Увеличение конверсии производства и улучшение физико - химических показателей продукта.
Потребители готового продукта.	Получение продукта лучшего качества.

В таблице 11.4 представим информацию об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 11.4 Цели и результат проекта.

Цели проекта:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличение конверсии производства ПЭВД в трубчатом реакторе и улучшение физико - химических показателей продукта. 2. Изменение иницирующей системы коктейлей инициаторов.
Ожидаемые результаты проекта:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выпуск продукта согласно проекту не ниже 125000 тонн/год. 2. Подобраны оптимальные коктейли иницирующей системы, изучены физико - химические свойства продукта полученного по новой технологии.
Критерии приемки результата проекта:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выпуск продукта не ниже 125000 тонн/год. 2. Качество продукта не хуже которое сейчас, оцениваемые параметры: <ol style="list-style-type: none"> а) Плотность б) Массовая доля экстрагируемых веществ (МДЭВ) в) Полидисперсность (Mw/Mn) г) Оптические свойства пленки (мутность, прозрачность) д) Количество гелий
Требования к результату проекта:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Результаты должны быть качественно проанализированы и должны соответствовать запланированным целям и задачам 2. Положительный результат проекта должен быть оформлен в виде интеллектуальной собственности

11.2.2 Организационная структура проекта

В качестве участников выступают руководитель с исполнителем и эксперты-консультанты по разделам проекта.

Таблица 11.5 Рабочая группа проекта.

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, час.
1	Бондалетов Владимир Григорьевич, д.х.н., профессор отделения	Руководитель проекта	Координирует деятельность участников проекта	90

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, час.
	химической инженерии			
2	Былкова Татьяна Васильевна, к.э.н., доцент отделения социально-гуманитарных наук	Эксперт проекта	Координирует деятельность магистранта при выполнении раздела «Финансовый менеджмент»	20
3	Сечин Андрей Александрович, к.т.н., доцент отделения общетехнических дисциплин	Эксперт проекта	Координирует деятельность магистранта при выполнении раздела «Социальная ответственность»	16
4	Швагрукова Екатерина Васильевна, к.ф.н., доцент отделения иностранных языков	Эксперт проекта	Консультирует по разделу на иностранном языке	16
5	Лунев Иван Александрович, магистрант ИШПР ТПУ, студент группы 2ДМ01	Исполнитель	Выполнение работ по проекту	702
ИТОГО				844

11.2.3 Ограничения и допущения проекта

Факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 11.6 Ограничения проекта.

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	2419070,12 руб.
Источник финансирования	инвестиции
Сроки проекта:	январь 2022 - май 2022
Дата утверждения плана управления проектом	15.01.2022
Дата завершения проекта	31.05.2022

11.3 Планирование управления научно-техническим проектом

11.3.1 Иерархическая структура работ проекта

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

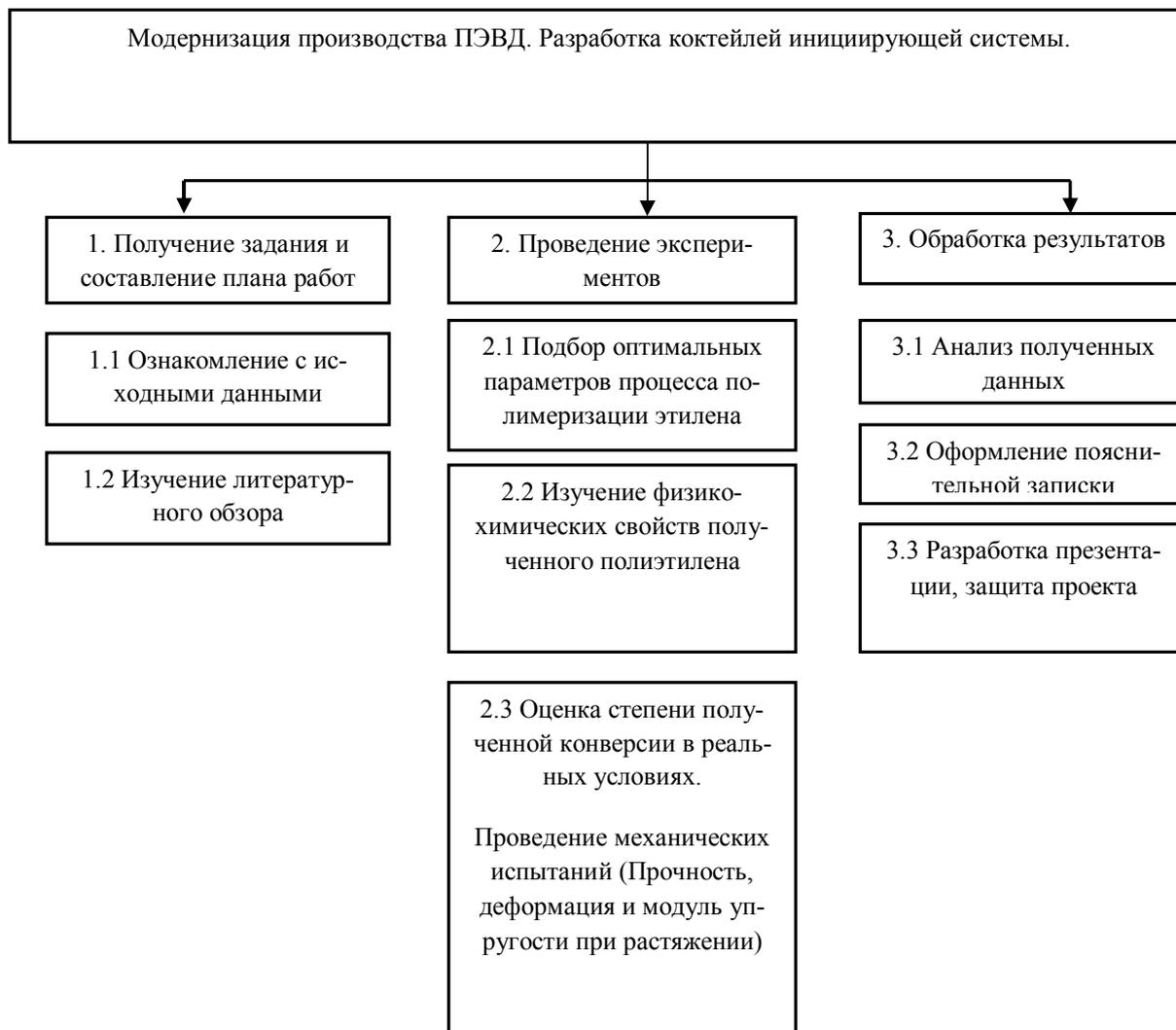


Рисунок 34. Иерархическая структура работ проекта.

11.3.2 Контрольные события проекта

Информация представлена в таблице 11.7.

Таблица 11.7 Контрольные события проекта.

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Получение задания и составления плана работ	15.01.2022-20.01.2022	Отчет о плане работы
2	Подбор и изучение теоретических материалов	21.01.2022-08.02.2022	Отчет, литература
3	Поиск методик и характеристика объектов исследования	09.02.2022-18.02.2022	Литературный обзор
4	Проведение экспериментов	19.02.2022-01.04.2022	Отчет
5	Обработка и обсуждение полученных результатов	02.04.2022-15.04.2022	Отчет о проделанной работе

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
6	Оформление проекта	16.04.2022- 13.05.2022	Пояснительная записка, магистерская диссертация
7	Разработка презентации и раздаточного материала	14.05.2022- 31.05.2022	Презентация, раздаточный материал

11.3.3 План проекта

Линейный график представляется в виде таблицы 11.8.

Таблица 11.8 Календарный план проекта.

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Получение задания и составления плана работ	6	15.01.22	20.01.22	Бондалетов В.Г. Лунев И.А.
2	Подбор и изучение теоретических материалов	19	21.01.22	08.02.22	Лунев И.А.
3	Отработка методик.	10	09.02.22	18.02.22	Лунев И.А.
4	Проведение экспериментов	42	19.02.22	01.04.22	Бондалетов В.Г. Лунев И.А.
5	Обработка и обсуждение результатов	14	02.04.22	15.04.22	Бондалетов В.Г. Лунев И.А.
6	Оформление проекта	28	16.04.22	13.05.22	Лунев И.А.
7	Разработка презентации и раздаточного материала	18	14.05.22	31.05.22	Лунев И.А.
Итого дни:		137			

На основе таблицы 11.8 построен календарный план-график (таблица 11.9) по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам за период дипломирования.

Таблица 11.9 Календарный план-график проведения НИОКР по теме.

Вид работ	Исполнители	Т _к , кал, дн	Продолжительность выполнения работ														
			январь		февраль			март			апрель			май			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Получение задания и составления плана работ	Руководитель Магистрант	6	■														
Подбор и изучение теоретических материалов	Магистрант	19		■	■	■											
Поиск методик и характеристика объектов исследования	Магистрант	10				■											
Проведение экспериментов	Магистрант	42						■	■	■	■	■	■				
Обработка и обсуждение результатов	Руководитель Магистрант	14										■	■				
Оформление проекта	Магистрант	28											■	■	■		
Разработка презентации и раздаточного материала	Магистрант	18													■	■	■

■ – магистрант; ■ – руководитель

11.3.4 Бюджет научного исследования

Результаты по статье затрат "Материалы" занесем в таблицу 11.10.

Таблица 11.10 Сырье, материалы.

Наименование	Ед. изм.	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Этилен	т	6,6	6,6	6,6	8000	8000	8000	52800	52800	52800
Пропан	т	3	3	3	1600	1600	1600	4800	4800	4800
Тригнокс-21S	кг	12,5	0	0	1280	0	0	16000	0	0
Тригнокс- 42S	кг	8,3	0	0	769	0	0	6382,7	0	0
Тригнокс-В	кг	2	2	4	950	950	950	1900	1900	3800
Тригнокс-125	кг	13,3	0	0	1060	0	0	14098	0	0
Тригнокс-423	кг	20,8	21	30	893	893	893	18574	18753	26790
Трет бутилку-мил пероксид	кг	0	0	15	0	0	2030	0	0	30450

Наименование	Ед. изм.	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1,1-бис(трет-бутилперокси) циклогексан	кг	0	25	0	0	1975	0	0	49375	0
Итого:								114555	127628	118640

В таблицу 11.11 включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения исследования. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Годовая амортизация рассчитывается с учетом срока использования оборудования на 12 месяцев.

Сумма амортизационных отчислений (АО) определяется по формуле:

$$AO = C_{\text{оф}} \cdot H / 100 \%, \quad (11.2)$$

где $C_{\text{оф}}$ - среднегодовая стоимость основных фондов, руб.;

H - норма амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов, 14 % к их балансовой стоимости.

Таблица 11.11 Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ.

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования, шт.	Цена единицы оборудования, руб.	Сумма амортизационных отчислений, руб.
1.	Компрессор первого каскада	2	145000	40600
2.	Компрессор второго каскада	2	145000	40600
3.	Бустерный компрессор	1	120000	16800
4.	Трубчатый реактор	1	938000	131320
5.	Отделитель высокого давления	2	206000	57680
6.	Отделитель низкого давления	1	193000	27020
7.	Холодильник	7	68000	66640
8.	Экструдер	1	189000	26460
9.	Емкость буферная	6	34000	28560
ИТОГО:				435680

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (11.3)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб. Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} \quad (11.4)$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн.

Таблица 11.12 Баланс рабочего времени.

Показатели рабочего времени	Руководитель	Консультант ФМ	Консультант СО	Консультант по ИЯ	Магистрант
Календарное число дней	137	137	137	137	137
Количество нерабочих дней Выходные/праздничные дни:	25	25	25	25	25
Потери рабочего времени отпуск:	0	0	0	0	0
невыходы по болезни:	0	0	0	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	112	112	112	112	112

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_б \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (11.5)$$

где $Z_б$ – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,15 (т.е. 15% от $Z_б$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15 – 20 % от $Z_{тс}$);

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 11.13.

Таблица 11.13 Расчёт основной заработной платы исполнителей.

Категория	$Z_{б},$ руб.	$k_{д+к_{пр}}$	k_p	$Z_{м},$ руб	$Z_{дн},$ руб.	$T_p,$ раб.дн.	$Z_{осн},$ руб.
Руководитель	25509,92	1,35	1,3	44769,91	1798,79	11,25	20236,39
Консультант ФМ	25509,92	1,35	1,3	44769,91	1798,79	2,5	4496,98
Консультант СО	25509,92	1,35	1,3	44769,91	1798,79	2	3597,58
Консультант ИЯ	25509,92	1,35	1,3	44769,91	1798,79	2	3597,58
Магистрант	13890	-	1,3	18057	725,50	87,75	63662,63
ИТОГО							63662,63

$$Z_{дн (рук., конс.)} = 44769,91 * 4,5 / 112 = 1798,79 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн (маг.)} = 18057 * 4,5 / 112 = 725,50 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 12 % от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (11.6)$$

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

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

$K_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты, примем 12 %.

Таблица 11.14 Расчет основной и дополнительной заработной платы.

Заработная плата	Основная зарплата, руб.	Дополнительная зарплата, руб.	Итого
Руководитель	20236,39	2428,37	22664,76
Консультант ФМ	4496,98	539,64	5036,62

Заработная плата	Основная зарпла- та, руб.	Дополнительная зарплата, руб.	Итого
Консультант СО	3597,58	431,71	4029,29
Консультант ИЯ	3597,58	431,71	4029,29
Магистрант	63662,63	7639,52	71302,15
Итого по статье С_{зп}	107062,11		

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 11.15

Таблица 11.15 Отчисления во внебюджетные фонды.

Исполнитель	Заработная плата, руб.	Размер отчислений во внебюджетные фонды (30%), руб.
Руководитель проекта	22664,76	6799,43
Консультант ФМ	5036,62	1510,99
Консультант СО	4029,29	1208,79
Консультант ИЯ	4029,29	1208,79
Магистрант	71302,15	21390,65
Итого	107062,11	32118,65

Накладные расходы учитывают прочие затраты, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование графических материалов, оплата услуг связи, электроэнергии и т.д. составляют 16 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} * (\text{сумма статей 1-4}), \quad (11.7)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,16 * 689415,76 = 110306,52 \text{ руб.}$$

Представим в таблице 11.16 группировку затрат для каждого варианта исполнения проекта.

Таблица 11.16 – Группировка затрат НИИ по статьям.

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	
1. Материальные затраты	114555	127628	118640	Табл. 1.10
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	435680	435680	435680	Табл. 1.11
3. Затраты по заработной плате исполнителей темы	107062,11	107062,11	107062,11	Табл. 1.13
4. Отчисления во внебюджетные фонды	32118,65	32118,65	32118,65	Табл. 1.15
5. Накладные расходы	110306,52	112398,20	110960,12	16% от суммы ст. 1-4
6. Бюджет затрат НИИ	799722,28	814886,96	804460,88	Сумма ст. 1-5

11.4 Организационная структура проекта

Для проводимого исследования характерна проектная организационная структура, которая показана на рисунке 35.



Рисунок 35. Организационная структура проекта.

11.5 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (таблица 11.17).

Таблица 11.17 Матрица ответственности.

Этапы проекта	Бондалетов Владимир Григорьевич, д.х.н., профессор отделения химической инженерии	Лунев Иван Александрович, магистрант
Получение задания и составления плана работ	О	
Подбор и изучение теоретических материалов		И
Поиск методик и характеристика объектов исследования		И
Проведение экспериментов		И
Обработка и обсуждение результатов	С	И
Оформление проекта	У	И
Разработка презентации и раздаточного материала		И

Ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.

Исполнитель (И) – лицо, выполняющие работы в рамках этапа проекта.

Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

Согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

11.6 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 11.18).

Таблица 11.18 План управления коммуникациями.

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1	Задание и план работ	Руководитель проекта	Исполнителю	Не позже даты установленной по календарному плану
2	Литературный обзор	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Не позже даты установленной по календарному плану
3	Результаты экспери-	Исполнитель про-	Руководителю	Не позже даты уста-

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
	ментальных исследований	екта	проекта	новленной по календарному плану
4	Отчет о выполненной работе	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Не позже дня контрольного события по плану управления

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

11.7.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (11.8)$$

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

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

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

$$\text{Исп. 1: } I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = 799722,28 / 814886,96 = 0,98$$

$$\text{Исп. 2: } I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = 814886,96 / 814886,96 = 1,0$$

$$\text{Исп. 3: } I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = 804460,88 / 814886,96 = 0,99$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad (11.9)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы 11.19.

Таблица 11.19 Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	I_m^p	Исп.2	I_m^{a1}	Исп. 3	I_m^{a2}
1. Рост производительности труда	0,35	4	1,4	4	1,4	3	1,05
2. Удобство и эксплуатация	0,25	5	1,25	4	1,0	5	1,25
3. Надежность	0,15	5	0,75	3	0,45	4	0,6
4. Материалоемкость	0,25	5	1,25	4	1,0	4	1,0
ИТОГО	1	19	4,65	15	3,85	16	3,9

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

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}; \quad I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} \quad (11.10)$$

$$\text{Исп. 1: } I_{\text{финр}}^p = 4,65 / 0,98 = 4,74$$

$$\text{Исп. 2: } I_{\text{финр}}^p = 3,85 / 1 = 3,85$$

$$\text{Исп. 3: } I_{\text{финр}}^p = 3,9 / 0,99 = 3,93$$

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

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} \quad (11.11)$$

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

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

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

Таблица 11.20 Сравнительная эффективность разработки.

№ п/п	Показатели	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,98	1,0	0,99
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,85	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	4,74	3,85	3,93
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,812	0,829

Таким образом, сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило определить, что существующий вариант решения поставленной в магистерской диссертации задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является наиболее приемлемым.