

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и инженерной экологии  
Кафедра «Химия, химические процессы и технологии»  
240801.65 «Машины и аппараты химических производств»

## ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

на тему «Модернизация стадии полимеризации и подводного  
гранулирования производства Полиамид - 6»

Студент(ка)	Н.В. Фирстова	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Руководитель	В.П. Щукин	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Консультанты	А.Е. Краснослободцева	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
	К.Ш. Нуров	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Нормоконтроль	В.В. Петрова	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и инженерной экологии  
Кафедра «Химия, химические процессы и технологии»  
240801.65 «Машины и аппараты химических производств»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Г.И. Остапенко  
(подпись) (И.О. Фамилия)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение дипломного проекта

Студент Фирстова Наталья Владимировна

- 1. Тема** «Модернизация стадии полимеризации и подводного гранулирования производства Полиамида – 6
- 2. Срок предоставления законченной готовой работы** 16 июня 2016 г.
- 3. Исходные данные к проекту (работе)** Производительность по расплаву полиамида: 150 тн/сут. Концентрация экстрагируемых веществ: 11% масс. Концентрация непрореагировавшего капролактама: 8,5% масс.
- 4. Содержание текстового документа (перечень подлежащих разработке вопросов)** Аналитическая часть - обзор по физико-химическим свойствам, описание действующей технологической схемы производства полиамида 6. Технологическая часть - характеристика сырья и готовой продукции, разработка и описание аппаратурно-технологической схемы получения полиамида -6. Расчетная часть - Конструкционный и технологический расчет. Экономическая часть - Расчет капитальных вложений (инвестиций) по проектному варианту. Расчет эффективности и проектных решений. Безопасность и экологичность проекта - Описание рабочего места, опасные и

вредные производственные факторы и мероприятия по разработке безопасных условий труда.

**5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)**

5.1 Блок-схема производства ПА-6;

5.2 Виды и нормы образования твердых производственных отходов ПА-6;

5.3 Принципиальная схема действующей стадии производства ПА;

5.4 Принципиальная технологическая схема стадии «Полимеризация и подводное гранулирование» после внедрения узла переработки твердых производственных отходов;

5.5. Сборник твердых отходов в производстве ПА-6. Общий вид;

5.6. Экструдер;

5.7. Экструдер. Детализация;

5.8. Сводная таблица экономической эффективности проекта;

**6. Консультанты по разделам**

6.1 Техничко-экономическое обоснование.

6.2 Безопасность и экологичность технического объекта.

**7. Дата выдачи задания « 26 » февраля 2016 г.**

Руководитель дипломного  
проекта

\_\_\_\_\_  
(подпись)

В.П.Щукин

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Н.В.Фирстова

(И.О. Фамилия)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и инженерной экологии  
Кафедра «Химия, химические процессы и технологии»  
240801.65 «Машины и аппараты химических производств»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Г.И. Остапенко  
(подпись) (И.О. Фамилия)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН**

**на выполнение дипломного проекта**

Студента Фирстовой Натальи Владимировны

по теме «Модернизация стадии полимеризации и подводного гранулирования  
производства Полиамида – б»

<b>Наименование раздела работы</b>	<b>Плановый срок выполнения раздела</b>	<b>Фактический срок выполнения раздела</b>	<b>Отметка о выполне нии</b>	<b>Подпись руководи теля</b>
Введение	<b>04.03.2016</b>			
Аналитическая часть	<b>14.03.2016</b>			
Технологическая часть	<b>28.03.2016</b>			
Расчетная часть	<b>28.04.2016</b>			
Экономическая часть	<b>05.05.2016</b>			

Безопасность и экологичность	<b>17.05.2016</b>			
Нормоконтроль	<b>28.05.2016</b>			
Выполнение чертежей	<b>03.06.2016</b>			
Заключение	<b>05.06.2016</b>			
Предварительная защита	<b>09.06.2016</b>			
Оформление работы				

Руководитель дипломного проекта

\_\_\_\_\_ (подпись)

**В.П. Щукин**

\_\_\_\_\_ (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_ (подпись)

**Н.В.Фирстова**

\_\_\_\_\_ (И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

Дипломная работа содержит 123 страницы, 31 таблицы, 8 графических листов.

Цель работы - разработка узла для переработки твердых производственных отходов с добавлением экструдера на стадии «Полимеризация и грануляция» с последующим вовлечением расплава в технологический процесс.

Объектом исследования является предприятие ОАО «КуйбышевАзот».

В литературном обзоре рассмотрен материал о процессе переработки твердых производственных отходов, обоснован выбор проведения процесса.

В расчетно-технологическом разделе приведены характеристика сырья и готовой продукции, описание действующей технологической схемы производства ПА – 6. На основе материального и теплового балансов, расчета вспомогательного оборудования выбрано основное оборудование. В результате внедрения нового оборудования узла переработки твердых производственных отходов достигнуто снижение себестоимости на 0,12%, а ожидаемая прибыль – 11600000 тыс. руб.

Дипломная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007.

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	
1 АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	7
1.1 Общие сведения о полиамиде 6.....	7
1.2 Свойства полиамидов.....	9
1.2.1 Полиамид 6 (ПА-6) блочный (капролон) .....	9
1.3 Применение полиамида.....	11
1.4 Описание действующей технологической схемы производства полиамид -6.....	12
1.4.1 Подводное гранулирование.....	17
1.4.2 Экстракция.....	21
1.4.3 Стадия сушки.....	26
1.5 Недостатки технологии.....	30
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	
2.1 Общие сведения о процессе экструзии.....	32
2.2 Описание предлагаемой технологической схемы.....	33
2.3 Основные параметры технологического процесса.....	36
3 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ	
3.1 Материальный баланс стадии полимеризации и гранулирования.....	38
3.2 Расчет теплового баланса стадии полимеризации и гранулирования.....	47
3.3 Расчет экструдера.....	63
3.4 Механический расчет емкости хранения твердых производственных отходов.....	65
3.4.1 Обечайка цилиндрическая.....	65
3.4.2 Днище эллиптическое верхнее.....	67
4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ	

4.1	Маркетинговый анализ.....	76
4.2	Расчёт годовой производственной мощности.....	78
4.3	Расчет капитальных вложений.....	79
4.4	Организация труда рабочих.....	81
4.5	Расчёт себестоимости продукции.....	90
4.6	Расчет расходов на содержание и эксплуатацию оборудования.....	92
4.7	Расчет цеховых расходов.....	92
4.8	Расчёт экономической эффективности проектных решений.....	96
4.9	Вывод.....	97
<b>5 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА</b>		
5.1	Характеристика технологического объекта.....	99
5.2	Идентификация профессиональных рисков.....	101
5.3	Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	103
5.4	Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	105
5.5	Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технического объекта.....	107
5.6	Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара.....	109
5.7	Обеспечение экологической безопасности технического объекта..	110
	Заключение.....	113
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>117</b>
	<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>118</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>124</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Полиамид 6 - это разновидность конструкционных термостойких полимеров, которые основаны на линейных синтетических высокомолекулярных соединениях, содержащих в основной цепи амидные группы —CONH— и обладающие хорошими прочностными и антифрикционными свойствами. По масштабу производства среди синтетических высокополимеров он занимает одно из первых мест и является одним из наиболее распространенных конструкционных термопластов в России.

На сегодняшний день ОАО «КуйбышевАзот» выпускает полиамид-6 разных диапазонов вязкости 2,7 и 3,4. Используя в качестве сырья капролактамы, деминерализованную воду и стабилизатор получают полимер в виде гранулята, из которого производится высококачественный материал для пленок, технических и текстильных нитей. Установка для получения полимера максимально автоматизирована и не требует большого количества рабочей силы для обслуживания. Несмотря на современные технологии, благодаря которым происходит почти полное использование сырья (капролактама(99%)), некоторые стадии требуют дальнейшего совершенствования. В частности, на производстве образуется значительное количество побочных и не переработанных производственных отходов. Предметом исследования является переработка твердых производственных отходов производства Полиамид-6 на указанном предприятии.

Целью данного проекта является разработка узла для переработки твердых производственных отходов с добавлением экструдера на стадии «Полимеризация и грануляция» с последующим вовлечением расплава в технологический процесс, для создания наиболее экологически чистого производства, с наименьшим количеством. Также проект направлен на получения прибыли предприятия, за счет переработки отходов.

Актуальность дипломного проекта заключается в целесообразности переработки производственных отходов.

Задачами являются:

Анализ теоретических аспектов процесса переработки твердых производственных отходов.

Выполнение расчетно - конструктивной части.

Представление, контроль производства и управление процессом переработки ТПО.

Расчет экономической эффективности проекта.

Анализ безопасности и экологичности технического объекта.

# ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

## 1 АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 1.1 Общие сведения о полиамиде - 6

Полиамиды представляют огромный по числу представителей и очень важный по своему научному и практическому значению класс высокомолекулярных соединений линейной структуры с молекулярным весом до 30 тысяч. Их макромолекулы состоят из гибких метиленовых цепочек и регулярно расположенных вдоль цепи полярных амидных групп  $-NH-CO-$ . Выдающееся значение, которое приобрели полиамиды в современной промышленности, видно из того, что производство их в мире непрерывно увеличивается и в настоящее время исчисляется сотнями тысяч тонн.[1]

Первый синтетический полиамид был получен в 1862 году, Харбордтом, который, подвергая при  $200^{\circ}C$  м-аминобензойную кислоту действием хлористого водорода, выделил порошок серого цвета, не растворимый в щелочах и кислотах за исключением концентрированной серной кислоты. В последующем этот продукт хорошо растворялся и высаживался при добавлении воды, Таким образом, был получен поли-м-бензамид – первый представитель синтетических полиамидов.[2]

Поли-ε-капроамид(поликапролактама), как продукт переработки полиамида впервые был получен в 1899 году, Габриэлем и Маасом при поликонденсации ε-аминокапроновой кислоты. При этом было сделано очень важное наблюдение, что нагревание ε-аминокапроновой кислоты приводит к образованию наряду с полимером также и низкомолекулярного циклического продукта – ε-капролактама.[3]

В 1938 году Шлак открыл способность ε-капролактама полимеризоваться при нагревании с водой образуя при этом высокомолекулярный полимер. На основе открытого полиамида было создано синтетическое волокно, получившее название перлон или капрон, Который сыграл большую роль в развитии

промышленности синтетических волокон, т.к. его широко применяют в качестве исходного материала в производства волокна.[4]

Особенно бурное развитие исследований по синтезу и применению полиамидов началось после работы Карозерса по синтезу полиамидов из различных диаминов и дикарбоновых кислот. Карозерс показал, что из синтезированных им полиамидов путем вытяжки из расплавленной смолы могут быть получены прочные волокна. В 1938 г в США приступили к производству синтетического волокна из полигексаметиленадипинамида, которое приобрело мировую известность под названием нейлон. В настоящее время нейлон-66 занимает ведущее место среди всех синтетических волокон и масштаб производства этого волокна исчисляется сотнями тысяч тонн.[5]

В настоящее время химия и физика полиамидов составляют большой раздел во всей науке о высокомолекулярных соединениях. Если на первом этапе развития химии высокомолекулярных соединений их особенности изучались в основном на целлюлозе, то в настоящее время эти исследования проводятся с широким использованием полиамидов.

Наличие амидных групп, способных образовывать водородные связи, определяет физико-химические свойства, общие для всех полиамидов. В настоящее время практическое значение имеют лишь некоторые из большого числа синтезированных полиамидов. Основные марки полиамидов, выпускаемые на сегодняшний день:

- Алифатические кристаллизующиеся (гомополимеры и сополимеры): РА 6 - полиамид 6, поликапроамид, капрон, РА 66 - полиамид 66, полигексаметиленадипамид, РА 610 – полиамид 610, полигексаметиленсебацинамид, РА 612 - полиамид 612, РА 11 - полиамид 11, полиундеканамид, РА 12 - полиамид 12, полидодеканамид, РА 46 - полиамид 46, РА 69 - полиамид 69, РА 6/66 (РА 6,66) - полиамид 6/66 (сополимер), РА 6/66/610 - полиамид 6/66/610 (сополимер), РЕВА (ТРЕ-А, ТРА) - термопластичный полиамидный эластомер, полиэфирблокамид.

- Алифатические аморфные: PA MACM 12 - полиамид MACM 12, PA PACM 12 - полиамид PACM 12.
- Полуароматические и ароматические, кристаллизующиеся - (PAA): PPA (PA 6T, PA 6T/6I, PA 6I/6T, PA 6T/66, PA 66/6T, PA 9T, NTN) – полифталамиды (полиамиды на основе терефталевой и изофталевой кислот), PA MXD6 - полиамид MXD6, полуароматические и ароматические, аморфные (PAA), PA 6-3-T (PA 63T, PA NDT/INDT) - полиамид 6-3-T.[6]

## **1.2 Свойства Полиамидов**

Несмотря на общность названия, и структурной основы (амидные группировки —CO—NH— в основной цепи макромолекулы, связанные с алифатическими или ароматическими радикалами), представители этого класса имеют некие «личностные» особенности. Полиамид, получивший наибольшее распространение в России, известен в промышленности как полиамид-6 (в соответствии с количеством атомов углерода в мономерах -NH-(CH<sub>2</sub>)<sub>5</sub>-CO-). Коммерческих же названий несравненно больше.

ПА-6 - наиболее распространенный в России конструкционный термопласт. Материал имеет отличную масло-бензостойкость, стойкость к углеводородным продуктам и отличные механические свойства, которые обеспечивают широкое применение ПА-6 в автомобильной, нефтедобывающей промышленности, в различных видах транспорта, для изготовления ручного инструмента и т.д. ПА-6 отличается сравнительно высоким влагопоглощением, которое ограничивает его применение во влажных средах для изготовления ответственных изделий.[7]

### **1.2.1 Полиамид-6 (ПА-6) блочный (капролон)**

Широкое распространение на российском рынке получил также полиамид-6-блочный (более известный как капролон или, капролон-В) -NH-(CH<sub>2</sub>)<sub>5</sub>-CO-. Капролон определяется промышленными специалистами как

многофункциональный конструкционный материал, выступающий в качестве заменителя цветных металлов и их сплавов.[8]

Капролон очень прочен, имеет низкий коэффициент трения в паре с любыми металлами, хорошо и быстро прирабатывается, в 6-7 раз легче бронзы и стали, взамен которых, собственно, он и применяется успешно. При этом капролон не поддается воздействию углеводов, масел, спиртов, кетонов, эфиров, щелочей и слабых кислот, растворяясь в крезолах, фенолах, концентрированных минеральных кислотах, муравьиной и уксусной кислотах. Обрабатывать капролон можно практически любым способом: он достаточно легко поддается обработке фрезерованием, точением, сверлением и шлифованием.[9]

В дополнение к перечисленным достоинствам, изделия из капролона позволяют устройствам и механизмам, в которых они используются, работать бесшумно и надежно. Износ пар трения при использовании капролоновых деталей снижается в 1,5-2 раза, и соответственно повышается их ресурс.

К капролону трудно предъявить какие-либо экологические претензии. Предприятия, занимающиеся его производством, а также производством конечных продуктов из капролона, как правило, имеют гигиенический сертификат на контакт с пищевыми продуктами и питьевой водой.

Для транспортировки капролона можно использовать контейнеры любого типа или любой вид крытого транспорта. Главное, чтобы материал транспортировался в условиях, которые исключают прямое попадание влаги. Капролон поставляется в виде плит, брусков и стержней (свободное литье), втулок (центробежное литье) или готовых изделий по документации заказчика.

Детали из полиамида 6 отлично поглощают ударные нагрузки, имеют низкий коэффициент трения и могут работать без смазки в узлах трения, что гарантирует их долговечность. Так же он является прекрасным диэлектриком, который не уступает, а по тепловой и механической стойкости превосходит такие изоляторы, как полистирол, поливинилхлорид. Хорошо поддается

обработке такими методами как фрезерование, точение, сверление и шлифование.[10]

### **1.3 Применение полиамида**

Полиамид 6 блочный (капролон) широко применяют взамен цветных металлов (бронзы, латуни, баббита) и различных антифрикционных материалов (резины, бакаута, тестолита, лигнофоля, ДСП и т.д.), а также в качестве электроизоляционного и конструкционного материала в различных отраслях народного хозяйства.

В судостроении и судоремонте. Полиамид 6 блочный (капролон) применяется для изготовления подшипников гребных и дейдвудных валов рулевых и других устройств, веерных роликов, деталей судовых механизмов и арматуры – клапанов, поршней, слабо нагруженных шестерен, крыльчаток насосов, корпусов и крышек клапанов, букс, пробок, крышек, уплотнительных колец.

В энергетике – идет на изготовление подшипников, насосов, шнеков золоудаления и питания, пылевых шнеков, шаровых мельниц Ш-10, 12, турбинных вкладышей и др. для ТЭЦ, ГЭС, ГРЭС, АЭС. Горнорудная и золотодобывающая промышленность использует полиамид 6 блочный (капролон) в качестве сферических подшипников, конических и цилиндрических подшипников в камнедробилках КМД 1750, КМД 2200[11].

В угледобывающей промышленности из полиамида 6 блочного (капролона) изготавливают втулки центральной цапфы, опорного, натяжного и ведущего колеса, разгрузочного блока, механизма качения, резального барабана, блока наводки, вкладыши седлового подшипника и др.

Нефтедобывающая промышленность использует полиамид в качестве протекторных переводчиков на буровых стенках как приспособление против протирания колонны в процессе бурения скважин, подшипников различных насосов, скребков-центраторов насосных штанг, решеток для вакуум-фильтров.

В металлургической промышленности – идет на изготовление подшипников, насосов, шнеков золоудаления и питания, пылевых шнеков, шаровых мельниц Ш-10, 12, турбинных вкладышей и др. для ТЭЦ, ГЭС, ГРЭС, АЭС[12].

#### **1.4 Описание действующей технологической схемы производства полиамид-6**

Капролактамы, после предварительной очистки от примесей подается в верхнюю часть мультифункционального реактора-смесителя. Аппарат, за исключением крышки, оборудован рубашкой, в которую подается жидкий терминол с температурой 220-255<sup>0</sup>С. Внутри аппарата находится перемешивающее устройство, которое представляет собой вал с закрепленными на нем четырьмя лопастями, расположенными относительно друг друга под углом 90<sup>0</sup>. Мешалка приводится в движение электродвигателем с редуктором, закрепленными на крышке аппарата, электродвигатель перемешивающего устройства имеет частотный регулятор привода (ЧРП). На охлаждение подшипника редуктора подается охлаждающая оборотная вода. Изнутри аппарат оборудован змеевиком, по которому подается паровой динил[13].

Мультифункциональный реактор-смеситель снабжен смотровыми стеклами в верхней части, для визуального контроля процесса, прибором для измерения давления, который имеет сигнализацию по максимальному значению параметра, приборами контроля уровня, имеющими сигнализацию по максимальному и минимальному значениям параметра и блокировку по максимальному значению. При срабатывании блокировки по максимальному значению уровня, перекрывается клапан на подаче капролактама в реактор и клапан на подаче регенерированного капролактама, а также осуществляется остановка насосов т.е. прекращение ввода стабилизатора.

Для исключения контакта с кислородом воздуха, а также во избежание нароста слоя полимера на рабочей поверхности уровнемеров, в смеситель и реакторы подается азот с содержанием кислорода не более 3ppm.

Поступающие в реактор капролактама, концентрированная лактамная вода со стадии выпаривания лактамной воды и раствор добавок под избыточным давлением перемешиваются, и уже на этой стадии начинается образование молекулярной цепи полимера. Реакционная смесь в аппарате перемешивается мешалкой. Расход капролактама в реактор-смеситель регулируется автоматически при помощи регулирующего клапана, установленного на линии подачи капролактама в реактор. Регулировка происходит в зависимости от уровня смеси в аппарате, расход капролактама фиксируется при помощи термометра сопротивления, установленного на линии подачи капролактама в реактор.

Количество подаваемого стабилизатора на стадию полимеризации регулируется автоматически клапанами в зависимости от количества подаваемого на стадию сырья.

Дегазация реактора-смесителя осуществляется через дефлегматор. Испарившаяся вода с примесью капролактама и его производных поступает в нижнюю часть дефлегматора. Вертикально установленный цилиндрической формы дефлегматор предназначен для отделения примесей капролактама от водной фракции и возвращения продукта в процесс. В верхнюю часть дефлегматора через распределительное устройство, обеспечивающее максимальную поверхность контакта сред, подается деминерализованная вода. В мелкодисперсном состоянии деминерализованная вода улавливает примеси капролактама.

На линии сброса газовой фазы с дефлегматора установлен прибор контроля давления, который имеет сигнализацию по максимальному и минимальному значениям параметра. Регулировка давления процесса осуществляется автоматически клапаном в зависимости от показаний измерительного преобразователя давления. На линии сброса газовой фазы от дефлегматора установлен теплообменник, который предназначен для конденсации паров воды от дефлегматора. Конденсатор представляет собой двухходовой кожухотрубчатый теплообменник с поверхностью теплообмена

11,6 м<sup>2</sup> по межтрубному пространству которого подаются пары воды, а по трубному охлаждающая оборотная вода с температурой не более 28<sup>0</sup> С. Сконденсировавшись, пары воды от охладителя поступают в гидрозатвор из которого впоследствии по линии перелива конденсат паров поступает к сборнику лактамной воды, на установку выпаривания лактамных вод. Линия перелива гидрозатвора оборудована дренажным вентилем при открытии, которого перелив направляется в сточный коллектор.

Для исключения контакта с кислородом воздуха, над уровнем реакционной смеси в реактор-смеситель постоянным расходом 0,3-1,0 м<sup>3</sup>/час подается очищенный азот (N<sub>2</sub>) с содержанием кислорода не более 3ppm.

По обогреваемому жидким термиолом трубопроводу реакционная смесь из мультифункционального реактора поступает в верхнюю часть предполимеризатора.

Реактор предполимеризации представляет собой вертикально установленный аппарат цилиндрической формы, имеющий сферическую крышку и конусное днище, внутри которого в верхней части находится специальный нагреваемый паровым динилом регистр с нагревательными элементами по форме напоминающими галстуки. Также аппарат внутри оборудован специальными конусными тарелками в количестве 14 штук, которые расположены по всей его длине от нагревательного регистра в верхней части, до конуса в нижней части. Эти тарелки расположены конусом вверх и по всей площади перфорированы отверстиями. За счет этих конструктивных особенностей поток реакционной смеси проходит через реактор в так называемом «пробковом режиме», обеспечивающем оптимальное перемешивание и равномерное движение расплава в реакторе. Снаружи аппарат снабжен змеевиком обогрева, выполненным в форме полутрубы. Реактор снабжен смотровым фонарем, установленным на крышке, для возможности визуального контроля процесса. Контроль уровня расплава в предполимеризаторе ведется посредством уровнемеров. Уровнемеры имеют блокировку и сигнализацию по максимальному и минимальному значению

параметра, при срабатывании которой, перекрывается клапан, на подаче расплава в предполимеризатор.

Температура реакции в аппарате контролируется по датчикам температуры, установленным по всей длине предполимеризатора. Давление в аппарате контролируется прибором, который имеет сигнализацию по максимальному значению параметра.

В присутствии воды (активатора реакции), происходит реакция гидролиза и образование аминокaproновой кислоты. Очень важным фактором, влияющим на качество товарного полимера на этой стадии процесса, является степень смешения исходных компонентов реакции. Чем она выше, тем полнее и качественней протекает реакция с нужной степенью линейности полимера. Также очень важным фактором является равномерность истечения потока через аппарат: т.е. время пребывания расплава в зоне реакции. Для достижения однородности полимера, в идеале, время нахождения в зоне реакции должно быть одинаковым для каждой отдельно взятой его молекулы.

Обогрев предполимеризатора осуществляется по наружному змеевику жидким термином 66, который поступает от насоса и циркулирует по контуру: насос терминола → рубашка трубопровода выдачи плава → змеевик обогрева → насос терминола. Температура терминола в контуре поддерживается в автоматическом режиме при помощи регулирующего клапана, расположенного на линии подпитки, в зависимости от показаний термометра сопротивления и заданного значения регулировки. Внутренний нагревательный регистр предполимеризатора обогревается паровым динилом от испарителя[14].

Дегазация с предполимеризатора осуществляется по трубопроводу смонтированному в боковой отвод дефлегматора. Таким образом, аппарат имеет объединенную систему дегазации с мультифункциональным реактором – смесителем. Избыточное давление в аппаратах поддерживается автоматически при помощи регулирующего клапана, в зависимости от показаний преобразователя давления и заданного значения регулировки. Для исключения

контакта с кислородом воздуха, над уровнем реакционной смеси в предполимеризатор постоянным расходом 0,3-1,0 м<sup>3</sup>/час подается очищенный азот (N<sub>2</sub>) с содержанием кислорода не более 3ppm.

По обогреваемому жидким термином трубопроводу расплав полиамида подается в верхнюю часть поликонденсатора (колонны VK). Выдача происходит за счет избыточного давления в предполимеризаторе. Трубопровод выдачи в нижней его точке оборудован трехходовым вентилем, через который имеется возможность опорожнения трубопровода и аппарата от продукта, а также отбора пробы продукта.

Поликонденсатор представляет собой вертикально установленный цилиндрической формы аппарат, имеющий сферическую крышку и коническое днище. Аппарат имеет встроенный в верхней части нагреваемый динилом регистр. Внутри аппарата в средней его части встроен теплообменник по трубному пространству которого протекает реакционная смесь (расплав), а по межтрубному подается жидкий термиол. За счет подачи термиола в межтрубное пространство из этой зоны аппарата производится отвод тепла, выделяющегося при экзотермической реакции поликонденсации. Термиол из межтрубного пространства этого теплообменника используется для обогрева multifunctional reactor-mixer. Так же реактор по всей длине оборудован специальными конусными тарелками в количестве 17 штук. Эти тарелки расположены конусом вверх и по всей площади перфорированы отверстиями. За счет этих конструктивных особенностей поток реакционной смеси проходит через реактор в так называемом «пробковом режиме», обеспечивающем оптимальное перемешивание и равномерное движение расплава в реакторе. В верхней части аппарата смонтирована мешалка с электроприводом. Четыре лопасти мешалки выполнены с наконечниками в виде мягких металлических пластин.

Расплав полиамида подается в верхнюю часть поликонденсатора через распределительное устройство, представляющее собой кольцевой трубопровод, позволяющий подавать расплав полиамида по всей окружности аппарата.

Таким образом, обеспечивается быстрое испарение избыточной воды. С помощью лопастей мешалки, выполненных с наконечниками в виде мягких металлических пластин, поступивший расплав снимается со стенок аппарата и равномерно перемешивается.

Дегазация поликонденсатора осуществляется через дефлегматор. Испарившаяся вода с примесью капролактама и его производных поступает в нижнюю часть дефлегматора, в верхнюю часть через распределительное устройство подается деминерализованная вода. На линии сброса газовой фазы от дефлегматора установлен теплообменник, который предназначен для конденсации паров воды от дефлегматора. Сконденсировавшись, пары воды от охладителя поступают в гидрозатвор. Для исключения контакта с кислородом воздуха, над уровнем реакционной смеси в реактор постоянным расходом 0,3-1,0 м<sup>3</sup>/час подается очищенный азот (N<sub>2</sub>) с содержанием кислорода не более 3ppm.[15]

Контроль и регистрация уровня в реакторе производится при помощи вибрационного концевого выключателя предельного уровня, с сигнализацией по минимальному и максимальному уровню, а также блокировкой по максимальному уровню расплава при срабатывании которой автоматически перекрывается клапан, установленный на линии подачи расплава в реактор и останавливается насос.

Пройдя поликонденсатор расплав делится на два потока и по трубопроводам, обогреваемым жидким термиолом, поступает на всас шестеренчатых насосов стадии гранулирования.

#### **1.4.1 Грануляция**

Перед подачей расплава полиамида на стадию гранулирования, часть расплава с расплавопровода дозируется при помощи шестеренчатого насоса на стадию кондиционирования расплава, где производится ввод двуокиси титана (TiO<sub>2</sub>) в полимер. Далее кондиционированный полимер шестеренчатыми

насосами возвращается в расплавопровод на всас шестеренчатых насосов соответствующей линии стадии гранулирования.

Однородность смешивания расплава с содержанием двуокиси титана от насосов с полимером от реактора обеспечивается статическими мешалками, расположенными в трубопроводах плава соответствующих линий стадии гранулирования.[16]

Корпус шестеренчатого выгрузного устройства (ШВУ) обогревается жидким термином, от ШВУ терминол поступает к рубашке трубопровода выдачи полимера из поликонденсатора. После шестеренчатого насоса по обогреваемому термином трубопроводу поток подается на ситообменник (фильтр плава) который предназначен для фильтрования расплава от возможных загрязнений. По конструкции ситообменник представляет собой один несущий цилиндр со встроенным узлом сита. Несущий цилиндр можно гидравлически перемещать по горизонтали. Таким образом, предоставляется возможность заменять узел сита сбоку от агрегата. В качестве опции ситообменник может быть оснащен функцией обратной промывки, что повышает срок службы сита. Ситообменники непрерывного действия оснащаются двумя несущими цилиндрами. Это позволяет менять сита по отдельности без остановки производственного процесса.

Отфильтрованный на ситообменнике расплав поступает на гидравлическую отводную задвижку, корпус которой так же обогревается жидким термином. Далее поток расплава подается на литьевую фильеру, представляющую собой металлическую перфорированную отверстиями плиту, диаметр которых выбирается в зависимости от регламентированного размера гранул и составляет 2,4мм. Фильера имеет электрические регистры обогрева, температура разогрева фильеры задается с пульта управления установкой. Продавливаясь через фильеру полимерный расплав попадает в отсек нарезки, где ножевой головкой расплав нарезается в гранулы и потоком воды, температура которой равна 40-50<sup>0</sup>С транспортируется на сепаратор агломерата.

Сепаратор агломерата предназначен для отделения крупных частиц расплава, по каким либо причинам, не прорубленным в отсеке нарезки. Обороты ножевой головки гранулятора регулируются при помощи изменения числа оборотов электродвигателя с пульта управления установкой. Число оборотов ножевой головки гранулятора подбирается в зависимости от нагрузки на линию и от размера гранул полиамида. На линии транспортировки гранулята установлен смотровой фонарь, для визуального контроля транспортировки.

Далее гранулят, транспортируемый водой поступает в центробежную сушилку, где большая часть влаги удаляется и поступает на стадию водоочистки гранулирования. Гранулят через двухходовой отсекатель, поступает на вибросито (механический грохот).

Гранулят не прошедший через отверстия сетки вибросита (некондиционный гранулят) собирается в специальном сборнике для некондиции, расположенным под виброситом.

Вибросито приводится в движение двумя электродвигателями.

Кондиционный гранулят из вибросита поступает в сборник на стадию экстракции. При помощи двухходового отсекателя имеется возможность перевести поток гранулята на засыпку биг-бегов, в случае неисправности вибросита или переполнения сборников на стадии экстракции.

Отделившаяся от гранулята на центрифуге вода, загрязненная полиамидной пылью, поступает в отстойник полиамидной пыли.

Сборник транспортировочной воды представляет собой горизонтально установленную емкость с двумя перегородками, которые разделяют ее на три секции: отстойник пыли, отделение грязной воды, отделение чистой воды. Переливаясь через перегородку, транспортировочная вода попадает в отделение грязной воды, откуда насосом выдается на систему фильтрации от взвеси полиамида. Вода с примесью полиамидной пыли поступает на свечной фильтр, конструкция которого предусматривает цилиндрический корпус с

помещенными внутрь него металлическими фильтрующими элементами (свечами).

Размер ячейки фильтрующего элемента равен 75 мкм. Свечи в вертикальном положении закреплены на круглой формы пластине, имеющей крепеж к валу, и вращаются при помощи электродвигателя. Поток воды продавливается через фильтрующие элементы, в то время как полиамидная пыль отфильтровывается на сетках свечей. Очищенная вода после свечного фильтра поступает в отделение чистой воды сборника. Часть потока после свечного фильтра к сборнику отводится на ленточный фильтр. Ленточный фильтр представляет собой сборник воды с закрепленной над ним лентой, двигающейся с небольшой скоростью при помощи электродвигателя, диаметр ячейки которой равен 100 мкм.

Поток загрязненной воды из нижней части свечного фильтра сбрасывается в буферную емкость, откуда равномерным потоком поступает на ленточный фильтр. Поток воды, проходя через ленту, попадает в сборник воды, в то время как полиамидная пыль остается на ленте и по ходу движения ленты счищается ножом с резиновой накладкой. Очищенная на ленточном фильтре от примесей вода самотеком поступает в отстойник пыли сборника транспортировочной воды. Система водоочистки, которая включает в себя фильтры, работает периодически, в зависимости от установленного на пульте оператора перепада давления до и после фильтра.[17]

Из чистого отделения сборника транспортировочной воды вода поступает на всас центробежного насоса. С нагнетания насоса поток воды направляется к водному боксу на транспортировку гранулята полиамида. Количество выдаваемой воды, фиксируется при помощи расходомера, который имеет сигнализацию по максимальному и минимальному значениям параметра, а так же блокировку по минимальному значению. Транспортировочная вода охлаждается до температуры 40-50<sup>0</sup>С в теплообменнике за счет подачи на него охлаждающей обратной воды с температурой не более 28<sup>0</sup>С. Далее поток через двухходовой отсекаТЕЛЬ поступает в камеру нарезки гранулята.

Отсекатель предусматривает возможность подачи потока транспортировочной воды по контуру циркуляции системы транспортировки, т.е. без подачи воды в камеру нарезки гранулята.

Такая схема обеспечивает безостановочную работу системы водоочистки и транспортировочной воды во время замены ножевой головки гранулятора, замены фильтры и т.д. В нижней точке контура подачи воды в отсек нарезки установлен отсекающий, который предназначен для дренирования воды из контура и срабатывает автоматически во время остановки.

### **1.5 Экстракция**

Для одновременного производства двух типов продукта (гранулята ПА6 полуматированного и блестящего) стадии гранулирования, экстракции и сушки разделены на две линии. В результате реакции полимеризации имеет место образование низкомолекулярных соединений, содержание которых в полимерном расплаве составляет около 10% от общей массы. Низкомолекулярные соединения состоят из мономера – капролактама, димеров, тримеров и т.д. и являются ненужной примесью в полимере. Процесс экстрагирования состоит в обработке гранулята водой. Чтобы исключить возможность загрязнения и окисления полиамида для экстрагирования используется деминерализованная, дегазированная вода. Процесс экстрагирования ускоряется с повышением температуры, поэтому для экстракции применяют горячую воду. Экстрагирование улучшается с увеличением соотношения между количеством воды и гранулята. Чем интенсивнее перемешивание и чем больше скорость движения воды между гранулятом, тем быстрее и полнее происходит экстрагирование. Чем меньше низкомолекулярных соединений содержит вода, тем больше её экстрагирующая способность. Для предотвращения смешивания продукта при одновременном выпуске продукции различного качества (гранулят ПА6 полуматированный и блестящий) стадия экстракции разделена на две технологические линии идентичные по оборудованию, оформлению технологической схемы и по схеме

КИПиА. Мощность каждого экстрактора составляет около 50% мощности всей установки. Таким образом, имеется возможность подбора индивидуальных параметров технологического режима для каждой линии.

Гранулят ПА6 с содержанием низкомолекулярных соединений (около 10%) со стадии гранулирования поступает в предэкстрактор стадии экстракции для дальнейшей его обработки.[18]

Предэкстрактор представляет собой вертикально установленный цилиндрический аппарат с коническим днищем. Внутри предэкстрактора в верхней его части находится щелевой фильтр через который вода с растворенными в ней НМС переливается в емкость стадии выпаривания. Предэкстрактор оборудован датчиком уровня воды с блокировкой по максимальному значению параметра. При достижении максимального уровня происходит остановка насоса, закрытие клапана, установленного на линии подачи воды в предэкстрактор и закрытие клапана, установленного на линии подачи пара в подогреватель. Также предэкстрактор оборудован датчиками температуры поз, измеряющих температуру соответственно в верхней и нижней частях аппарата.

Для визуального контроля за уровнем гранулята верхняя часть аппарата оборудована расширительным устройством, в котором размещено смотровое стекло, а так же датчик уровня имеющим сигнализацию по максимальному значению. Схемой также предусмотрена подача горячей воды от линии подпитки предэкстрактора в верхнюю часть расширительного устройства для промывки поступающего от вибросита гранулята, что способствует его равномерному распределению и выгрузке.

Уровень гранулята в предэкстракторе поддерживается автоматически путем регулирования числа оборотов насоса подачи транспортировочной воды на инжектор. При достижении уровня гранулята рабочей зоны обороты насоса увеличиваются на заранее заданное количество оборотов и заранее установленное оператором время.

Отмывка гранулята происходит противотоком за счет подачи предварительно нагретой лактамной воды из сборника стадии выпаривания через распределительное устройство расположенное в нижней части предэкстрактора. Разогрев воды до заданных значений производится перегретым водяным паром в теплообменнике. Контроль температуры лактамной воды на выходе из подогревателя осуществляется прибором, который имеет сигнализацию по минимальному и максимальному значениям параметра и регулируется клапаном, установленного на линии подачи пара в подогреватель.

Расход воды через теплообменник контролируется по прибору и регулируется клапаном. Образовавшийся избыток экстракционной воды отводятся с верхней части предэкстрактора через перелив на стадию выпарки. Для исключения уноса гранулята по линии перелива внутри предэкстрактора установлен щелевой фильтр.

Предварительно нагретый и частично экстрагированный гранулят поступает на жидкоструйный насос (инжектор) откуда в потоке воды с нагнетания насоса транспортируется в сепаратор, где происходит отделение воды от гранул. Транспортировочная вода от сепаратора сливается в деаэратор после чего поступает на всас насоса и повторно используется для транспортировки. Гранулят от сепаратора поступает в верхнюю часть непрерывно работающего экстрактора для дальнейшей его отмывки. Для визуального контроля потока воды и гранулята на линии от инжектора до сепаратора установлено смотровое окно.

Для проведения водообмена системы гидротранспорта, а также чистки предусмотрена подача деминерализованной воды в линию гидротранспорта перед сепаратором. Для исключения перетока транспортировочной воды и линию деминерализованной воды, на линиях подачи деминерализованной воды установлены обратные клапана.

Экстрактор - вертикально установленный цилиндрический аппарат с коническим днищем предназначенный для удаления низкомолекулярных

соединений из полимера с помощью экстракции горячей дегазированной деминерализованной водой. Внутренняя полость экстрактора разделена на девять зон специальными вставками (тарелками) со специально размерными отверстиями, обеспечивающими оптимальное перемешивание и распределение гранулята внутри аппарата. Конструкция вставок (тарелок) полая. Внутренняя полость каждого ряда вставок объединяется с выше стоящим системой перетоков. Таким образом обеспечивается постоянный проток горячей воды по внутреннему пространству тарелок, что необходимо для выравнивания температуры по всему диаметру экстрактора, а так же сводится к минимуму нежелательный охлаждающий эффект из-за потери тепла через корпус аппарата.[19]

Температура внутри каждой из девяти зон контролируется датчиками с выводом показаний на ЦПУ. Горячая вода, подаваемая в нижнюю часть экстрактора, противотоком грануляту поднимается вверх и через систему перелива поступает в емкость деаэрации. Емкость представляет собой вертикально установленный цилиндрический аппарат с коническим днищем. В нижней части аппарат оборудован рубашкой обогрева, в которую подается горячая вода. Пройдя процесс деаэрации, вода через систему перелива, поступает на всас насосов.

Гранулят от предэкстрактора поступает в верхнюю часть непрерывно работающего экстрактора, а дегазированная вода, нагретая выше 100<sup>0</sup>С, подается противотоком к грануляту снизу вверх. Подпитка и разогрев экстрактора осуществляется от емкости дегазации конденсатом сокового пара (КСП) со стадии выпарки. В случае отсутствия КСП существует возможность заполнения емкости химобессоленной водой из заводского коллектора цеха 40. От емкости дегазации, насосом, один из которых является рабочим, другой резервным, вода подается в теплообменник, где нагревается паром. Контроль за температурой воды на выходе из теплообменника осуществляется термометром сопротивления, имеющим сигнализацию максимального и минимального значений и регулируется клапаном, установленным на линии подачи пара в

подогреватель. После теплообменника поток воды разделяется на две линии и поступает на разогрев и подпитку экстрактора соответствующей линии А или В.[20]

Подача воды в экстрактор осуществляется через специальное распределительное устройство, расположенное в нижней части аппарата. Чтобы исключить возможность контакта гранулята с кислородом воздуха в линию воды подается очищенный азот. Количество подаваемого азота контролируется по местному ротаметру. Оптимальное смешивание азота с водой обеспечивает статическая мешалка, вмонтированная в трубопровод питающей воды. Для предотвращения попадания воды в линию азота на трубопроводе подачи азота установлен обратный клапан. Пройдя экстрактор, экстракционная вода через систему перелива поступает в ёмкость деаэрации. Чтобы исключить унос гранулята по линии перелива внутри экстрактора установлен щелевой фильтр.

Для равномерного разогрева экстрактора часть потока дегазированной воды от линии подпитки экстрактора, поступает во внутреннее пространство тарелок экстрактора, последовательно нагревая его снизу вверх. Контроль расхода подачи воды осуществляется по ротаметру, установленному по месту. После прохождения всех тарелок вода сливается в ёмкость дегазации.

Гранулят, выходящий из экстрактора, поступает на всас инжектора и потоком воды от насоса транспортируется на центрифугу.

Насос предназначен для транспортировки гранулята в токе воды до центрифуги. Насос оснащён блокировкой на остановку центрифуги, при срабатывании которой происходит остановка электродвигателя насоса. Конструкция насоса предусматривает возможность регулирования его оборотов. В линию нагнетания насоса предусмотрена возможность подачи деминерализованной воды. Для визуального контроля движения гранулята в трубопроводе предусмотрен смотровой фонарь.

## 1.6 Стадия сушки

Стадия сушки состоит из двух технологических линий, которые предназначены для сушки гранулята полиамида ПА 6 до низкого и равномерного содержания влаги. Гранулят поступает на стадию сушки (линии А/В) соответственно по двум различным трубопроводам со стадии экстракции.

Технологические линии стадии сушки гранулята идентичны по оборудованию и оформлению технологической схемы.

Мощность каждой сушилки составляет около 50% мощности всей установки. Таким образом, возможно, выпускать гранулят разной вязкости в каждой сушилке, благодаря индивидуальному выбору температуры. Смесь «гранулят + вода» со стадии экстракции, при помощи насоса поступает в центрифугу, где происходит поверхностное отделение воды от гранулята. Вода по трубопроводу возвращается на стадию экстракции в емкость деаэрации, далее на всас насосов и повторно используется в качестве транспортной воды. Гранулят из центрифуги поступает в сушилку для осушки его от влаги противотоком горячего азота.

Приём гранулята (при первоначальном пуске) осуществляется в предварительно нагретую сушилку с засыпанным в зону охлаждения сухим гранулятом. Сушка гранулята производится в среде горячего азота. Гранулят в сушилке проходит сверху вниз до охладителя, расположенного в нижней части сушилки. Противотоком снизу вверх подается горячий азот, который сушит гранулят и предотвращает его окисление кислородом воздуха.[21]

Азот забирается с верхней части сушилки и делится **на два потока.**

**Первый поток** азота подается прямо на всас газодувки с расходом 5550 м<sup>3</sup>/ч, далее азот через теплообменник, где нагревается до температуры 110-165<sup>0</sup>С паром. Температура азота на выходе из теплообменника измеряется и регулируется клапаном, расположенным на линии подачи пара. Для безопасной эксплуатации температура на всасе азотодувки замеряется температурным преобразователем имеющим сигнализацию и блокировку по максимальному

значению параметра ( $110^{\circ}\text{C}$ ). При достижении температуры блокировочного значения происходит остановка электродвигателя азотодувки.

Подогретый азот после теплообменника возвращается в среднюю часть сушилки.

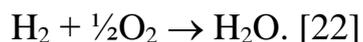
**Второй поток** азота от колонны сушки проходит трубное пространство теплообменника азота (экономайзера), где охлаждается азотом, поступающим от сепаратора в межтрубное пространство теплообменника. Охлажденный таким образом азот подается в нижнюю часть, под слой насадки, колонны промывки. Сверху насадка колонны орошается деминерализованной водой циркуляционного контура колонны. Насадочная колонна представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, состоящий из двух секций промывочной и сепарационной с разделительными решетками. В качестве насадки в промывочной секции используются кольца Паля. Орошение насадки производится через распылитель, создающий мелкодисперсное распыление деминерализованной воды. Для визуального контроля за орошением на колонне предусмотрен смотровой фонарь. В колонне поддерживается давление 70-250 мбар (изб.) за счет гидрозатвора.

Азот, пройдя сепарационную часть колонны промывки, подается в трубное пространство теплообменника, где охлаждается заоложенной водой до температуры  $7-15^{\circ}\text{C}$ . Контроль температуры потока азота, на выходе из теплообменника, осуществляется температурным преобразователем с сигнализацией максимального ( $15^{\circ}\text{C}$ ) значения температуры. Регулирование температуры производится регулирующим клапаном на выходе заоложенной воды из теплообменника. Охлажденный таким образом, азот поступает в водоотделитель, где происходит отделение влаги. Сконденсировавшаяся из азота влага, из сепаратора, сливается в гидрозатвор, а азот, отделившейся от влаги, поступает в межтрубное пространство теплообменника (экономайзера), где нагревается азотом от колоны сушки поз и поступает на всас газодувки.

Для безопасной эксплуатации на линии всаса газодувки установлен предохранительный клапан. При превышении давления на линии нагнетания

газодувки выше 0,6 бар по преобразователю давления происходит остановка электродвигателя газодувки.

Азот с давлением не более 0,45 бар (изб.) и расходом 1100 м<sup>3</sup>/ч поступает в устройство связывания кислорода (каталитический реактор), где происходит очистка азота от возможного присутствия кислорода. Очистка азота производится водородом на палладиевом катализаторе, при этом водород подается в избытке на 0,2÷0,3% , что требуется на следующую реакцию:



Содержание кислорода в азоте на выходе из реактора не должно превышать 3 ppm, что контролируется газоанализатором с сигнализацией максимального содержания, а содержание водорода не более 0,2-0,5 % контролируется газоанализатором с сигнализацией максимального и минимального значения. В случае повышения концентрации водорода в очищенном азоте выше 0,6 % подача водорода автоматически прекращается.

Подача водорода осуществляется в трубопровод азота перед колонной промывки в количестве 0,2-1,2 м<sup>3</sup>/ч, что замеряется ротаметром. При повышении расхода водорода более 1,2 м<sup>3</sup>/ч срабатывают отсекатели – подача водорода автоматически прекращается. Подача водорода так же прекращается при остановке газодувки.

Очищенный таким образом азот поступает на подогреватель, где подогревается до температуры 110-165<sup>0</sup>С паром. Температура азота на выходе из теплообменника измеряется температурным преобразователем, имеющим сигнализацию по максимальному и минимальному значению и регулируется клапаном расположенным на линии подачи пара. Подогретый азот после теплообменника поступает в нижнюю часть сушилки над зоной охлаждения.

Сушилка гранулята представляет собой вертикальный аппарат с коническим днищем. В нижней части колонны встроен трубчатый теплообменник – охладитель. Подача гранулята осуществляется в верхней части колонны сушки от центрифуги. Движение гранулята в аппарате происходит сверху вниз противотоком движущемуся вверх горячему азоту.

Процесс сушки производится при давлении в сушилке 100-220 мбар (изб.), что измеряется преобразователем давления установленным на линии азота от сушилки к колонне. При понижении давления в системе производится автоматическая подпитка азотом  $N_2$  на всасе газодувки. Для поддержания оборудования стадии сушки под давлением азота (для предупреждения попадания кислорода воздуха в систему) предусмотрен гидрозатвор. В качестве затворной жидкости в гидрозатворе предусмотрена деминерализованная вода, которая обеспечивает давление в аппарате не более 0,5 бар (изб.). Контроль уровня затворной жидкости в гидрозатворе производится визуально по месту.

Выгрузка гранулята из колонны сушки осуществляется равномерно при помощи шлюзового питателя. Частота вращения питателя регулируется автоматически в зависимости от показаний датчика уровня установленного в верхней части колонны сушки. Прибор контроля уровня имеет блокировки по минимальному и максимальному значению. При минимальном значении уровня гранулята происходит остановка электропривода устройства дозирования и прекращается выгрузка из колонны сушки. При достижении максимального значения уровня в колонне происходит остановка электропривода насоса системы гидротранспорта стадии экстракции, т.е. прекращение выдачи гранулята со стадии экстракции к центрифуге. Для визуального контроля уровня, колонна сушки оснащена смотровым фонарем, расположенным в верхней части колонны.

Гранулят ПА 6 легко окисляется, особенно при превышении температуры более  $60^{\circ}C$ , по этому нижняя часть сушилки (зона охлаждения) по своей конструкции – уже и длиннее и оснащена встроенным теплообменником - охладителем. В качестве охладителя в межтрубное пространство теплообменника подается обратная вода. Для безопасной эксплуатации теплообменника на трубопроводе обратной воды после теплообменника установлен предохранительный клапан давления (6,5 бар). Таким образом, осушенный гранулят полиамида перед выдачей в промежуточную ёмкость гранулята, охлаждается в зоне охлаждения сушилки до температуры  $50^{\circ}C$ , что

контролируется температурным преобразователем, имеющим блокировку по максимальному значению параметра, при срабатывании которой происходит остановка электропривода устройства дозирования с прекращением выдачи гранулята из колонны сушки в промежуточную емкость.[23]

Охлаждённый гранулят с температурой не более 50<sup>0</sup> С из сушилки подаётся в промежуточную емкость гранулята через устройство дозирования гранулята. Емкость предназначена для равномерной выдачи гранулята на стадию транспортировки и хранения готовой продукции при помощи транспортного устройства. Контроль уровня гранулята в промежуточной ёмкости осуществляется уровнемером предельного типа с блокировкой минимального уровня, при достижении которого происходит прекращение выдачи гранулята на стадию, и максимального уровня, при достижении которого происходит остановка электропривода дозирующего устройства и прекращение приёма гранулята в промежуточную ёмкость.

Из промежуточной ёмкости гранулята кондиционный гранулят полиамида ПА 6 в среде азота выдаётся на стадию транспортировки, хранения и расфасовки гранулята.

### **1.7 Недостатки технологии**

Рассмотренная технология получения гранулята полиамида-6 основанная на гидролитической полимеризации жидкого капролактама с последующей подводной грануляцией полученного полимера является основой на производстве ОАО «КуйбышевАзот». Несмотря на то что, что при этой технологии происходит почти полное использование сырья (капролактама(99%)),некоторые стадии требуют дальнейшего совершенствования. В частности, на производстве образуется значительное количество побочных и не переработанных производственных отходов, ввиду износа оборудования гранулирования; во время пусковых операций на установке; некачественного сырья; выходов из технологического режима стадии полимеризации.

Виды и нормы образования ТПО приведены в таблице А.1 (см. Приложение А)

В данном дипломном проекте на основании литературных и патентных данных предложена технология переработки ТПО с целью возврата перерабатываемого материала в основное производство ПА-6. Твердые производственные отходы перерабатываются, используя одну из запатентованных конструкций экструдера. В итоге в существующих технологиях ПА – 6 можно получить значительный экономический эффект.

## 2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Общие сведения о процессе экструзии

Экструзию (шприцевание, выдавливание) применяют для крашения и формования из термо- и реактопластов различных длинномерных изделий-волокон, пленок, листов, труб, профилей разнообразного поперечного сечения. Переработка термопластов осуществляется на поршневых и винтовых машинах (экструдерах) путем выдавливания материала, переведенного в нагревательном цилиндре экструдера в вязкотекучее состояние, через формообразующую головку проходного типа (рис. 2.1). Выходящее из головки изделие охлаждается, отводится тянущим устройством и сматывается в бухты или разрезается на отрезки необходимой длины. Скорость отвода изделия больше скорости выхода из головки, тогда происходит ориентация материала в направлении оси изделия. С помощью специальных устройств возможна поперечная ориентация материала. Методом экструзии можно также наносить на провода и кабели полимерную изоляцию.[24]

Экструзию термопластов можно совмещать с другими методами формования, например, раздуванием (экструзионно-раздувное формование), в результате чего из экструдирования заготовки получают крупногабаритные тонкостенные полые изделия.[25]

В основном для экструзии пластмасс применяют шнековые, или червячные, экструдеры. Также существуют дисковые экструдеры. Для успешного производства продукции методом экструзии недостаточно только одного экструдера. Кроме него необходимо иметь еще несколько единиц оборудования, вместе составляющих экструзионную линию. Кроме того, существуют выдувные экструдеры, которые применяются в установках по получению изделий методом экструзионно-выдувного формования. Практически не встречаются экструдеры с вертикальными шнеками.

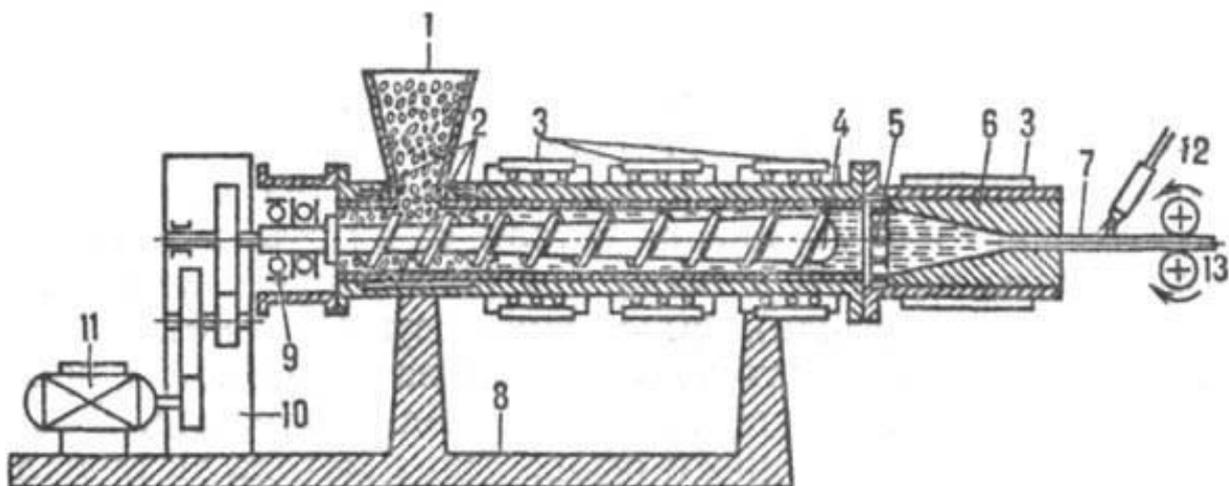


Рисунок 2.1 - Винтовой экструдер:

- 1 - бункер для материала; 2 - каналы охлаждения; 3 - нагревательные элементы;  
 4-винт (шнек); 5-сетка; 6 - формообразующая головка; 7-изделие;  
 8-станина экструдера; 9-узел подшипников; 10-редуктор;  
 11-электродвигатель привода; 12-форсунка для охлаждения изделия;  
 13-тянущее устройство[26]

## 2.2 Описание предлагаемой технологической схемы

Настоящая установка предназначена для переработки твердых производственных отходов как блестящего гранулята, так и гранулята с добавкой диоксида титана ( $TiO_2$ ).

ТПО от сепараторов на стадии гранулирования направляется в накопительный бункер узла переработки. Накопительный бункер представляет собой вертикально установленную емкость с коническим дном объемом  $8\text{ м}^3$ . Контроль за уровнем в аппарате осуществляется уровнемером, имеющим сигнализацию по максимальному и минимальному значению, а так же блокировку по максимальному значению при срабатывании которой происходит отключение электропривода дозатора и прекращение подачи гранулята в накопительный бункер. Для исключения контакта гранулята с кислородом воздуха в бункер подается азот. Контроль за давлением в емкости осуществляется измерительным преобразователем давления, имеющим сигнализацию по минимальному и максимальному значениям, а так же

блокировку по максимальному значению при срабатывании которой происходит закрытие клапана установленного на линии подачи азота в емкость. Избыток давления азота отводится через гидрозатвор в атмосферу.

Из накопительного бункера гранулят поступает в промежуточную емкость. Промежуточная емкость представляет собой вертикально установленную емкость с коническим днищем объемом 0,88м<sup>3</sup>. В верхней части аппарата установлен датчик уровня, имеющий сигнализацию и блокировку, по максимальному значению при срабатывании которой, происходит закрытие клапана установленного на линии подачи гранулята в емкость. В нижней части аппарата также установлен датчик минимального значения уровня имеющим сигнализацию и блокировку, по минимальному значению при срабатывании которой происходит открытие клапана.[27]

ТПО из промежуточного бункера поступает в загрузочную зону экструдера, где расплавляется и перемешивается, с последующей выдачей в расплавопровод перед подачей на стадию гранулирования.

Для предотвращения попадания воздуха и влаги в устройство экструдер подается азот.

Экструдер включает электродвигатель-инвертор с принудительным охлаждением, редуктор с ременной передачей со встроенным теплообменником для охлаждения смазочного масла, в который подается деминерализованная вода для охлаждения. К редуктору крепится корпус экструдера с размещенным в нем цилиндром и двумя шнеками.

Рабочая пара цилиндр-шнек, предназначенная для транспортирования, расплавления и гомогенизации полимера, изготовлена из специальной износостойкой стали. Обогрев цилиндра осуществляется охватывающими его электронагревателями ленточного типа. Поверхность нагрева разделена на температурные зоны. Экструдер работает при температуре 245-265<sup>0</sup>С, необходимой для достижения однородного жидкого потока полимера. Указанная температура полимера достигается и поддерживается во время работы расположенными на поверхности экструдера электрическими

нагревателями. Контроль за температурой расплава в экструдере осуществляется преобразователем температуры, имеющим сигнализацию по низкому значению. Для каждой зоны нагрева температурные режимы контролируются и автоматически поддерживаются от термоэлектрических преобразователей, установленных в нагревателях этих зон. При достижении критической температуры 265 °С на любой из зон нагрева выключается ТЭН данной зоны и срабатывает сигнализация на ЦПУ. Съем избыточного тепла с ТЭНов осуществляется водяным охлаждением. В качестве охлаждающей жидкости используется охлаждающая вода ВОЦ.

Шнек, как орган транспортирования, расплавления, уплотнения и гомогенизации полимера, по всей длине разделен на питающую зону, компрессионную и зону нагнетания. ТПО, поступающие от дозатора в питающую зону экструдера, расположенную со стороны привода шнека, захватывается шнеком и транспортируется в зону расплава, где осуществляется расплав ТПО и дальнейшее перемешивание. Полученный расплав с экструдера разделяется на два потока и по обогреваемому трубопроводу поступает на всасывающих насосов соответствующей линии А или В. Давление на всасывающих насосов контролируется преобразователем давления, имеющим сигнализацию по максимальному и минимальному значениям, а так же блокировку по максимальному значению при срабатывании которой происходит отключение электропривода экструдера. Давление поддерживается автоматически и регулируется количеством оборотов, частотно регулируемым приводом (ЧРП) экструдера. Для предотвращения окисления расплава с кислородом воздуха в загрузочную зону экструдера подается азот. Дозирование кондиционированного расплава от экструдера осуществляется при помощи насосов в трубопроводы плава непосредственно перед гранулированием. Давление на нагнетании насоса измеряется преобразователями давления для насосов, имеющим сигнализацию по максимальному и минимальному значению, а так же блокировку по максимальному значению при срабатывании которой происходит отключение электродвигателя насоса и экструдера.[28]

### 2.3 Основные параметры технологического процесса

Основой являются параметры качества полимера на выходе после процесса экструзии. Для выполнения всех требований предъявляемых к качеству продукции существует ряд необходимых требований. К ним относятся: температура цилиндров экструдера, расход твердых производственных отходов, время расплавления. Для задания этих параметров обслуживающий персонал будет совершать отбор пробы полимера на выходе из экструдера для отдела технического контроля (ОТК). Так же в процессе экструзии участвует очищенный азот, который подается в экструдер. Азот, проходя весь экструдер, создает азотную подушку, которая исключает контакт полимера с воздухом и предотвращает его окисление. Из экструдера азот выходит по линии дыхания в гидрозатвор с парами капролактама.

Аппаратурное оформление процесса приведено в таблице 2.1

Таблица 2.1 - Аппаратурное оформление процесса

Наименование оборудования	Кол-во	Техническая характеристика
1 Сборник хранения твердых производственных отходов	1	Вертикальный цельносварной аппарат с коническим днищем. Габариты: $D_{вн}=1800$ мм, $H_{общ}=3829$ мм, $V=6$ м <sup>3</sup> ; Среда: Гранулят ПА – 6; $T_{раб}=100$ °С; $T_{расч}=100$ °С; $P_{раб}=0,5$ кгс/см <sup>2</sup> ; $P_{расч}=0,05/0,5$ кгс/см <sup>2</sup> ; Масса единицы = 2920 кг
2 Экструдер	1	Габариты: $H=2100$ мм, $L_{общ}=4200$ мм

Продолжение таблицы 2.1

Наименование оборудования	Кол-во	Техническая характеристика
3 Предварительная емкость	1	Вертикальный цельносварной аппарат с коническим днищем Габариты: $D_{вн} = 1000$ мм, $H_{общ} = 1905$ мм, $V = 0.88$ м <sup>3</sup> ; Среда: гранулят ПА 6; $T_{раб} = 50$ °С; $T_{расч} = 100$ °С; $P_{раб} = 0,35$ ; $P_{расч} = -1/0,5$ кгс/см <sup>2</sup> ; Масса единицы = 400 кг
4 Гидрозатвор	1	Вертикальный цельносварной аппарат с эллиптическим днищем Габариты: $D_{вн} = 400$ мм, $L_{общ} = 1372$ мм, $V = 0.066$ м <sup>3</sup> ; Среда: Вода ; $T_{раб} = 10 \div 50$ °С $T_{расч} = 60$ °С; $P_{раб} = атм$ ; $P_{расч} = 0,5$ кгс/см <sup>2</sup> ; Масса единицы = 81 кг
5 Дозировочный насос	1	Производительность = 150 кг/час расчетная = 175 кг/час; $n = 117$ об/мин; Среда – расплав полиамида; $T_{качания} = 250$ °С; $T_{затвердевания} = 220$ °С; $P_{всаса} = 3,0$ кгс/см <sup>2</sup>

Контроль производства и управления процессом приведен в таблице Б.1 (см. Приложение Б)

Нормы технологического режима и система их контроля позволяет получить на выходе со стадии, продукт с заданными показателями по качественным характеристикам.

### 3 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1 Материальный баланс стадии полимеризации и грануляции

Исходные данные для расчета материального баланса представлены в таблице 3.1

Таблица 3.1 - Исходные данные для расчета материального баланса стадии [29]

Перечень исходных данных	Обозначение	Производительность
1 Производительность по расплаву полиамида	$P_{p-в\ пол-да}$	150 тн/сут
2 Концентрация экстрагируемых веществ	$C_{экстр}$	11% масс.
3 Концентрация непрореагировавшего	$C_{непр}$	8,5% масс; 2,5% масс.
4 Подача уксусной кислоты	$Q_{укс.к-ты}$	0,07% (от массы полимера)
5 Концентрация уксусной кислоты	$C_{укс\ к.ты}$	50% масс.
6 Расход деминерализованной воды	$G_{дем.в.}$	200 л/ч
7 Концентрация лактам-воды	$C_{лак.в.}$	78% масс.

Расчет:

Стадия полимеризации, состоит из трех основных этапов: смешение или предполимеризация, где происходит реакция гидролиза капролактама при 220°C, полиприсоединение и, наконец, поликонденсация. Процесс полимеризации капролактама осуществляется в трех последовательно расположенных аппаратах, каждый аппарат соответствует определенной стадии полимеризации. Материальный баланс рассчитывается исходя из того, как если бы вся полимеризация происходила в одном аппарате, т.к. деление стадий

сугубо условное, и, естественно, что все они протекают как последовательно, так и параллельно в каждом аппарате. Например, стабилизация полимера уксусной кислотой, как принято считать, происходит в третьем по счету аппарате, хотя дозируется кислота еще на раннем этапе, и нельзя не допускать, что взаимодействие кислоты и расплава полиамида происходит еще на ранней стадии.[30]

Материальные потоки на входе в зону полимеризации: лактам свежий, лактам-вода, вода деминерализованная, уксусная кислота. Материальные потоки на выходе из зоны реакции: расплав полимера, вода, выделившаяся в результате поликонденсации, вода непрореагировавшая.

1 Расчет производительности линии, выраженной в кг/ч.[31]

$$P_{\text{лин}} = \frac{P_{\text{р-в пол-да}} \cdot m}{\tau}, \quad (3.1)$$

где  $P_{\text{р-в пол-да}}$  - производительность по расплаву полиамида, кг/ч;

$m$  – масса продукта, кг/ч;

$\tau$  - число рабочего времени.

$$P_{\text{лин}} = \frac{150 \cdot 1000}{24} = 6250 \text{ кг/ч.}$$

Значение производительности принимается как массовый поток полимера. При расчете не следует забывать про то, что полимер на выходе из реактора поликонденсации содержит не только целевой продукт, но и непрореагировавший лактам, а также небольшое количество олигомеров, димеров, тримеров, то есть низкомолекулярных продуктов смеси (НМС).[32] Зная их концентрацию, а она равна 8,5% и 2,5% соответственно, рассчитывается их количество:

2 Масса непрореагировавшего лактама:

$$G_{\text{непр.л-ма}} = G_{\text{пол-ра}} \cdot C_{\text{непр.л-ма}}, \quad (3.2)$$

где  $G_{пол-ра}$  - массовый поток полимера;

$C_{непр.л-ма8,5\%}$  - концентрация непрореагировавшего лактама с НМС 8,5 %.

$$G_{непр.л-ма} = 6250 \cdot 0,085 = 531,250 \text{ кг/ч.}$$

3 Расчет массы НМС и выход продукта:

$$G_{НМС} = G_{пол-ра} \cdot C_{непр.л-ма2,5\%}, \quad (3.3)$$

где  $C_{непр.л-ма2,5\%}$  - концентрация непрореагировавшего лактама с НМС.

$$G_{НМС} = 6250 \cdot 0,025 = 156,250 \text{ кг/ч.}$$

а выход составит[33]:

$$\eta_{пр-ма} = 100\% - (C_{непр.л-ма8,5\%} + C_{непр.л-ма2,5\%}), \quad (3.4)$$

$$\eta_{пр-ма} = 100\% - (8,5\% + 2,5\%) = 89\%.$$

4 Расчет массы полиамида в полимере:

$$G_{пол-да} = G_{пол-ра} + \eta_{пр-ма}, \quad (3.5)$$

где  $\eta_{пр-ма}$  - выход продукта.

$$G_{пол-да} = 6250 + 0,89 = 5562,500 \text{ кг/ч.}$$

5 Расчет степени превращения капролактама[34]:

$$x_{к-ма} = \frac{G_{пол-ра} \cdot G_{пол-да}}{G_{пол-ра}}, \quad (3.6)$$

где  $C_{пол-да}$  - масса полиамида в полимере.

$$x_{к-ма} = \frac{6250 \cdot 5562,500}{6250} = 0,915 \text{ кг/моль.}$$

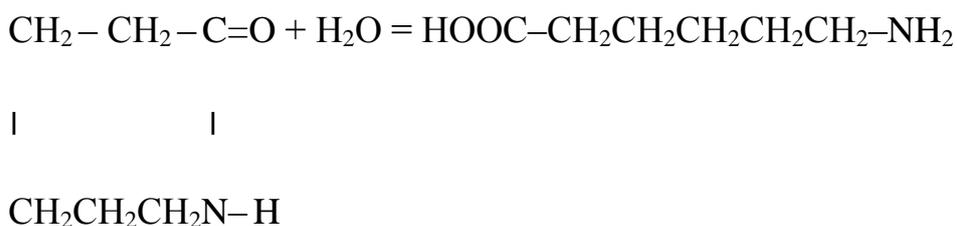
6 Массовый расход прореагировавшего капролактама будет состоять из лактама, пошедшего на главный продукт, и лактама, пошедшего на образование НМС:

$$G_{\text{пр.л-ма}} = G_{\text{пол-ра}} - G_{\text{непр.л-ма}}, \quad (3.7)$$

где  $G_{\text{непр.л-ма}}$  - масса непрореагировавшего лактама.

$$G_{\text{пр.л-ма}} = 6250 - 531,250 = 5718,750 \text{ кг/ч}$$

Но это не совсем точное значение. Следуя из принципа сохранения вещества, необходимо учесть, что в массу полимерной смеси также входит прореагировавшая вода в реакции гидролиза капролактама за вычетом воды, высвободившейся в результате поликонденсации, так как молекулы воды входят в структурную формулу полимера[35]:



7 Из соотношения «кислота:полимер» находится расход кислоты с концентрацией 50%, пошедшей на стабилизацию:

$$G_{\text{к-та стаб.}} = \frac{Q_{\text{укс.к-ты}}}{100} \cdot G_{\text{пол-ра}}, \quad (3.8)$$

где  $Q_{\text{укс.к-ты}}$  - подача уксусной кислоты.

$$G_{\text{к-та стаб.}} = \frac{0,07}{100} \cdot 6250 = 4,375 \text{ кг/ч}$$

Расход кислоты чистой:

$$G_{\text{к-та чист.}} = \frac{G_{\text{к-та стаб.}}}{50} \cdot 100, \quad (3.9)$$

где  $G_{к-та\ стаб.}$  - массовый расход кислоты, пошедшей на стабилизацию.

$$G_{к-та\ чист.} = \frac{4,375}{50} \cdot 100 = 2,1875 \text{ кг/ч},$$

соответственно: 2,1875 кг/ч – массовый расход воды, поступившей с кислотой.

8 Всё количество реагировавшего капролактама условно делится на два потока – свежий лактам, и лактам выпаренный (с установки выпаривания лактамных вод):

$5718,750/2 = 2859,375$  кг/ч – свежего лактама прореагировавшего;

2859,375 кг/ч – выпаренного лактама.

Но, учитывая, что есть и непрореагировавший лактам, его количество

добавляется к массе

исходного свежего

$$G_{исх.св.л-м} = G_{непр.л-ма} + G_{св.л-м\ прореаг.}$$

капролактама:

(3.10)

где  $G_{св.л-м\ прореаг.}$  - расход свежего лактама прореагировавшего.

$$G_{исх.св.л-м} = 531,250 + 2859,375 = 3390,625 \text{ кг/ч}.$$

Тогда, учитывая концентрацию 78% масс, количество лактам воды составит:

$$G_{л.в.} = \frac{G_{св.л-м\ прореаг.}}{C_{л.вода}}, \quad (3.11)$$

где  $C_{л.вода}$  - концентрация лактам воды.

$$G_{л.в.} = \frac{2859,375}{0,78} = 3665,865 \text{ кг/ч}.$$

Вода, поступившая с капролактамом, составит:

$$G_{\text{капр.в.}} = G_{\text{л.вода}} - G_{\text{св.л-м прореаз}}, \quad (3.12)$$

$$G_{\text{капр.в.}} = 3665,865 - 2859,375 = 806,490 \text{ кг/ч.}$$

9 Расход воды, участвующей в реакции гидролиза, рассчитывается, взяв за основу количества лактама, участвующего в реакции, равным 5718,750 кг/ч:

$$M(C_6H_{11}NO) = 113 \text{ кг/кмоль}$$

$$n = 5718,75/113 = 50,608 \text{ кмоль}$$

$$M(H_2O) = 18 \text{ кг/кмоль}$$

Количество воды:

$$G_{\text{прореаз.}} = N_{\text{реак.в.}} \cdot M_{H_2O}, \quad (3.13)$$

где  $N_{\text{реак.в.}}$  - количество воды участвующей в гидролизе;

$M_{H_2O}$  - молярная масса воды.

$$G_{\text{прореаз.}} = 50,608 \cdot 18 = 910,95 \text{ кг/ч.}$$

10 Масса воды, поступившая в реактор (деминерализованная, с кислотой, с лактамом):

$$G_{\text{реак.в.}} = G_{\text{дем.в.}} + G_{\text{кисл.в.}} + G_{\text{капр.в.}}, \quad (3.14)$$

где  $G_{\text{дем.в.}}$  - расход деминерализованной воды;

$G_{\text{кисл.в.}}$  - массовый расход воды, поступившей с кислотой;

$G_{\text{капр.в.}}$  - вода, поступившая с капролактамом.

$$G_{\text{реак.в.}} = 200 + 2,1875 + 806,490 = 1008,678 \text{ кг/ч.}$$

11 Количество воды, оставшейся после полимеризации:

$$G_{\text{полим-ая в.}} = G_{\text{реак.в.}} + G_{\text{прореаз.}}, \quad (3.15)$$

где  $G_{реак.в.}$  - массовый поток воды, поступившей в реактор;

$G_{прореаг.в.}$  - расход воды, участвующей в гидролизе.

$$G_{полимер-ая в.} = 1008,678 - 910,950 = 97,727 \text{ кг/ч.}$$

Расчет массы воды, выделившейся в результате реакции поликонденсации: суммируются материальные потоки статей расхода, и вычитаются из них статьи прихода:

$$G_{полимер-ая в.} = (G_{св.л-м прореаг} + G_{исх.св.л-м} + G_{капр.вода} + G_{к-та чист.} + G_{кисл.в.}) - (G_{полимер-ая в.} + G_{пол-ра}), \quad (3.16)$$

где  $G_{св.л-м прореаг.}$  - массовый поток свежего выпаренного лактама;

$G_{исх.св.л-м}$  - массовый поток исходного свежего лактама;

$G_{полимер-ая в.}$  - масса воды, которая осталась после полимеризации.

$$G_{полимер-ая в.} = 2859,375 + 3390,625 + 806,490 + 2,1875 \cdot 2 - (6250 + 97,728) = 913,137 \text{ кг/ч.}$$

Для расчета массы воды, оставшейся в составе полимера необходимо из количества воды, выделившейся в поликонденсации вычесть количество воды, прореагировавшей в гидролизе:

$$G_{гидрв.} = G_{полимер-ая в.} - G_{прореаг.в.}, \quad (3.17)$$

где  $G_{полимер-ая в.}$  - масса воды, которая выделилась в поликонденсации.

$$G_{гидрв.} = 913,137 - 910,95 = 2,187 \text{ кг/ч.}$$

12 Найдем реальный расход капролактама, зашедшего в реактор полимеризации:

$$G_{р.р-д кап-ма.} = G_{пол-ра} - (G_{к-та чист.} + G_{кисл.в.}), \quad (3.18)$$

$$G_{р.р-д кап-ма.} = 6250 - (2,1875 + 2,1875) = 6245,625 \text{ кг/ч.}$$

13 Тогда реальное количество свежего лактама составит:

$$G_{p.кол-во\ кап-ма.} = G_{p.p-д\ кап-ма.} - G_{вып.\ л-м}, \quad (3.19)$$

где  $G_{вып.\ л-м}$  - массовый поток выпаренного лактама;

$G_{p.p-д\ кап-ма}$  - реальный расход капролактама.

$$G_{p.кол-во\ кап-ма.} = 6245,625 - 2859,375 = 3386,25 \text{ кг/ч.}$$

14 Теперь находится реальное количество воды, оставшейся после реакции в свободном виде и не входящей в состав полимера. В пункте 8 два материальных потока были условно разделены на поток капролактама (в реальности так и происходит): свежий капролактама и выпаренный (причем расход лактама в этом потоке регулируется исходя из нагрузки на стадии выпарки лактамных вод). Массовый поток свежего капролактама составил 3390,625 кг/ч и количество оставшейся воды мы высчитывали, исходя из этого значения, соответственно значение количества воды, оставшейся в зоне полимеризации, тоже посчитано приближенно. Теперь, зная реальные цифры расхода свежего лактама, находится масса воды, оставшейся после реакции, т.к. вода, пошедшая на реакцию гидролиза, осталась неизменной, изменилось лишь количество свежего лактама:

$$G_{св.\ л-м} = G_{исх.\ св.\ л-м} - G_{p.кол-во\ св.\ кап-ма.}, \quad (3.20)$$

где  $G_{исх.\ св.\ л-м}$  - массовый поток исходного свежего лактама;

$G_{p.кол-во\ св.\ кап-ма}$  - реальное количество свежего лактама.

$$G_{св.\ л-м} = 3390,625 - 3386,250 = 4,375 \text{ кг/ч.}$$

Реальное количество воды, оставшееся в полимеризаторе:

$$G_{p.в.ост.} = G_{полим-ая\ в.} + G_{св.\ л-м}, \quad (3.21)$$

где  $G_{св.л.м.}$  - реальное количество свежего лактама.

$$G_{р.в.ост.} = 97,727 + 4,375 = 102,102 \text{ кг/ч,}$$

Полученные данные сведем в таблицу материального баланса для узла полимеризации.

Таблица 3.2 Материальный баланс стадии полимеризации и гранулирования.

Статьи прихода			Статьи расхода		
Потоки	кг/ч	масс %	Потоки	кг/ч	масс%
Капролактама свежий	3390,250	46,637	Капролактама	531,250	7,137
Выпаренный капролактама	2859,375	40,758	НМС (димеры, мономеры)	156,250	2,152
Вода с капролактамом	806,490	11,107	Полиамид-6	5562,50	76,609
Деминерализованная вода	200,00	2,754	Вода из процесса	5562,50	76,609
Уксусная кислота	2,185	0,03013	Вода, оставшаяся в реакции	913,137	12,576
Вода с уксусной кислотой	2,185	0,03013		102,102	1,406
Итого:	7260,865	100	Итого:	7260,865	100

### 3.2 Расчет теплового баланса стадии полимеризации и подводного гранулирования

Поскольку реакции, протекающие во всех трех реакторах, могут идти как последовательно, так и параллельно, и нельзя точно предположить, в какой степени та или иная реакция доминирует в данном аппарате, энергетический баланс узла полимеризации мы будем считать интегрировано, не разбивая стадию на участки, в точности, как и материальный баланс.

Уравнение материального баланса для узла полимеризации[36]:

$$\sum Q_{\phi} + \sum Q_x + Q_{p.менл.} = \sum Q'_{\phi} + Q_{ном.} + Q_{в.исп.}, \quad (3.22)$$

где  $\sum Q_{\phi}$  – физическое тепло реагентов, МДж/ч;

$\sum Q_x$  – теплота реакции (теплота полимеризации), МДж/ч;

$Q_{p.менл.}$  – тепло, отданное теплоносителем (снятое хладагентом), МДж/ч;

$\sum Q'_{\phi}$  – физическое тепло продуктов реакции, МДж/ч;

$Q_{ном.}$  – теплопотери, МДж/ч;

$Q_{в.исп.}$  – тепло, отведенное за счет испарения воды, МДж/ч.

1 Расчет физического тепла реагентов, по формуле:

$$Q_{\phi} = G \cdot c \cdot T, \quad (3.23)$$

где  $G$  – массовые потоки, кг/ч;

$c$  – удельные теплоемкости веществ, кДж/кг·К;

$T$  – абсолютная температура веществ, К.

Массовые потоки берутся из таблицы материального баланса.

Необходимы значения теплоемкостей каждого из реагирующих веществ. Температура реагентов на входе в реактор равна 100°C, исходя из справочных данных теплоемкость для всех материальных потоков[37]:

Капролактамы (расплав):  $c_{p-в\ к-м} = 2,264$  кДж/кг-К;

Капролактамы (раствор) для концентрации 80%:  $c_{p-р\ к-м\ 80\%} = 3,500$  кДж/кг-К;

Капролактамы (раствор) для концентрации 60%:  $c_{p-р\ к-м\ 60\%} = 3,765$  кДж/кг-К.

Обычной аналитической экстраполяцией находится теплоемкость для концентрации 78%[38]:

$$c(78\%) = c_{p-р\ к-м\ 60\%} - \frac{(c_{p-р\ к-м\ 80\%} - c_{p-р\ к-м\ 60\%}) \cdot (C_{к.р-ра\ 78\%} - C_{к.р-ра\ 60\%})}{(C_{к.р-ра\ 80\%} - C_{к.р-ра\ 60\%})}, \quad (3.24)$$

где  $C_{к.р-ра\ 78\%}$  - концентрация раствора равная 78%;

$C_{к.р-ра\ 60\%}$  - концентрация раствора равная 60%;

$C_{к.р-ра\ 80\%}$  - концентрация раствора равная 80%.

$$c(78\%) = 3,765 - \frac{(3,500 - 3,765) \cdot (78 - 60)}{(80 - 60)} = 3,527 \text{ кДж/кг} - \text{К}.$$

Для нахождения физического тепла реагентов необходимы следующие справочные данные[39]:

Вода:  $c_в = 4,180$  кДж/кг-К;

Уксусная кислота (ледяная):  $c_{ук.100\%} = 2,016$  кДж/кг-К;

Уксусная кислота (конц.50%):  $c_{ук.50\%} = c_{ук.100\%} \cdot 0,5 + c_в \cdot 0,5$

$$c_{ук.50\%} = 2,016 \cdot 0,5 + 4,180 \cdot 0,5 = 3,098 \text{ кДж/кг} - \text{К}.$$

Абсолютная температура реагентов  $T = 273 + 100 = 373\text{К}$

Формула для нахождения физического тепла реагентов:

$$Q_{\text{ф.}} = G_{\text{к.св.}} \cdot C_{\text{к.р-ра}} \cdot T \cdot 1000, \quad (3.25)$$

где  $G_{\text{к.св.}}$  - массовый расход воды (лактам, деминерализованной);

$C_{\text{к.р-ра}}$  - теплоемкость материального потока;

$T$  - абсолютная температура реагентов.

Исходя из формулы 3.25 рассчитывается физическое тепло свежего капролактама:

$$Q_{\text{ф.св.к-м.}} = 3386,865 \cdot 2,264 \cdot 373 \cdot 1000 = 766,646 \text{ МДж/ч.}$$

Исходя из формулы 3.25, рассчитывается физическое тепло лактамной воды:

$$Q_{\text{ф.лакт.в.}} = 3386,865 \cdot 3,527 \cdot 373 \cdot 1000 = 1294,050 \text{ МДж/ч.}$$

Исходя из формулы 3.25, рассчитывается физическое тепло для воды:

$$Q_{\text{ф.в.}} = 200,000 \cdot 4,180 \cdot 373 \cdot 1000 = 83,600 \text{ МДж/ч.}$$

Исходя из формулы 3.25, рассчитывается физическое тепло для уксусной кислоты:

$$Q_{\text{ф.ук.к-та}} = 34,375 \cdot 3,098 \cdot 373 \cdot 1000 = 1,355 \text{ МДж/ч.}$$

Расчет суммарного физического тепла реагентов:

$$\sum Q_{\text{ф.}} = Q_{\text{ф.св.к-м.}} + Q_{\text{ф.лакт.в.}} + Q_{\text{ф.вод.}} + Q_{\text{ф.ук.к-та}}, \quad (3.26)$$

где  $Q_{\text{ф.св.к-м}}$  - физическое тепло свежего капролактама;

$Q_{\text{ф.лакт.в.}}$  - физическое тепло лактамной воды;

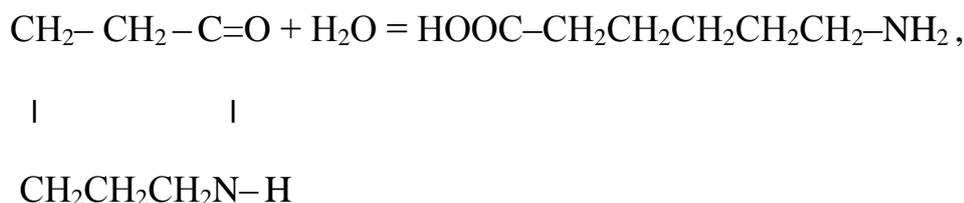
$Q_{\text{ф.в.}}$  - физическое тепло воды;

$Q_{\text{ф.ук.к-та}}$  - физическое тепло уксусной кислоты.

$$\begin{aligned}\sum Q_{\phi} &= 766,646 + 1249,050 + 83,600 + 1,355 = 2145,6512 \text{ МДж/ч} = \\ &= 2145,6512 \cdot 10^6 / 3600 = 0,596 \cdot 10^6 \text{ Вт}.\end{aligned}$$

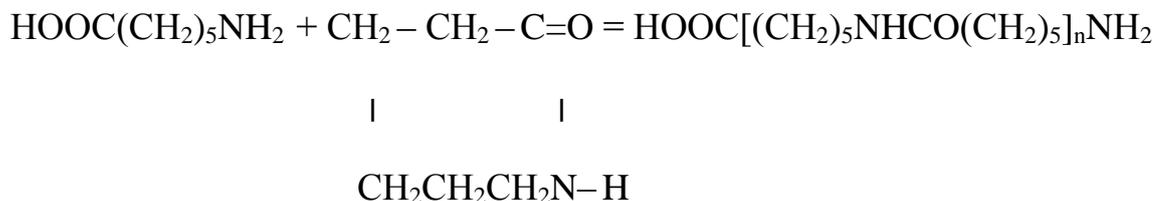
2 Расчет химического эффекта реакции. Реакции, происходящие в зоне полимеризации, имеют три вида: гидролиз, полиприсоединение, поликонденсация. Значения теплоты реакции ( $\Delta H$ ) записаны из справочных данных[40].

а) гидролиз[41]:



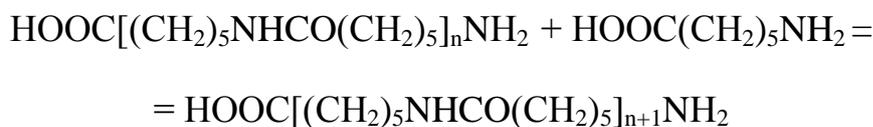
$$\Delta H(\text{гидролиз}) = -0,8 \text{ кДж/моль} = -0,8 \text{ МДж/кмоль};$$

б) полиприсоединение:



$$\Delta H(\text{полиприсоединение}) = -16,9 \text{ кДж/моль};$$

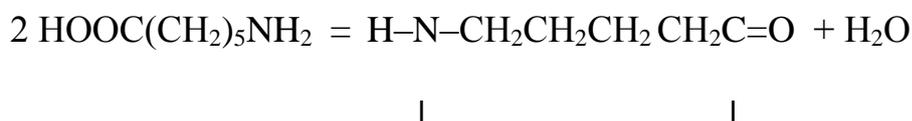
в) поликонденсация[42]:



$$\Delta H(\text{поликонденсация}) = -24,9 \text{ кДж/моль};$$

Также имеет место реакция димеризации низкомолекулярных соединений и капролактама:

г) димеризация[43]:





$\Delta H(\text{димеризации}) = 40,2 \text{ кДж/моль};$

Расчет теплоты для каждой реакции:

$$Q_x = \frac{\Delta H_{\text{гидр-з}} + G_{\text{р.расход кап-ма.}}}{M_{\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO}}}, \quad (3.27)$$

где  $\Delta H_{\text{гидр-з}}$  - значения теплоты для реакции гидролиза, исходя из справочных данных;

$M_{\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO}}$  - молярная масса капролактама.

Исходя из формулы 3.27 рассчитывается химический эффект реакции для реакции гидролиза:

$$Q_{\text{х.гидр-з.}} = \frac{-0,8 \cdot 6245,625}{113} = -44,216 \text{ МДж/ч.}$$

Исходя из формулы 3.27 рассчитывается химический эффект реакции для реакции полиприсоединения:

$$Q_{\text{х.полипр-я}} = \frac{-16,9 \cdot 6245,625}{113 \cdot 2} = 467,040 \text{ МДж/ч.}$$

Исходя из формулы 3.27 рассчитывается химический эффект реакции для реакции поликонденсации:

$$Q_{\text{х.полик-ии}} = \frac{24,9 \cdot 6245,625}{113 \cdot 2} = 688,136 \text{ МДж/ч.}$$

Исходя из формулы 3.27 рассчитывается химический эффект реакции для реакции димеризации:

$$Q_{\text{х.димериз}} = \frac{-40,2 \cdot 156,250}{113 \cdot 2} = -27,799 \text{ МДж/ч.}$$

Суммарный тепловой эффект реакции равен:

$$\sum Q_x = Q_{гидр-з} + Q_{полипр-я} + Q_{полик-и} + Q_{димериз}, \quad (3.28)$$

где  $Q_{x.гидр-з}$  - химический эффект для реакции гидролиза;

$Q_{x.полипр-я}$  - химический эффект для реакции полиприсоединения;

$Q_{x.полик-и}$  - химический эффект для реакции поликонденсации;

$Q_{x.димериз}$  - химический эффект для реакции димеризации.

$$\begin{aligned} \sum Q_x &= 467,040 + 688,136 - 27,799 + 44,216 = 1083,167 \text{ МДж/ч} = \\ &= 1083,167/3600 = 0,301 \cdot 10^6 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

3 Температура в зоне реакции колеблется в районе 220-270°C, давление колеблется от 1 до 2,5 атмосфер. При таком давлении вода кипит при 100°C и 139°C соответственно. Необходимо произвести расчет для нахождения количества теплоты, которое забрала вода при кипении.

$$Q_{воды} = G \cdot c \cdot \Delta T + G \cdot r, \quad (3.29)$$

где  $G$  - количество воды, кг/ч;

$c$  - теплоемкость воды, кДж/кг·К;

$\Delta T$  - разность температур;

$r$  - удельная теплота парообразования при данной температуре, кДж/кг.

Из справочной литературы находится теплота парообразования воды[44]:

$$r_v(0^\circ\text{C}) = 2500 \text{ кДж/кг};$$

$$r_v(100^\circ\text{C}) = 2260 \text{ кДж/кг}.$$

Методом аналитической экстраполяции находится теплота парообразования при 139°C:

$$r(139\%) = r_{e.100C} + \frac{(r_{e.100C} - r_{e.0C}) \cdot (t_{e.139C} - t_{e.0C})}{(t_{e.100C} - t_{e.0C})}, \quad (3.30)$$

где  $t_{e.139C}$  - температура парообразования равная 139<sup>0</sup>С;

$t_{e.0C}$  - температура парообразования равная 0<sup>0</sup>С;

$t_{e.100C}$  - концентрация раствора равная 100<sup>0</sup>С.

$$r(139\%) = 2260 + \frac{(2260 - 2500) \cdot (139 - 0)}{(100 - 0)} = 2160 \text{ кДж/кг} - \text{К}.$$

Теплота, которую уносит вода, испаряясь в реакторе, находят по формуле 3.28:

$$\begin{aligned} Q_{e.исп.} &= 1008,678 \cdot 4,48 \cdot (139 + 2160) = 2343,179 \text{ МДж/ч} = \\ &= 2343 \cdot 10^6 / 3600 = 0,651 \cdot 10^6 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

4 Физическая теплота продуктов реакции (температуру на выходе принимают 240<sup>0</sup>С):

$$Q'_{\phi} = G \cdot c \cdot T, \quad (3.31)$$

где  $G$  – массовые потоки, кг/ч;

$c$  – удельные теплоемкости веществ, кДж/кг-К;

$T$  – абсолютная температура веществ, К.

Расчет физической теплоты для капролактама по формуле 3.30:

$$Q'_{к-м} = 531,250 \cdot 2,264 \cdot 513 \cdot 1000 = 617,011 \text{ МДж/ч}.$$

Расчет физической теплоты для полиамида-6 по формуле 3.30:

$$Q'_{п-д} = 5562,500 \cdot 1,7 \cdot 513 \cdot 1000 = 4851,065 \text{ МДж/ч}.$$

Из справочника теплоемкость полиамида-6 равна 1,7 кДж/кг-К.

Теплоемкость низкомолекулярных соединений, образовавшихся в результате полимеризации примем равной теплоемкости капролактама.

$$Q'_{\text{НМС}} = 156,200 \cdot 2,264 \cdot 513 \cdot 1000 = 181,474 \text{ МДж/ч}.$$

Суммарная физическая теплота продуктов реакции составит:

$$\sum Q'_\phi = Q'_{\text{к-м}} + Q'_{\text{п-д}} + Q'_{\text{НМС}}, \quad (3.32)$$

где  $Q'_{\text{к-м}}$  - физическое тепло капролактама;

$Q'_{\text{п-д}}$  - физическое тепло полиамида-6;

$Q'_{\text{к-м}}$  - физическое тепло НМС.

$$\sum Q'_\phi = 181,474 + 4851,056 + 617,011 = 5649,541 \text{ МДж/ч} = 1,569 \cdot 10^6 \text{ Вт}.$$

5 При расчете теплотери, стоит учитывать, что сумма физического тепла продуктов, теплотеря и теплоты, забранной водой при её кипении и составляют расход тепла. Исходя из этого, записывается уравнение:

$$Q_{\text{тепл.}} = \sum Q'_\phi + Q_{\text{вода}}, \quad (3.33)$$

где  $\sum Q'_\phi$  - суммарное физическое тепло продуктов.

$$Q_{\text{тепл.}} = 5649,541 + 2343,179 = 7992,700 \text{ МДж/ч}.$$

Принимая, что теплотери составляют 5% от суммарного количество тепла, запишем следующее:

$$Q_{\text{пот.}} = 0,05 \cdot Q_{\text{р-д.тепл.}}, \quad (3.34)$$

где  $Q_{\text{тепл.}}$  - расход тепла.

$$Q_{\text{пот.}} = 0,05 \cdot 7992,7 = 420,669 \text{ МДж/ч} = 420 \cdot 10^6 / 3600 \text{ с} = 0,117 \cdot 10^6 \text{ Вт}.$$

Теперь мы можем найти тепло теплоносителя.

6 Запишем уравнение материального баланса и преобразуем его:

$$Q_{\phi.} + \sum Q_{x.} + Q_{p-\partial.менл.} = \sum Q'_{\phi.} + Q_{ном.} + Q_{вод.}, \quad (3.35)$$

$$Q_{менл.} = \sum Q'_{\phi.} + Q_{ном.} + Q_{в.исп.} - \sum Q_{\phi.} - \sum Q_{x.}, \quad (3.36)$$

где  $\sum Q'_{x.}$  - суммарный тепловой эффект реакции.

$$\begin{aligned} Q_{менл.} &= 7992,700 + 420,669 + 2343,179 - 2145,6512 + 1083,167 = \\ &= 5184,551 \cdot 10^6 / 3600 = 1,440 \cdot 10^6 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

Теперь полученные значения сводятся в таблицу энергетического баланса.

Следует учесть то, что в значение тепла теплоносителя входят как тепло, отданное теплоносителем, так и тепло, отданное хладагенту на последней стадии полимеризации.

Расчет теплоты хладагента:

$$Q_{хлад.} = G \cdot c \cdot \Delta t, \quad (3.37)$$

где  $G$  – масса терминола-66, кг/ч;

$c$  – теплоемкость терминола, кДж/кг-К;

$\Delta t$  – разность температур терминола на входе и на выходе в теплообменник реактора поликонденсации, град.

$$G \cdot c \cdot \Delta t = G_{пол-ра.} \cdot c_{плав.} \cdot \Delta t_{плав.}, \quad (3.38)$$

где  $G_{пол-ра.}$  - массовые потоки относительно плава полиамида, выходящего из реактора;

$c_{плав.}$  - теплоемкость относительно плава полиамида, выходящего из реактора;

$\Delta t_{плав.}$  - разность температур относительно плава полиамида, выходящего из реактора.

Теплоемкость терминола (по справочным данным) = 2,67 кДж/кг-К.[45]

$$G_{пол-ра} = 6250 \text{ кг/ч},$$

$$c_{\text{плав}} = 2,10 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К},$$

$$\Delta t_{\text{плав.}} = 261 - 265 = -4^{\circ} \text{C},$$

$$Q_{\text{хлад.}} = 6250 \cdot 2,10 \cdot (-4) = -52,500 \text{ МДж/ч}.$$

Разность температур хладагента:

$$\Delta t = 251 - 258 = -7^{\circ} \text{C},$$

7 Расход теплоносителя:

$$G = \frac{Q_{\text{хлад.}}}{\Delta t \cdot c_{\text{терм.}}}, \quad (3.39)$$

где  $Q_{\text{хлад.}}$  - теплота хладагента;

$c_{\text{терм.}}$  - теплоемкость терминола.

$$G = \frac{-52,500}{-7 \cdot 2,67} = 2808,989/3600 = 0,781 \text{ кг/с}.$$

Теплота, требуемая на нагревание стадии, составит:

$$Q_{\text{г.нагр.}} = Q_{\text{тепл.}} + Q_{\text{хлад.}}, \quad (3.40)$$

где  $Q_{\text{тепл.}}$  - теплота теплоносителя.

$$Q_{\text{г.нагр.}} = 5184,551 + 52,500 = 5237,051 \text{ МДж/ч}.$$

Теплоносителя используется два: парофазный динил (смесь 76,5% дифенилового эфира и 23,5% дифенила,  $T_{\text{кип}} = 257^{\circ}\text{C}$ ) и жидкофазный терминол-66 (смесь трифенилена и додекагидротрифенилена,  $T_{\text{кип}} = 354^{\circ}\text{C}$ )

Из справочных данных теплоемкость динила равна[46]:

$$c(\text{при } 100^{\circ}\text{C}) = 0,45 \text{ кал/кг}\cdot\text{К}$$

$$c(\text{при } 427^{\circ}\text{C}) = 0,69 \text{ кал/кг}\cdot\text{К},$$

также удельная теплота парообразования:

$$r = 301,3 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$$

Средняя температура вычисляется как среднее логарифмическое между начальной и конечной температурой в полимеризации:

$$t_{\text{ср.}} = \frac{t_{\text{нач.}} - t_{\text{кон.}}}{\ln(t_{\text{нач.}} / t_{\text{кон.}})}, \quad (3.41)$$

где  $t_{\text{нач.}}$  - температура начальная;

$t_{\text{кон.}}$  - температура конечная.

$$t_{\text{ср.}} = \frac{270 - 210}{\ln(270 / 210)} = 240^{\circ}\text{C}.$$

Теплоемкость находится методом экстраполяции при  $240^{\circ}\text{C}$ :

$$c(240^{\circ}\text{C}) = c_{\partial-л100^{\circ}\text{C}} + \frac{(c_{\partial-л427^{\circ}\text{C}} - c_{\partial-л100^{\circ}\text{C}}) \cdot (t_{\partial-л1^{\circ}\text{C}} - t_{\partial-л2^{\circ}\text{C}})}{(t_{\partial-л3^{\circ}\text{C}} - t_{\partial-л2^{\circ}\text{C}})}, \quad (3.42)$$

где  $c_{\partial-л1^{\circ}\text{C}}$  - температура парообразования равная  $240^{\circ}\text{C}$ ;

$c_{\partial-л2^{\circ}\text{C}}$  - температура парообразования равная  $100^{\circ}\text{C}$ ;

$c_{\partial-л3^{\circ}\text{C}}$  - концентрация раствора равная  $427^{\circ}\text{C}$ .

$$\begin{aligned} c(240^{\circ}\text{C}) &= 0,45 - \frac{(0,69 - 0,45) \cdot (240 - 100)}{(427 - 100)} = 0,555 \text{ кал/кг} \cdot \text{K} = \\ &= 0,555 \text{ кал/кг} \cdot \text{K} \cdot 4,2 \text{ кДж} = 2,331 \text{ кДж/кг} \cdot \text{K}. \end{aligned}$$

Система обогрева динилом делится на три участка, соответствующего каждому из реакторов. Подается динил в нагревательные элементы.

8 Теплота, требуемая для нагрева реакционной массы до температуры начала реакции от  $100^{\circ}\text{C}$  до  $210^{\circ}\text{C}$  (первый реактор):

$$Q_{\text{дин.1}} = G_{\text{н.в.}} \cdot c_{\text{н.лав.}} \cdot \Delta t_{\text{н.лав.}}, \quad (3.43)$$

где  $Q_{\text{н.в.}}$  - массовый поток смеси (полимер и вода).

$$Q_{\text{дин.1}} = 7620,865 \cdot 2,1 \cdot (210 - 100) = 1760,412 \text{ МДж/ч.}$$

Преобразованное уравнение энергетического баланса для этого участка  
выглядит:

$$Q_{дин1} = G_{дин1} \cdot (c_{дин} \cdot \Delta t_{дин} + r_{дин}). \quad (3.44)$$

Расход динила будет равен:

$$G_{дин} = \frac{Q_{дин1}}{(c_{дин} \cdot \Delta t_{дин1} + r_{дин})}, \quad (3.45)$$

$$G_{дин1} = \frac{1760,412 \cdot 1000}{(301,3 + 2,331 \cdot 14)} = 2396,283 \text{ кг/ч} = 2396,283 / 3600 \text{ с} = 0,666 \text{ кг/с},$$

где  $Q_{дин1}$  - Теплота, требуемая для нагрева реакционной массы до температуры начала реакции;

$c_{дин}$  - теплоемкость динила;

$\Delta t_{дин1}$  - разность температур;

$r$  - удельная теплота парообразования.

9 Теплота, требуемая для разогрева смеси от 210°C до 260°C (второй реактор):

$$Q_{дин2} = G_{н.в.} \cdot c_{плав.} \cdot \Delta t_{плав.}, \quad (3.46)$$

$$Q_{дин2} = 7620,865 \cdot 2,1(260 - 210) = 800,188 \text{ МДж/ч},$$

$$Q_{дин2} = G_{дин2} \cdot (c_{дин} \cdot \Delta t_{дин} + r_{дин}), \quad (3.47)$$

$$G_{дин2} = \frac{Q_{дин2}}{(c_{дин} \cdot \Delta t_{дин} + r_{дин})}, \quad (3.48)$$

где  $Q_{дин2}$  - теплота, требуемая для разогрева смеси, во втором реакторе.

$$G_{дин2} = \frac{800,188}{(301,3 + 2,331 \cdot 14)} = 2396,283 \text{ кг/ч} = 2396,283 / 3600 \text{ с} = 0,666 \text{ кг/с}.$$

10 Теплота, требуемая для поддержания динилом температуры смеси в районе 274°C (третий по ходу реактор):

$$Q_{дин3} = G_{пол-ра} \cdot c_{плав.} \cdot \Delta t_{плав.}, \quad (3.49)$$

При расчете учитывается, уменьшение массового потока смеси на количество выкипевшей в первых двух реакторах воды:

$$Q_{дин3} = 6250 \cdot 2,1(274 - 260) = 183,750 \text{ МДж/ч},$$

$$Q_{дин3} = G_{дин3} \cdot (c_{дин.} \cdot \Delta t_{дин.} + r_{дин.}), \quad (3.50)$$

$$G_{дин3} = Q_{дин3} \cdot (c_{дин.} \cdot \Delta t_{дин.} + r_{дин.}), \quad (3.51)$$

где  $Q_{дин3}$  - теплота, требуемая для поддержания динилом температуры смеси в третьем реакторе.

$$G_{дин3} = \frac{183,750 \cdot 1000}{(301,3 + 2,331 \cdot 14)} = 550,265 \text{ кг/ч} = 550,265 / 3600 \text{ с} = 0,153 \text{ кг/с}.$$

11 Расчет суммарного расхода динила на стадию и суммарное тепло динила:

$$\sum G_{с.дин.} = G_{дин1.} + G_{дин2} + G_{дин3}, \quad (3.52)$$

где  $G_{дин1}$ ,  $G_{дин2}$ ,  $G_{дин3}$  - массовые потоки динила, для каждого реактора.

$$\sum G_{дин.} = 0,153 + 0,666 + 1,468 = 2,287 \text{ кг/с},$$

$$\sum Q_{дин.} = Q_{дин1.} + Q_{дин2} + Q_{дин3}, \quad (3.53)$$

$$\sum Q_{дин.} = 183,750 + 800,188 + 1760,412 = 2744,35 \text{ МДж/ч}.$$

12 Найдем расход терминола-66.

$$Q_{тепл.} = Q_{терм.} + Q_{дин.}, \quad (3.54)$$

$$Q_{терм.} = Q_{тепл.} - \sum Q_{дин.}, \quad (3.55)$$

$$Q_{терм.} = 5237,051 + 2744,350 = 2492,701 \text{ МДж/ч}.$$

Обогрев терминолом делиться на четыре замкнутых цикла – четыре зоны обогрева. К тому же терминол используется еще и на обогрев динила до

температуры кипения и превращения его в паровую фазу. Найдем количество тепла, приходящееся на каждые из контуров.

13 Первый контур обогрева: температуру смеси нужно держать от 255°С до 260°С.

$$Q_{тер1} = G_{н.в.} \cdot c_{плав.} \cdot \Delta t_{плав.}, \quad (3.56)$$

$$Q_{тер1} = 7620,865 \cdot 2,10 \cdot (260 - 255) = 240,057 \text{ МДж/ч.}$$

Расход теплоносителя составит:

$$G_{тер1} = \frac{Q_{тер1}}{c_{плав.} \cdot \Delta t_{плав.}}, \quad (3.57)$$

где  $Q_{тер1}$ -теплота для первого контура обогрева;

$$\Delta t_{плав.} = 280 - 260 = 20^\circ\text{C.}$$

$$G_{тер1} = \frac{240,057}{2,67 \cdot 20} = 4348 \text{ кг/ч} = 4348 / 3600 \text{ с} = 1,210 \text{ кг/с.}$$

Второй контур обогрева:

$$Q_{тер2} = G_{н.в.} \cdot c_{плав.} \cdot \Delta t_{плав.} \quad (3.58)$$

Температура плава колеблется от 220°С до 270 °С:

$$Q_{тер2} = 7620,865 \cdot 2,1 \cdot 50 = 800,190 \text{ МДж/ч,}$$

$$G_{тер2} = \frac{Q_{тер2}}{c_{плав.} \cdot \Delta t_{тер.}}, \quad (3.59)$$

где  $Q_{тер2}$ -теплота для второго контура обогрева;

$$\Delta t_{плав.} = 270 - 220 = 50^\circ\text{C.}$$

$$G_{тер2} = \frac{800,190}{2,67 \cdot 50} = 19979,775 \text{ кг/ч} = 19979,775 / 3600 \text{ с} = 5,550 \text{ кг/с.}$$

Массовый поток плава на третьем и четвертом участках обогрева необходимо считать без массы воды, т.к. она испарилась в первых двух реакторах.

Третий контур обогрева термиолом:

$$Q_{тер3} = G_{n-ра} \cdot c_{плав.} \cdot \Delta t_{плав.} \quad (3.60)$$

Температура плава колеблется от 258°C до 244 °C:

$$Q_{тер3} = 6250 \cdot 2,1 \cdot (258 - 244) = 183,719 \text{ МДж/ч}$$

$$G_{тер3} = \frac{Q_{тер3}}{c_{плав.} \cdot \Delta t_{тер.}}, \quad (3.61)$$

где  $Q_{тер3}$ -теплота для третьего контура обогрева;

$$\Delta t_{плав.} = 258 - 244 = 14^\circ\text{C}.$$

$$G_{тер2} = \frac{89,719}{2,67 \cdot 14} = 6256,363 \text{ кг/ч} = 6256,363 / 3600 \text{ с} = 1,738 \text{ кг/с}.$$

Четвертый контур обогрева термиолом:

$$Q_{тер4} = G_{n-ра} \cdot c_{плав.} \cdot \Delta t_{плав.} \quad (3.62)$$

Температура плава колеблется от 265°C до 260 °C:

$$Q_{тер4} = 6250 \cdot 2,1 \cdot (265 - 260) = 65,625 \text{ МДж/ч},$$

$$G_{тер3} = \frac{Q_{тер3}}{c_{плав.} \cdot \Delta t_{тер.}}, \quad (3.63)$$

где  $Q_{тер4}$ -теплота для четвертого контура обогрева;

$$\Delta t_{плав.} = 265 - 260 = 6^\circ\text{C}.$$

$$G_{тер2} = \frac{65,625}{2,67 \cdot 6} = 2234,423 \text{ кг/ч} = 2234,423 / 3600 \text{ с} = 0,621 \text{ кг/с}.$$

14 Расчет расхода количество тепла, необходимого для нагрева термиолом динила:

Тепло, приходящееся на контуры:

$$Q_{тер1} = 240,057 \text{ МДж/ч}$$

$$Q_{тер2} = 800,190 \text{ МДж/ч}$$

$$Q_{тер3} = 183,719 \text{ МДж/ч}$$

$$Q_{тер4} = 65,625 \text{ МДж/ч}$$

$$\sum Q_{тер.} = Q_{тер.1} + Q_{тер.2} + Q_{тер.3} + Q_{тер.4}, \quad (3.64)$$

$$\sum G_{тер.} = 240,057 + 800,190 + 183,719 + 65,625 = 1289,591 \text{ МДж/ч.}$$

Тепло, приходящееся на обогрев динила:

$$Q_{тер.-дин.} = \sum Q_{терм.} - \sum Q_{тер.}, \quad (3.65)$$

$$Q_{тер.-дин.} = 2492,701 - 1289,591 = 1203,110 \text{ МДж/ч,}$$

$$Q_{т.дин.} = G_{тер.-дин.} \cdot c_{тер.} \cdot \Delta t_{тер.} \quad (3.66)$$

Температура плава колеблется от 310°C до 273 °C:

$$Q_{т.дин.} = 6250 \cdot 2,1 \cdot (265 - 260) = 65,625 \text{ МДж/ч,}$$

$$G_{т.дин.} = \frac{1203,11}{2,67 \cdot 37} = 12178,459 \text{ кг/ч} = 3,382 \text{ кг/с.}$$

Суммарное тепло терминола:

$$\sum Q_{терм.} = \sum Q_{тер.} + Q_{т.дин.}, \quad (3.67)$$

$$\sum Q_{терм.} = 1289,591 + 1203,110 = 2492,701 \text{ МДж/ч.}$$

Суммарный расход теплоносителя:

$$\sum G_{тепл.} = G_{т.дин.} + \sum G_{дин.} + G_{тер1} + G_{тер2} + G_{тер3} + G_{тер4}, \quad (3.68)$$

$$\sum G_{тепл.} = 3,382 + 2,287 + 0,621 + 1,738 + 1,210 + 5,550 = 14,788 \text{ кг/ч.}$$

Полученные результаты сводятся в таблицу энергетического баланса.

Таблица 3.3 Энергетический баланс реакционного узла

Статьи прихода	*10 <sup>6</sup> Вт	Статьи расхода	* 10 <sup>6</sup> Вт
Физическое тепло реагентов	0,596	Физическое тепло продуктов	1,569
Химическое тепло реакции	0,301	Тепло, поглощенное	0,651
Энергия теплоносителя	1,440	Теплопотери	0,117
Итого	2,337	Итого	2,337

### 3.3 Расчет экструдера

Для того, что бы подобрать экструдер, необходимо его знать производительность, частоту вращения червяка (шнека), мощность двигателя и обогрева всех секций. Для расчета взят стандартный одношнековой экструдер.

1 Из литературных данных (таблица конструктивных параметров червяков) определяется рекомендуемый градиент скорости  $\gamma$ . Для полиамида-6 он держится в пределе  $90-210 \text{ с}^{-1}$ [47]. Принят градиент равный  $100 \text{ с}^{-1}$ .

2 Производительность  $Q$  насоса подачи плава равна примерно  $300 \text{ кг/ч}$ . Значит производительность зоны дозирования такая же.

Производительность:

$$Q = \frac{P_{з.доз}}{\rho}, \quad (3.69)$$

где  $P_{з.доз}$  - производительность зоны дозирования;

$\rho$  - плотность полиамида:  $1150 \text{ кг/м}^3$ .

$$Q = \frac{300}{1150} = 0,26 / 3600 = 72,5 \text{ см}^3 / \text{с},$$

Отношение  $Q / \gamma = 72,5 / 100 = 0,725 \text{ см}^3$

где  $\gamma$  - рекомендуемый градиент скорости  $100 \text{ с}^{-1}$ .

Используя номограмму определения диаметра по заданной производительности и градиенту, определяется диаметр шнека. Для данных значений диаметр равен[48]:

$$D = 150 \text{ мм} = 15 \text{ см}$$

3 Вычисляется глубина канала на участке зоны дозирования:

$$H = 1,82 \cdot \left( \frac{Q}{D \cdot \gamma} \right)^{0,5}, \quad (3.70)$$

$$H = 1,82 \cdot \left(\frac{0,725}{15 \cdot 1}\right)^{0,5} = 0,3822 \text{ см} = 3,822 \text{ мм.}$$

4 По литературным данным определяется отношение глубин каналов загрузки и канала дозирования  $h/h^0$ [49]:

Для полиамида-6  $H/h^0 = 4,0 \dots 4,35$

Принимается отношение  $H/h^0 = 4$ , тогда глубина канала загрузки:

$$h^0 = 4 \cdot 3,822 = 15,288 \text{ мм}$$

5 Расчет частоты вращения шнека:

$$N = \frac{\gamma \cdot H}{\pi \cdot D}, \quad (3.71)$$

где  $\pi$  - константа, которая выражает отношение длины окружности к длине ее диаметра

$$N = \frac{100 \cdot 3,822}{3,14 \cdot 150} = 0,8 \text{ об/с} = 48 \text{ об/мин.}$$

Из табличных значений для данного полимера принимается значения отношения  $L/D$ . Для полиамида-6 оно составит:  $L/D = 20 \dots 25$ , для простоты принимается  $L/D = 22$ . Тогда отношение длины шнека составит:

$$L = 22 \cdot 150 = 3300 \text{ мм.}$$

*Характеристики:*

Производительность 300 кг/час

Диаметр шнека 150 мм

Длина шнека 25-33D

Длина экструдера 4200 мм

Частота вращения шнека  $N = 0 - 85$  об/мин.

Мощность двигателя 37 кВт, 380V.

*Шнек высокой эффективности*

Количество шнеков 2 шт.

Соотношение  $L/D$  22/1

Эффективная длина шнека 3300 мм

Материал 38CrMoAlA

Метод обработки поверхности Азотирование

Скорость вращения шнека 48 об/мин

*Цилиндр*

Материал 38CrMoAlA

Метод обработки поверхности - Азотирование

Контрольные температуры 245-265 С

Охлаждающая система Водяное охлаждение

*Редуктор*

Тип шестерни Спиральные шестерни

Материал шестерни 20CrMnTi

Обработка поверхности шестерен Закалка

Материал вала 40Cr Импортный подшипник высокого качества

*Мощность*

Напряжение 380 В

Частота 50-60 Гц

Полное потребление электричества 60,35 кВт

### 3.4 Механический расчет емкости хранения твердых производственных отходов

#### 3.4.1 Обечайка цилиндрическая

На рисунке 3.1 изображена обечайка цилиндрическая

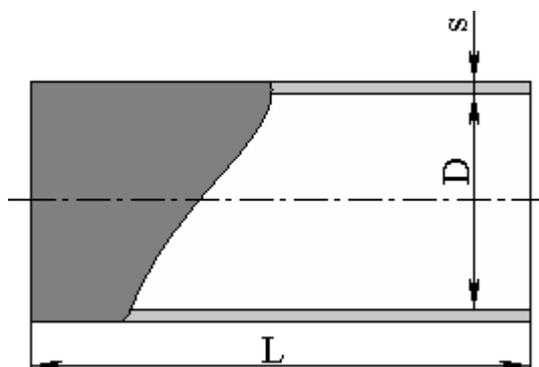


Рисунок 3.1 - Обечайка цилиндрическая[50]

В таблице 3.4 представлены исходные данные для расчета обечайки.

Таблица 3.4 - Исходные данные для расчета обечайки

Наименование конструкционного параметра	Числовые значения
1 Материал	12X18H10T
2 Внутренний диаметр, $D$	$3 \cdot 10^3$ мм
3 Толщина стенки, $s$	12 мм
4 Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, $c_1$	0 мм
5 Прибавка для компенсации минусового допуска, $c_2$	0,8 мм
6 Прибавка технологическая, $c_3$	0 мм
7 Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, $c$	0,8 мм
8 Длина обечайки, $L$	$4,15 \cdot 10^3$ мм

*Коэффициенты прочности сварных швов:*

Продольный шов: стыковой или тавровый с двусторонним сплошным проваром, автоматический ( $\varphi_p = 1$ )

Окружной шов: стыковой или тавровый с двусторонним сплошным проваром, автоматический ( $\varphi_m = 1$ )

В таблице 3.5 представлены исходные данные для расчета обечайки в рабочих условиях.

Таблица 3.5 - Расчет обечайки в рабочих условиях

Условия нагружения	Числовые значения
1 Расчетная температура	50 °С
2 Расчетное внутреннее избыточное давление	1 МПа
3 Расчетный изгибающий момент	0 Н мм
4 Расчетное поперечное усилие	0 Н
5 Расчетное осевое растягивающее усилие	0 Н

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре 50 °С:  $[\sigma] = 152$  МПа

Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре 50 °С:  $E = 1,96 \cdot 10^5$  МПа

*Расчет на прочность и устойчивость*

Гладкая обечайка, нагруженная внутренним избыточным давлением [51]

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - c_2)}{D + (S - c_2)}, \quad (3.72)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 152 \cdot (12 - 0.8)}{3 \cdot 10^3 + (12 - 0.8)} = 1.131 \text{ МПа.}$$

1,131 МПа  $\geq$  1 МПа - условие прочности выполнено.

Расчетная толщина стенки с учётом прибавок:

$$S_p + c_2 = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c_2, \quad (3.73)$$

где  $p$  - расчетное внутреннее избыточное давление.

$$S_p + c_2 = \frac{1 \cdot 3 \cdot 10^3}{2 \cdot 152 \cdot 1 - 1} + 0.8 = 9,901 \text{ мм.}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{S - c_2}{S_p} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D \cdot (S - c_2)}, \quad (3.74)$$

где  $S_p$  - расчетная толщина стенки с учетом прибавок.

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{12 - 0.8}{9.901} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{3 \cdot 10^3 (12 - 0.8)} = 121.4 \text{ мм.}$$

Минимальное расстояние между “одиночными” штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (S - c_2)}, \quad (3.75)$$

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{3 \cdot 10^3 \cdot (12 - 0.8)} = 366.6 \text{ мм.}$$

### 3.4.2. Днище эллиптическое верхнее

На рисунке 3.2 изображено днище эллиптическое верхнее

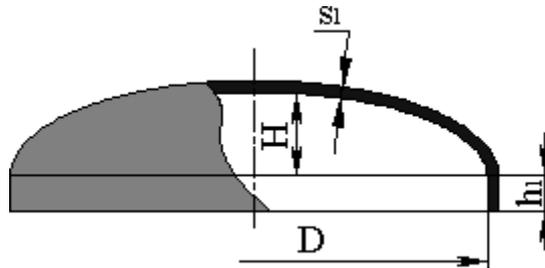


Рисунок 3.2 - Днище эллиптическое верхнее[52]

В таблице 3.6 представлены исходные данные для расчета.

Таблица 3.6 - Исходные данные для расчета днища эллиптического верхнего

Наименование исходных данных	Числовые значения
1 Материал	12X18H10T
2 Внутренний диаметр, $D$	$3 \cdot 10^3$ мм
3 Толщина стенки днища, $s_1$	14 мм
4 Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, $c_1$	0 мм

Продолжение таблицы 3.3

5 Прибавка для компенсации минусового допуска, $c_2$	0,8 мм
6 Прибавка технологическая, $c_3$	0 мм
7 Суммарная прибавка к толщине стенки, $c$	0,8 мм
8 Высота днища, $H$	750 мм
9 Длина отбортовки, $h_1$	0 мм

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H}, \quad (3.76)$$

$$R = \frac{(3 \cdot 10^3)^2}{4 \cdot 750} = 3 \cdot 10^3 \text{ мм.}$$

Коэффициент прочности сварного шва: стыковой или тавровый с двусторонним сплошным проваром, автоматический ( $\varphi = 1$ ). [10]

*Расчет в рабочих условия*

В таблице 3.7 представлены условия нагружения для днища

Таблица 3.7 - Условия нагружения днища эллипического верхнего

Условия нагружения	Числовые значения
Расчетная температура	50 °С
Расчетное внутреннее избыточное давление	1 МПа

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре 50 °С:  $[\sigma] = 152 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 12X18H10T при температуре 50 °С:  $E = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

*Расчет на прочность и устойчивость*

Днища, нагруженные внутренним избыточным давлением [50]

Расчетная толщина стенки с учетом прибавок:

$$S_{1p} + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0.5 \cdot p} + c, \quad (3.77)$$

$$S_{1p} + c = \frac{1 \cdot 3 \cdot 10^3}{2 \cdot 152 \cdot 1 - 0.5 \cdot 1} + 0.8 = 9,08 \text{ мм.}$$

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S_1 - c)}{D + (S_1 - c)}, \quad (3.78)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 152 \cdot (14 - 0.8)}{(3 \cdot 10^3 + 0.5 \cdot (14 - 0.8))} = 1.335 \text{ МПа.}$$

1,335 МПа > 1 МПа - условие прочности выполнено.

### 3.4.3. Расчет прочности узла врезки штуцера

Исходные данные

Элемент:	Штуцер N1
Условное обозначение (метка)	Штуцер N1
Элемент, несущий штуцер:	Обечайка цилиндрическая №1
Тип элемента, несущего штуцер:	Обечайка цилиндрическая
Тип штуцера:	Проходящий с накладным кольцом

На рисунке 3.3 показан узел врезки штуцера с укреплением.

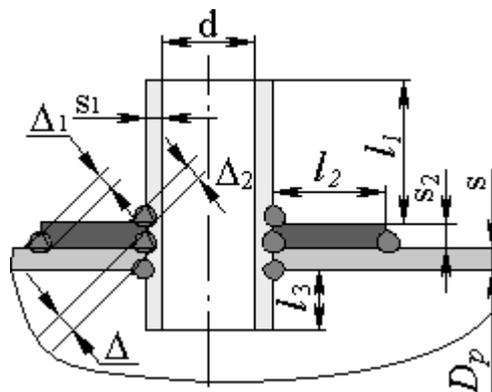


Рисунок - 3.3 Узел врезки штуцера с укреплением[53]

В таблице 3.8 представлены параметры для врезки.

Таблица - 3.8 Параметры для врезки штуцера

Наименование исходных данных	Числовые значения
Материал	12X18Н10Т
Толщина стенки несущего элемента, $s$	12 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, $c$	0,8 мм
Материал штуцера	12X18Н10Т
Внутренний диаметр штуцера, $d$	500 мм
Толщина стенки штуцера, $s_1$	10 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера, $c_s$	0 мм
Длина штуцера, $l_1$	200 мм

На рисунке 3.4 изображено смещение, и угол поворота штуцера.

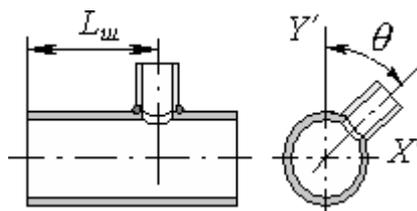


Рисунок - 3.4 Смещение, и угол поворота штуцера[53]

В таблице 3.9 отображены параметры смещения и угла поворота штуцера.

Таблица 3.9 - параметры для смещения и угла поворота штуцера

Наименование исходных данных	Числовые значения
Смещение штуцера, $L_{ш}$	$3 \cdot 10^3$ мм
Угол поворота штуцера, $\theta$	0 град
Длина внутренней части штуцера, $l_3$	0 мм
Материал кольца:	12X18Н10Т
Ширина кольца, $l_2$	100 мм
Толщина кольца, $s_2$	14 мм
Минимальный размер сварного шва, $\Delta_1$	14 мм

Продолжение таблицы 3.6

Минимальный размер сварного шва, $\Delta_2$	14 мм
Расчетные параметры размещения штуцера	Ближайший штуцер
Расстояние до стенки ближайшего штуцера, $b$	$1,43 \cdot 10^3$ мм
Угол $\beta$	180 градус

На рисунке 3.5 изображено укрепление взаимновлияющих отверстий.

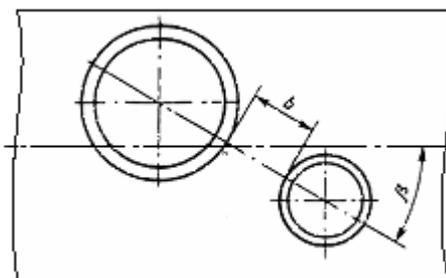


Рисунок - 3.5 Укрепление взаимновлияющих отверстий[54]

Название штуцера: Штуцер N1

*Коэффициенты прочности сварных швов:*

Продольный шов штуцера: стыковой или тавровый с двусторонним сплошным проваром, автоматический ( $\varphi_1 = 1$ ).

Шов обечайки в зоне врезки штуцера: стыковой или тавровый с двусторонним сплошным проваром, автоматический ( $\varphi_s = 1$ ).

Расчетный диаметр цилиндрической обечайки:

$$D_p = D = 3 \cdot 10^3$$

*Расчет в рабочих условиях*

Условия нагружения:

Расчетная температура, T: 50 °C

Расчетное внутреннее избыточное давление, p: 1 МПа

*Свойства материала элемента, несущего штуцер*

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре 50 °C:  $[\sigma] = 152 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости при температуре 50 °C:  $E = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

### *Свойства материала штуцера*

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре 50 °С:  $[\sigma]_1 = 152 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости при температуре 0,5 °С:  $E_1 = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

### *Свойства материала кольца*

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре 50 °С (рабочие условия):  $[\sigma]_2 = 152 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости при температуре 50 °С:  $E_2 = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Расчетная толщина стенки штуцера:

$$S_{1p} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2[\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p}, \quad (3.79)$$

$$S_{1p} = \frac{1 \cdot (500 + 2 \cdot 0)}{2 \cdot 152 \cdot 1 - 1} = 1.65 \text{ мм.}$$

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (S_1 - c_s)}{d_1 + (S_1 + c_s)}, \quad (3.80)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 152 \cdot (10 - 0)}{(500 + 10 + 0)} = 5.961 \text{ МПа.}$$

5,961 МПа > 1 МПа - условие прочности и устойчивости выполнено.

### *Расчет укрепления отверстия*

Расчетная толщина стенки несущего элемента (см. расчет элемента «Обечайка цилиндрическая №1»):  $s_p = 9,901 \text{ мм}$

Отношения допускаемых напряжений [55]

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1.0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} = \min \left\{ 1.0; \frac{152}{152} \right\} = 1$$

Условный расчётный диаметр отверстия:

$$\bar{d} = d + 2 \cdot s_1 \cdot (1 - \chi_1), \quad (3.81)$$

$$\bar{d} = 500 + 2 \cdot 10 \cdot (1 - 1) = 500 \text{ мм.}$$

Расчетный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_p = \bar{d} + 2 \cdot c_s \quad (3.82)$$

$$d_p = 500 + 2 \cdot 0 = 500 \text{ мм.}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{s-c}{s_p} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)}, \quad (3.83)$$

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{12-0.8}{9.901} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{3 \cdot 10^3 (12-0.8)} = 121.4 \text{ мм.}$$

Расчетная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1.25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \right\}, \quad (3.84)$$

$$l_{1p} = \min \left\{ 200; 1.25 \cdot \sqrt{(500 + 2 \cdot 0) \cdot (10 - 0)} \right\} = 88.39 \text{ мм.}$$

Расчетная ширина кольца:

$$l_{2p} = \min \left\{ l_2; \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)} \right\}, \quad (3.85)$$

$$l_{2p} = \min \left\{ 100; \sqrt{3 \cdot 10^3 \cdot (14 + 12 - 0.8)} \right\} = 100 \text{ мм.}$$

Для накладного кольца:

$$\chi_2 = \min \left\{ 1.0; \frac{[\sigma]_2}{[\sigma]} \right\} = \min \left\{ 1.0; \frac{152}{152} \right\} = 1.$$

Расчетная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - 2 \cdot c_s)} \right\}, \quad (3.86)$$

$$l_{3p} = \min \left\{ 0; 0.5 \cdot \sqrt{(500 + 2 \cdot 0) \cdot (10 - 2 \cdot 0)} \right\} = 0 \text{ мм.}$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s-c)}, \quad (3.87)$$

$$L_0 = \sqrt{3 \cdot 10^3 \cdot (12 - 0.8)} = 183.3 \text{ мм.}$$

Расчетная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 183.3 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр:

$$d_{0p} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)}, \quad (3.88)$$

$$d_{0p} = 0.4 \cdot \sqrt{3 \cdot 10^3 \cdot (12 - 0.8)} = 73.32 \text{ мм.}$$

Коэффициент понижения прочности[56]:

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 + 2 \cdot c_s) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\} \quad (3.89)$$

$$V_{\min} = \left\{ 1; \frac{1 + \frac{88.39 \cdot (10 - 0) \cdot 1 + 100 \cdot 14 \cdot 1 + 0 \cdot (10 - 2 \cdot 0) \cdot 1}{183.3 \cdot (12 - 0.8)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{500 - 73.32}{183.3} + 1 \cdot \frac{500 + 2 \cdot 0}{3 \cdot 10^3} \cdot 1 \cdot \frac{88.39}{183.3}} \right\} = 0.9413$$

Допускаемое давление из условий прочности:

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c)}, \quad (3.90)$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot 1 \cdot (12 - 0.8) \cdot 1 \cdot 152}{3 \cdot 10^3 + (12 - 0.8)} = 1.065 \text{ МПа.}$$

На рисунке 3.6 представлена компенсация вырезанного сечения штуцером произвольной формы

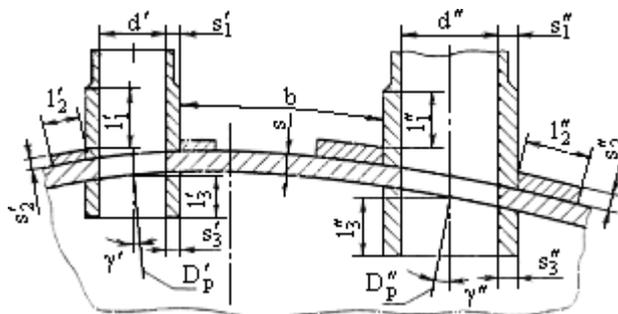


Рисунок - 3.6 компенсация вырезанного сечения штуцером произвольной формы[57]

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер Е1 не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D'_p \cdot (s - c)} + \sqrt{D''_p \cdot (s - c)}, \quad (3.91)$$

$$b > \sqrt{3 \cdot 10^3 \cdot (12 - 0.8)} + \sqrt{3 \cdot 10^3 \cdot (12 - 0.8)} = 366.6 \text{ мм.}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Допускаемое давление  $[p] = 1,065 \text{ МПа} > 1 \text{ МПа}$  - условие прочности и устойчивости выполнено.

## 4 ТЕХНИКО - ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

### 4.1 Маркетинговый анализ

В данном дипломном проекте, при разработке технологии переработки ТПО рассмотрена модернизация стадии полимеризации и гранулирования производства полиамид- 6 с применением экструзионного оборудования. При выборе необходимого оборудования, учитывались параметры технологических расчетов; вид используемого конструкционного материала; сроки гарантии. Из ниже предложенных вариантов в таблице (4.1) производителей экструзионного оборудования, выбран экструдер производителя «KraussMaffei Berstorff» Германия.

Таблица 4.1- Сравнительная характеристика предлагаемого оборудования

Наименование производителя	Техническая характеристика	Цена оборудования, за ед., руб.
1 «KraussMaffei Berstorff» Германия.	Модель ALG W 180 экструдер для вторичной переработки полимеров  Диаметр шнека - 150 мм L/D Отношение диаметра/длины - 25/1 Мощность двигателя - 160 кВт Длина шнека - 4300 мм Скорость вращения шнека - 0-85 об/мин Производительность (кг/час) 300-500 кг/ч	15000000
2 ООО «ТатПласт» Турция, Стамбул	Модель LE30-36/CV  Диаметр шнека - 45 мм L/D Отношение диаметра/длины - 30/1 Мощность двигателя - 22 кВт Длина шнека - 5750 мм Скорость вращения шнека 0 - 250 об/мин Производительность (кг/час) - 500-700 кг/ч	10000000

Продолжение таблицы 4.1

Наименование производителя	Техническая характеристика	Цена оборудования, за ед., руб.
3 Компания «ПолимерМашш Групп», Китай	Модель SJ154/33  Диаметр шнека - 150 мм. L/D Отношение диаметра/длины - 33/1 Мощность двигателя 185 кВт Длина шнека - 4950 мм Скорость вращения шнека - макс . 85 об/мин обор/мин Производительность (кг/час) - 500 кг/час	7500000
4 Компания "Чэнян" г. Циндао, Китай.	Модель Single-Screw Extruder type SJ158/25  Диаметр шнека - 150 мм L/D Отношение диаметра/длины - 25/1 Мощность двигателя - 280 кВт Рабочая длина шнека - 4950 мм Скорость вращения шнека - 0-200 об/мин Производительность (кг/час) - 850 кг/час	9000000

## 4.2 Расчет годовой производственной мощности цеха

Описание производства:

Установка предназначена для переработки твердых производственных отходов производства полиамида - 6.

В таблице 4.2 приведена краткая характеристика сравниваемых вариантов.

Таблица 4.2 - Краткая характеристика сравниваемых вариантов.

Базовый вариант	Проектный вариант
Базовый вариант агрегата, представляет собой установку получения гранулированного полиамида-6 с производительностью 50000т/год. Процент отходности по готовому продукту составляет 1%.	Модернизация агрегата получения гранулированного полиамида-6 предусматривает внедрение узла переработки отходов производства полиамида-6. В результате получается возврат до 500т/год капролактама, назад в процесс, что существенно снизит себестоимость. Внедрение узла предусматривает капитальные вложения. Также увеличивается расход энергоресурсов на 10%.

Производственная мощность определяется по формуле 4.1:

$$M_r = Q_{\text{час}} + \Phi_{\text{эф}}, \quad (4.1)$$

где  $Q_{\text{час}}$  – часовая производительность аппарата, т/ч;

$\Phi_{\text{эф}}$  – эффективный фонд времени работы оборудования в год, час.

$$M_{\text{баз}} = 6,25 \cdot 8000 = 50000 \text{ т/год},$$

$$M_{\text{проект}} = 6,25 \cdot 8000 = 50000 \text{ т/год}.$$

В таблице 4.3 приведена годовая производственная мощность оборудования.

Таблица 4.3 - Годовая производственная мощность оборудования

Показатели	Количество	
	База	Проект
1 Календарная продолжительность года, сут.	365	365
2 Простои оборудования по графику ППР, сут.	32	32
3 Эффективное время работы оборудования, сут.	333	333
4 Эффективное время работы оборудования, час	8000	8000
5 Часовая производительность оборудования, т/час	6.25	6.25
6 Годовая производственная мощность, т.	50000	50000

Эффективный фонд времени работы оборудования определяется по формуле 4.2:

$$\Phi_{эф.} = (D_k - D_{рем.}) \cdot 24, \quad (4.2)$$

$$\Phi_{эф.} = (365 - 32) \cdot 24 = 8000 \text{ т/ч},$$

### 4.3 Расчёт капитальных вложений (инвестиций) в производственное оборудование

Капитальные вложения – это единовременные затраты, необходимые для осуществления организационно-технических мероприятий по внедрению в производство новой или совершенствованию существующей техники, направленные на повышение его эффективности.

Капитальные затраты, связанные с реализацией проекта, рассчитываются в соответствии с вариантом выданного задания:

- затраты на приобретение вновь вводимого оборудования;
- затраты на демонтаж старого оборудования; и монтаж вновь вводимого оборудования;
- затраты на дополнительные производственные площади (если дополнительные площади требуются);
- затраты на модернизацию оборудования.

Прямые капитальные вложения в основное технологическое оборудование приведены в таблице 4.4

Таблица 4.4 Стоимость внедряемого оборудования

Наименование оборудования	Кол- во	Стоимость оборудования, руб.		Амортизация	
		за ед.	всего	%	руб.
1 Экструзионная линия	1	15000000	15000000	6,7	1005000
2 Сборник хранения ТПО	1	300000	300000	6,7	201000
Итого			15300000		1206000

Сопутствующие капитальные вложения.

Часовая заработная плата инженера – разработчика

$$Z_{\text{час}} = \frac{O_k}{168}, \quad (4.3)$$

где  $O_k$  - размер оклада инженера – разработчика, руб.

$$Z_{\text{час}} = \frac{20000}{168} = 119,05 \text{ руб.}$$

Затраты на проектирование:

$$K_{np} = T_{np} \cdot Z_{\text{час}}, \quad (4.4)$$

где  $T_{np} = 550$  – трудоемкость проектирования техники, технологии, ч;

$Z_{\text{час}}$  - часовая заработная плата инженера – разработчика, руб./ч.

$$K_{np} = 550 \cdot 119,05 = 65477,5 \text{ руб.}$$

Затраты на доставку и монтаж (демонтаж) оборудования, оснащение КИП:

а) доставка 2% от стоимости оборудования  $K_{\text{досм}} = 0,02 \cdot 15000000 = 300000$  руб.

б) монтаж оборудования  $K_{\text{монт}} = 0,10 \cdot 15000000 = 1500000$  руб.

в) оснащение КИП  $K_{\text{кип}} = 0,03 \cdot 15000000 = 450000$  руб.

г) пуско-наладочные работы  $K_{nn} = 0,02 \cdot 15000000 = 300000$  руб.

Сопутствующие капитальные затраты на оборудование[58]:

$$K_{con} = K_{np} + K_{об} + K_{дост} + K_{монт} + K_{кип} + K_{nn}, \quad (4.5)$$

где  $K_{np}$  - затраты на проектирование, руб.;

$K_{об}$  - стоимость оборудования, руб.;

$K_{дост}$  - доставка оборудования, руб.;

$K_{монт}$  - монтаж оборудования, руб.;

$K_{кип}$  - оснащение КИП оборудования, руб.;

$K_{nn}$  - пуско-наладочные работы, руб.

$$K_{con} = 65477,5 + 15000000 + 300000 + 1500000 + 450000 + 300000 = 17615477,5 \text{ руб.}$$

#### 4.4 Организация труда рабочих

Принимаем для расчета четырехбригадный график с 12-часовыми сменами.

В таблице 4.5 показан график сменности персонала

Таблица 4.5 - График сменности

Смены	Часы	Дни месяца														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I	7 - 19	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б
II	19 - 7	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г
Выход- ные		Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А
		Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В
Смены	Часы	Дни месяца														
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
I	7 - 19	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г
II	19 - 7	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А
Выход- ные		Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В
		А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б

Номинальный годовой фонд времени одного рабочего[59]:

$$\Phi_{np} = (D_k - D_{np} - D_{вых}) \cdot T_{см} - D_{пред} \cdot T_{сок}, \quad (4.6)$$

где  $D_k$  – количество календарных дней в году, дн;

$D_{np}$  – количество праздничных дней в году, дн;

$D_{вых}$  – количество выходных дней, дн;

$T_{см}$  – продолжительность рабочей смены, ч;

$D_{пред}$  – количество предпраздничных дней, дн;

$T_{сок}$  – время, на которое сокращается предпраздничный день, ч.

$$\Phi_{np} = (365 - 14 - 104) \cdot 8 - 6 \cdot 1 = 1970ч.$$

Действительный фонд рабочего времени одного рабочего:

$$\Phi_{др} = \frac{D_k \cdot T_{д.см}}{2} = 2190ч, \quad (4.7)$$

где  $D_k$  – количество календарных дней в году, дн;

$T_{д.см}$  – действительная продолжительность смены, ч.

$$\Phi_{др} = \frac{365 \cdot 12}{2} = 2190ч.$$

Количество часов переработки сверх нормы рабочего времени:

$$\Phi_{пер} = \Phi_{др} - \Phi_{np}, \quad (4.8)$$

где  $\Phi_{др}$  – действительный фонд рабочего времени одного рабочего, ч;

$\Phi_{np}$  – номинальный годовой фонд времени одного рабочего, ч.

$$\Phi_{пер} = 2190 - 1970 = 220ч.$$

Действительный эффективный фонд времени одного рабочего:

$$\Phi_{э.др} = \Phi_{др} \cdot \left(1 - \frac{B_o}{100}\right), \quad (4.9)$$

где  $\Phi_{др}$  – действительный фонд рабочего времени одного рабочего, ч;

$B_o$  – планируемый процент времени на отпуск рабочих, болезни, %.

$$\Phi_{э.др} = 2190 \cdot \left(1 - \frac{13}{100}\right) = 1905,3ч.$$

Коэффициент подмены:

$$K_{подм} = \frac{\Phi_{др}}{\Phi_{э.др}}, \quad (4.10)$$

где  $\Phi_{др}$  – действительный фонд рабочего времени одного рабочего, ч;  
 $\Phi_{эдр}$  – действительный эффективный фонд времени одного рабочего, ч.

$$K_{подм} = \frac{2190}{1905,3} = 1,15ч.$$

Списочная численность:

$$Ч_{сн} = K_{подм} \cdot Ч_{я}, \quad (4.11)$$

где  $K_{под}$  – коэффициент подмены;

$Ч_{я}$  – явочное число рабочих в сутки, чел.

$$Ч_{сн} = 1,15 \cdot 2 = 3чел.$$

Аналогично формуле (4.12) рассчитываем списочную численность для остальных рабочих. Результаты заносим в таблицу 4.6

Таблица 4.6 - Штат рабочих

Состав Бригады	Раз- ряд	Явочное число рабочих		Кoeffи- циент подмены	Списочная численность рабочих в бригаде
		в смену	в сутки		
1 Производственные рабочие					
1.1) аппаратчик	6	1	2	1,15	3
1.3) слесарь	6	1	2	1,15	3
1.4) электрик	6	1	2	1,15	3
1.5) слесарь КИПиА	6	1	2	1,15	3
2 Дежурный персонал					
2.1) дежурный слесарь	6	2	2	1,15	3
2.2) дежурный электрик	6	2	2	1,15	3
Итого		6	12		18

Расчет численности ИТР показываем в таблице 4.7

Таблица 4.7 - Расчет численности ИТР

Наименование должностей	Количество штатных единиц	Должностной оклад
Начальник цеха	1	45000
Заместитель начальника цеха	1	40000
Мастер смены	4	35000

*Заработная плата рабочих*

Тарифная ставка рабочего 6 – го разряда:

$$T_{ст.6.раз} = 140 \text{ руб/час.}$$

Оплата по тарифу[60]:

$$Z_{тар} = T_{ст.6.раз} \cdot \Phi_{эфр} \cdot \sum Ч_{сн}, \quad (4.12)$$

где  $T_{ст.6.раз}$  – тарифная ставка рабочего 6 – го разряда, руб./час;

$\Phi_{эфр}$  – действительный эффективный фонд времени одного рабочего, ч;

$Ч_{сн}$  – списочная численность рабочих, чел.

$$Z_{тар} = 140 \cdot 1905,3 \cdot 18 = 4801356 \text{ руб.}$$

Расчет премии:

$$Z_{прем} = Z_{тар} \times K_{прем}, \quad (4.13)$$

где  $Z_{тар}$  – оплата по тарифу, руб;

$K_{прем}$  – коэффициент премирования (25%).

$$Z_{прем} = 4801356 \cdot 0,25 = 1200339 \text{ руб.}$$

Доплата за работу в праздничные дни:

$$Z_{празд} = T_{ст.6.раз} \cdot t_{см} \cdot n_{см} \cdot Ч_{яв} \cdot D_{празд}, \quad (4.14)$$

где  $T_{ст.6.раз}$  – тарифная ставка рабочего 6 – го разряда, руб./час;

$t_{см}$  – продолжительность смены, ч;

$n_{см}$  – число смен в сутки,

$Ч_{я}$  – явочное число рабочих в смену, чел;

$Д_{пр}$  – количество праздничных дней в году, дн.

$$З_{празд} = 140 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 18 \cdot 14 = 705600 \text{ руб.}$$

Доплата за работу в ночное время:

$$З_{ноч} = З_{тар_{браз}} \cdot \frac{(1 + K_n)}{3}, \quad (4.15)$$

где  $З_{тар}$  – оплата по тарифу, руб.;

$K_n$  – коэффициент доплат за работу в ночное время (30%).

$$З_{ноч} = 4801356 \cdot \frac{(1 + 0,3)}{3} = 2080587,6 \text{ руб.}$$

Основной фонд заработной платы:

$$З_{осн} = З_{тар} + З_{прем} + З_{празд} + З_{ноч}, \quad (4.16)$$

где  $З_{тар}$  – оплата по тарифу, руб.;

$З_{прем}$  – премия, руб.;

$З_{празд}$  – доплата за работы в праздничные дни, руб.;

$З_{ноч}$  – доплата за работы в ночное время, руб.

$$З_{осн} = 4801356 + 1200339 + 705600 + 2080587,3 = 8787882,6 \text{ руб.}$$

Оплата дней отпуска:

$$З_{отп} = З_{осн} \cdot \frac{(\Phi_{др} - \Phi_{эдр})}{\Phi_{эдр}}, \quad (4.17)$$

где  $З_{осн}$  – основной фонд заработной платы, руб.;

$\Phi_{др}$  – действительный фонд рабочего времени одного рабочего, ч;

$\Phi_{эдр}$  – действительный эффективный фонд времени одного рабочего, ч.

$$З_{отп} = 8787882,6 \cdot \frac{(2190 - 1905,3)}{1905,3} = 1313131,8 \text{ руб.}$$

Оплата ученических отпусков:

$$З_{уч} = З_{осн} \cdot \frac{T_{уч}}{\Phi_{эдр}}, \quad (4.18)$$

где  $Z_{осн}$  - основной фонд заработной платы, руб.;

$T_{уч}$  – продолжительность ученического отпуска, дн;

$\Phi_{эдр}$  – действительный эффективный фонд времени одного рабочего, ч.

$$Z_{уч} = 8787882,6 \cdot \frac{28}{1905,3} = 96859 \text{ руб.}$$

Оплата выполнения государственных обязанностей:

$$Z_{уч} = Z_{гос} \cdot \frac{T_{гос}}{\Phi_{эдр}}, \quad (4.19)$$

где  $Z_{осн}$  - основной фонд заработной платы, руб.;

$T_{гос}$  – время выполнения гос.обязанностей, дн.

$$Z_{уч} = 8787882,6 \cdot \frac{1}{1905,3} = 4612,3 \text{ руб.}$$

Дополнительный фонд заработной платы:

$$Z_{доп} = Z_{отпн} + Z_{уч} + Z_{гос}, \quad (4.20)$$

где  $Z_{отпн}$  - оплата дней отпуска, руб.;

$Z_{уч}$  - оплата ученических отпусков, руб.;

$Z_{гос}$  - оплата выполнения государственных обязанностей, руб.

$$Z_{доп} = 1313131,8 + 96859 + 4612,3 = 1414603,1 \text{ руб.}$$

Годовой фонд заработной платы:

$$Z_{год} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.21)$$

где  $Z_{осн}$  - основной фонд заработной платы, руб.;

$Z_{доп}$  – дополнительный фонд заработной платы, руб.

$$Z_{год} = 8787882,6 + 1414603,1 = 10202485,7 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные выплаты:

$$ОСВ = Z_{год} \cdot K_c, \quad (4.22)$$

где  $Z_{год}$  - годовой фонд заработной платы, руб.;

$K_c$  – отчисления на страховые выплаты (30%).

$$OCB = 10202485,7 \cdot 0,3 = 3060745,71 \text{ руб.}$$

*Расчет годового фонда заработной платы ИТР*

Основная заработная плата:

$$Z_{годИТР} = T_{окл} \cdot 12 \cdot Ч_{спИТР}, \quad (4.23)$$

где  $T_{окл}$  – оклад, руб;

12 – количество месяцев в году;

$Ч_{спИТР}$  – число ИТР, чел.

$$Z_{годИТР} = 45000 \cdot 12 \cdot 1 + 40000 \cdot 12 \cdot 1 + 35000 \cdot 12 \cdot 4 = 2700000,$$

Аналогично формуле (4.23) рассчитываем премию. Она начисляется в зависимости от процента ( $P = 25\%$ ) по премиальному положению ИТР.

$$Z_{премИТР} = 2700000 \cdot 0,25 = 675000 \text{ руб.}$$

Доплата за работу в праздничные дни:

$$Z_{празд} = \frac{T_{окл}}{176 \cdot t_{см} \cdot n_{см} \cdot Ч_{я} \cdot D_{пр}}, \quad (4.24)$$

где  $T_{окл}$  – оклад, руб.;

176 – количество рабочих часов в месяц ИТР;

$t_{см}$  – продолжительность смены, ч;

$n_{см}$  – число смен в сутки,

$Ч_{я}$  – явочное число рабочих в смену, чел;

$D_{пр}$  – количество праздничных дней в году, дн.

$$Z_{празд} = \frac{45000}{176 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14} + \frac{40000}{176 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14} + \frac{35000}{176 \cdot 8 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 14} = 3231363,6 \text{ руб.}$$

Аналогично по формулам (4.15) – (4.22) рассчитываем для ИТР.

Доплата за работу в ночное время:

$$Z_{ноч} = 2700000 \cdot \frac{(1+0,3)}{4} = 877500 \text{ руб.}$$

Основной фонд заработной платы:

$$Z_{осн} = 2520000 + 1008000 + 133636,36 + 1008000 = 4669636,3 \text{ руб.}$$

Дополнительный фонд заработной платы:

$$K_{д.п} = 4573863,6 \cdot 0,09 = 41164,7 \text{ руб.},$$

где  $K_{д.п}$  – коэффициент дополнительной заработной платы.

Расчет годового фонда заработной платы И.Т.Р.:

$$Z_{год} = Z_{осн} + Z_{дон}, \quad (4.25)$$

$$Z_{год} = 4573863,6 + 41164,7 = 4985511,3 \text{ руб.}$$

Отчисления на страховые выплаты:

$$OCB = Z_{год} \cdot K_{с.в.}, \quad (4.26)$$

$$OCB = 4985511,3 \cdot 0,3 = 1495653,3 \text{ руб.}$$

Результаты сводим в таблицу 4.8

Таблица 4.8 - Расчет фонда заработной платы рабочих цеха

Группа Рабочих	Численность рабочих	Оплата	Доплата			Основной фонд заработной платы	Дополнительная заработная плата	Годовой фонд заработной платы	Отчисления на страховые выплаты
			Премия	Праздничные	Ночная смена				
1Производственные рабочие	18	4801356	1200339	705600	2080587,6	8787882,6	1414603,1	10202485,7	3060745,71
2ИТР	6	2700000	675000	321363,6	877500	4573863,6	411647,7	4985511,3	1495653,3
Итого	24	7501356	1875339	1026963,6	2958087,6	13361746,2	18262508	15187997	4556399,01

#### 4.5 Расчет себестоимости продукции

В таблице 4.9 приведен расчет расхода сырья, основных и вспомогательных материалов.

Таблица 4.9 - Расчет расхода сырья, основных и вспомогательных материалов.

Вид сырья, материалов, полуфабрикатов	Ед. изм.	Расход на 1 тонну продукции		Цена за единицу измерения, руб		Сумму, руб	
		Баз.	Проек.	Баз.	Проек.	Баз.	Проек.
1 Сырье и материалы:							
Природный газ	тыс. м <sup>3</sup>	0.027	0.027	1358.8	1358.8	37.96	37.96
Капролактам привозной	тыс. т	0.271	0.271	54030	54030	14664	14664
2 Полуфабрикаты собственного производства							
Азот	тыс. м <sup>3</sup>	0.043	0.043	817.05	817.05	35.68	35.68
Водород	тыс. м <sup>3</sup>	0.00003	0.00003	1386.6	1386.6	0.04	0.04
Капролактам	т	0.721	0.71	54992	54992	39696.8	39022.3

Продолжение таблицы 4.9

Вид сырья, материалов, полуфабрикатов	Ед. изм.	Расход на 1 тонну продукции		Цена за единицу измерения, руб		Сумму, руб	
Капролактам с 1-й очереди	т	0.055	0.050	54630	54630	3034.21	2998.29
3 Вспомогательные материалы							
Биг-Бег	шт	1.3702	1.3702	485.08	485.08	664.69	664.69
Гофрокартон	шт	0.8797	0.8797	15.65	15.65	13.76	13.76
Поддоны деревянные	шт	0.9038	0.9038	239.76	239.76	216.72	216.72
Теплоноситель	кг	1.4049	1.4049	167.54	167.54	235.38	235.38
Уксусная кислота	кг	1.863	1.863	16.17	16.17	30.12	30.12
Итого						59044.5	57912

В таблице 4.10 представлен расчет расхода топлива и энергии.

Таблица 4.10 - Расчет расхода топлива и энергии

Вид топлива, энергии	Ед. изм.	Расход на 1 тонну продукции		Цена за единицу измерения, руб		Сумму, руб	
		Баз.	Проек.	Баз.	Проек.	Баз.	Проек.
Электроэнергия	тысяч кВт	0.39625	0.43981	3,44	3,44	1406,13	1545,61
Пар	Гкал	1.37	1.7125	273.10	273.10	374.22	467.68
Паровой конденсат	т	2.07335	2.07335	22.26	22.26	46.16	46.16
Вода хим. обессоленная	м <sup>3</sup>	0.12012	0.12012	21.43	21.43	2.57	2.57
Итого						1829,08	2062,02

Основная заработная плата рабочим на 1 тонну продукции:

$$Z_{осн.уд} = \frac{Z_{осн}}{M}, \quad (4.27)$$

где  $Z_{осн}$  - основной фонд заработной платы, руб.;

$M$  - годовая мощность производства, т/год.

$$Z_{осн.уд} = \frac{13361746,2}{50000} = 267,2 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата рабочим на 1 тонну продукции:

$$Z_{доп.уд} = \frac{Z_{доп}}{M}, \quad (4.28)$$

где  $Z_{доп}$  - дополнительный фонд заработной платы, руб.;

$M$  - годовая мощность производства, т/год.

$$Z_{доп.уд} = \frac{1826250,8}{50000} = 36,52.$$

Удельные социальные выплаты на продукцию:

$$OCB_{y\phi} = \frac{OCB}{M}, \quad (4.29)$$

где  $OCB$  - отчисления на страховые выплаты, руб.;

$M$  - годовая мощность производства, т/год.

$$OCB_{y\phi} = \frac{4556399,04}{50000} = 91,1 \text{ руб.}$$

#### 4.6 Расчет расходов на содержание и эксплуатацию оборудования

Расчет расходов на содержание и эксплуатацию оборудования [19].

Амортизация оборудования основной технологической стадии – 1830209.

Амортизация внедряемого оборудования узла экструзии – 1206000.

Текущий ремонт и содержание оборудования учитывает заработную плату (основную и дополнительную) вместе с ОСВ рабочих по ремонту и содержанию оборудования (ремонтный и дежурный персонал цеха), затраты на материалы 30% от амортизации оборудования.

Расчет текущего ремонта и содержания оборудования:

Базовая:  $30\%_{\text{АМОРТИЗАЦИИ}} = 0,30 \cdot 1830209 = 549062,7 \text{ руб.}$

Проектная:  $6\%_{\text{АМОРТИЗАЦИИ}} = 0,30 \cdot 1206000 = 631800 \text{ руб.}$

$$\sum_{\text{затр}} = 13361746,2 + 1826250,8 + 4556399,01 + 0,15 \cdot 1830209 = 20018927,36 \text{ руб.}$$

Расчет текущего ремонта и содержания оборудования для проекта рассчитывается по формуле 4.30

$$\sum_{\text{затр}} = 13361746,2 + 1826250,8 + 4556399,01 + 0,15 \cdot 1206000 = 19925296,01 \text{ руб.}$$

Износ и восстановление инструмента, приспособлений – 6 % от амортизации оборудования.

Базовая:  $6\%_{\text{АМОРТИЗАЦИИ}} = 0,06 \cdot 1830209 = 109813 \text{ руб.}$

Проектная:  $6\%_{\text{АМОРТИЗАЦИИ}} = 0,06 \cdot 1206000 = 72360 \text{ руб.}$

Прочие расходы – 1% от амортизации оборудования.

Базовая:  $1\%_{\text{АМОРТИЗАЦИИ}} = 0,01 \cdot 1830209 = 18302 \text{ руб.}$

Проектная:  $1\%_{\text{АМОРТИЗАЦИИ}} = 0,01 \cdot 1206000 = 12060 \text{ руб.}$

Полученные результаты заносим в таблицу 4.11

Таблица 4.11 - Затраты на содержание оборудования

Наименование статей расходов	Сумма, руб.	
	Базовая	Проектная
Амортизация производственного оборудования	1830209	1206000
Текущий ремонт и содержание оборудования	549062,7	631800
Износ и восстановление инструментов	109813	72360
Прочие расходы	18302	12060
Итого	2507386,7	1652220

Затраты на 1 тонну продукции составят:

$$z_{(1m)} = \frac{\sum_{затр}}{M}, \quad (4.31)$$

где  $\sum_{затр}$  - затраты на содержание и эксплуатацию оборудования, руб.;

$M$  - годовая мощность производства, т/год.

$$z_{(1m)} = \frac{\sum_{затр}}{M} = \frac{2507386,7}{50000} = 50,14 \text{ руб.}$$

#### 4.7 Расчет цеховых расходов

Содержание цехового персонала включает: заработную плату и отчисления на ОСВ ИТР и служащих рабочих цеха.

$$15187997 + 4556399,01 = 19744396,01 \text{ руб.}$$

Амортизация зданий по данным сметы цеховых расходов базового предприятия 765000 руб.

Содержание зданий по данным сметы цеховых расходов базового предприятия 3.95% от амортизации зданий.

$$765000 \cdot 0.0395 = 30218 \text{ руб.}$$

Затраты на реализацию, опыты, исследования по данным предприятия 0.5% от 1 статьи.

$$19744396,01 \cdot 0.005 = 98722 \text{ руб.}$$

Затраты на охрану труда 10-20% от зарплаты всех работающих.

Прочие расходы – 0,5% от общей заработной платы всех работников.

Таблица 4.12 - Цеховые расходы

Наименование статей расхода	Сумма, руб.	
	Базовая	Проектная
Содержание цехового персонала	19744396,01	19744396,01
Амортизация зданий	765000	765000
Содержание зданий	30218	30218
Затраты на реализацию, опыты, исследования	98722	98722
Затраты на охрану труда	1974439,6	1974439,6
Прочие расходы	987219,8	987219,8
Итого	23698717,44	23698717,44

Затраты на цеховые нужды на 1 тонну продукции рассчитываем аналогично (4.31):

$$z_{(1m)} = \frac{23698717,44}{50000} = 474 \text{ руб.}$$

Сравнительный анализ себестоимости 1 тонны продукции базового и проектного вариантов.

Общезаводские расходы – 1 % от цеховой себестоимости.

Базовая:  $61766,8 \cdot 0,01 = 617,66 \text{ руб}$

Проектная:  $61485,26 \cdot 0,01 = 614,85 \text{ руб}$

Внепроизводственные расходы – 2 % от производственной себестоимости.

Базовая:  $62384,56 \cdot 0,02 = 1247,69 \text{ руб}$

Проектная:  $62100,11 \cdot 0,02 = 1242,01 \text{ руб}$

Полученные данные переносим в таблицу 4.13

Таблица 4.13 - Сравнимый анализ себестоимости 1 тонны продукции базового и проектного вариантов.

Наименование статей	Базовый	Проектный	Отклонения
Сырье и основные материалы	14701,96	14701,96	0
Полуфабрикаты	42766,73	42056,31	-710,42
Вспомогательные материалы	1160,67	1160,67	0
Энергоресурсы	1829,08	2062,02	+232,94
Основная заработная плата для рабочих	267,2	267,2	0
Дополнительная заработная рабочих	36,52	36,52	0
Отчисления ОСВ для рабочих	91,1	91,1	0
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	50,14	45,75	0

Продолжение таблицы 4.13

Наименование статей	Базовый	Проектный	Отклонения
Цеховые расходы	474	474	0
Цеховая себестоимость	61766,8	61485,26	-281,54
Общезаводские расходы	617,66	614,85	-2,81
Производственная себестоимость	62384,56	62100,11	-284,45
Внепроизводственные расходы	1247,69	1242,01	-5,68
Полная себестоимость	63632,15	63342,12	-273,44

#### 4.8 Расчёт экономической эффективности проектных решений

Ожидаемая прибыль

$$P_{ож} = (C_1 - C_2) \cdot M, \quad (4.32)$$

где  $C_1$  – себестоимость одной тонны продукции по базовому варианту, руб.;

$C_2$  – по проектному, руб.;

$M$  – производственная мощность, т/год.

$$P_{ож} = (63632,15 - 63342,15) \cdot 50000 = 14500000 \text{ руб.}$$

Налог на прибыль

$$H_{пр} = P_{ож} \cdot K_{нал}, \quad (4.33)$$

где  $P_{ож}$  – ожидаемая прибыль, руб.;

$K_{нал}$  – 20 % налог на прибыль.

$$H_{пр} = 14500000 \cdot 0,2 = 29000000 \text{ руб.}$$

Чистая ожидаемая прибыль

$$P_{чист} = P_{ож} - H_{пр}, \quad (4.34)$$

где  $P_{ож}$  – ожидаемая прибыль, руб.;

$H_{np}$  - налог на прибыль, руб.

$$\Pi_{чист} = 14500000 - 2900000 = 11600000 \text{ руб.},$$

Срок окупаемости капитальных вложений

$$T_{ок} = \frac{K_{con}}{\Pi_{чист}}, \quad (4.35)$$

где  $K_{con}$  – сопутствующие капитальные затраты, руб.;

$\Pi_{np}$  - чистая ожидаемая прибыль, руб.

$$T_{ок} = \frac{17615477,5}{11600000} = 2 \text{ года.}$$

#### 4.9 Вывод

В результате внедрения узла переработки ТПО основанного на технологии экструзии произошли следующие экономические изменения, указанные в таблице (4.14):

Таблица 4.14 - Экономические изменения после внедрения узла для переработки ТПО

Показатели	Ед.изм	Базовый вариант	Проектный вариант	Отклонения
Производственная мощность	т/год	50000	50000	-
Себестоимость продукции	руб/т	63632,15	63342,12	-273,44
Условно-годовая экономия	руб	-	14500000	-
Капитальные вложения	руб	-	17615477,5	-
Чистая прибыль	руб	-	11600000	-
Срок окупаемости	лет	-	2	-

В результате произведенного экономического расчета внедрения нового оборудования для переработки ТПО с последующим возвратом капролактама в процесс, общие капитальные вложения составили 17615477,5 руб., себестоимость продукции уменьшилась на 273,44 руб./т, чистая прибыль составляет 11600000руб., а срок окупаемости – 2года, следовательно, проект эффективен.

## 5 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ОБЪЕКТА

### 5.1 Технологическая характеристика объекта, участка полимеризации, узел «Переработки твердых производственных отходов»

Рабочим местом аппаратчика узла ТПО является:

- ЦПУ со станцией оператора, с которой ведётся управление производством ПА-6;

а) ДПУ со станцией оператора, с которой ведется управление узла переработки твердых отходов;

б) схема обеспечения воздухом КИПиА, техническим воздухом, азотом;

Технологический паспорт узла переработки ТПО представлен в таблице 5.1

Таблица - 5.1 - Технологический паспорт узла переработки ТПО.

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
Участок полимеризации, узел «Переработки твердых производственных отходов»	Сборник хранения твердых производственных отходов, предназначен для сбора ТПО	Аппаратчик полимеризации	Вертикальный цельно-сварной аппарат с коническим днищем	Углеродистая сталь: 12Х18Н10Т Твердые производственные отходы: блестящий гранулят; гранулят с добавкой диоксида титана (TiO <sub>2</sub> ) капролактам, полиамид

Продолжение таблицы 5.1

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
Участок полимеризации, узел «Переработки твердых производственных отходов»	Загрузочная зона, предназначена для загрузки ТПО в экструдер	Аппаратчик полимеризации	Вертикальный цельно-сварной аппарат с коническим днищем.	Углеродистая сталь: 12X18H10T Твердые производственные отходы: блестящий гранулят; гранулят с добавкой диоксида титана (TiO <sub>2</sub> ) капролактам, полиамид
Участок полимеризации, узел «Переработки твердых производственных отходов»	Промежуточная емкость, предназначена для временного нахождения ТПО.	Аппаратчик полимеризации	Гидрозатвор Вертикальный цельно-сварной аппарат с эллиптическим днищем	Твердые производственные отходы: блестящий гранулят; гранулят с добавкой диоксида титана (TiO <sub>2</sub> ) азот, вода

Продолжение таблицы 5.1

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
Участок полимеризации, узел «Переработки твердых производственных отходов»	Экструдер. Предназначен для расплавления и гомогенизации полимера.	Аппаратчик полимеризации	Экструдер	Твердые производственные отходы: блестящий гранулят; гранулят с добавкой диоксида титана (TiO <sub>2</sub> )
Участок полимеризации, узел «Переработки твердых производственных отходов»	Разделение переработанного полимера на потоки и поступление его в дозирующие насосы.	Аппаратчик полимеризации	Дозировочный насос	Кондиционированный расплав, расплав полиамида

## 5.2 Идентификация профессиональных рисков

Профессиональным риском называется фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья.[61]

Вредным называется производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к постепенному ухудшению

здоровья, профессиональному заболеванию или снижению работоспособности [62].

ГОСТ 12.0.003-74 подразделяет опасные и вредные производственные факторы по природе на четыре группы [63]: а) Физические. б) Химические. в) Биологические. г) Психофизиологические.

Идентификация опасных и вредных производственных факторов приведена в таблице 1.15

Таблица 5.2 – Идентификация профессиональных рисков.

Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и / или вредного производственного фактора
Участок полимеризации, узел «Переработки твердых производственных отходов»	Повышенная температура поверхностей оборудования, трубопроводов.	Нарушение термоизоляции аппаратов и трубопроводов.
	Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны	Недостаточное отопление в зимний период, и охлаждение в летний период.
	Повышенный уровень шума на рабочем месте.	Нарушение шумоизоляции аппаратов и трубопроводов.
	Содержание вредных веществ в воздухе и загазованность рабочей зоны	Возможные утечки: недостаточная герметичность сосудов, своевременная замена противогозов
	Повышенный уровень вибрации	Наличие движущих машин и механизмов

Продолжение таблицы 5.2

Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и / или вредного производственного фактора
Участок полимеризации, узел «Переработки твердых производственных отходов»	Излучение	Использование жидкокристаллических мониторов
	Монотонность труда рабочих	Операторы наблюдают за приборами в течение 12 часов
	Наличие электричества	Нарушение целостности электрического оборудования, электродвигателей и электропроводки
	Подвижные части производственного оборудования	Разрушение динамического оборудования

### 3. Методы и средства снижения профессиональных рисков

В данном разделе подобраны и обоснованы используемые организационно-технические методы и технические средства (способы, устройства) защиты, частичного снижения, или полного устранения опасного и/или вредного производственного фактора. Методы и средства защиты выбираются, в зависимости от типа реализуемого технологического процесса, и используемых технических средств ослабления или полного устранения опасного и/или вредного производственного фактора и применяемых для этих целей при необходимости средств индивидуальной защиты работника.[64]

В таблице 5.3 представлены методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов.

Таблица 5.3 – Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов.

Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
Повышенная температура поверхностей оборудования, трубопроводов.	Следить за целостностью изоляции, соблюдать правила эксплуатации оборудования.	Спец.одежда: костюм ХБ, рукавицы, каска, обувь.
Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны.	Тепловые завесы применяются в зимний период в корпусах, а в летний системы кондиционирования, для обеспечения нормального температурного режима в производственных помещениях.	Наличие спецодежды, которая соответствует разным климатическим сезонам.
Повышенный уровень шума на рабочем месте.	Производить звукоизоляцию шумных мест с помощью использования защитных кожухов. Отделать помещения звукопоглощающими материалами.	Использование защитных наушников, беруш.
Содержание вредных веществ в воздухе и загазованность рабочей зоны.	Проверять герметичность оборудования, коммуникаций, выявлять источники загазованности и немедленно принимать меры для устранения пропусков.	Фильтрующие противогазы с коробкой марки «М», "ДОТ М-600".

Продолжение таблицы 5.3

Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
Повышенный уровень вибрации.	Выдача в ремонт оборудования с повышенной вибрацией.	Использование мягких покрытий на вибрирующих частях приборов или оборудования Использование защитных наушников.
Наличие электричества.	Соблюдать правила ГОСТ12.1.030-81.ССБТ[65] Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.	Диэлектрический инструмент, резиновые перчатки, диэлектрические боты, защитные очки.
Подвижные части производственного оборудования.	Использование защитных ограждений и устройств для движущихся элементов оборудования.	Использование спец.одежды, спец.обуви, защитных перчаток.

**5.4 Обеспечение пожарной безопасности участка полимеризации и грануляции, узел «Переработки твердых производственных отходов»**

В данном разделе проводится идентификация потенциального возникновения класса пожара и выявленных опасных факторов пожара с разработкой технических средств и/или организационных методов по обеспечению (улучшению) пожарной безопасности технического объекта.

Идентификация опасных факторов пожара.

1 Классификация пожаров по виду используемого горючего материала

для обозначения (конкретизации) области применения средств пожаротушения.

2 Классификация пожаров по сложности их тушения, производимая при определении состава сил технического персонала и используемых технических средств подразделений пожарной охраны и других технических (вспомогательных) служб, необходимых для тушения пожаров.

3 Классификация опасных факторов пожара, используемая при обосновании разрабатываемых (применяемых) мер пожарной безопасности, необходимых для эффективной защиты людей и материального имущества при пожаре.[66]

Идентификация классов и опасных факторов пожара приведена в таблице 5.4

Таблица 5.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара.

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Участок полимеризации, узел «Переработки твердых производственных отходов»	Сборник хранения ТПО; загрузочная зона; промежуточная емкость; экструдер; дозирующие насосы.	А	Пламя и искры; повышенная температура окружающей среды. Повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; пониженная концентрация кислорода; снижение видимости в дыму	Осколки, части разрушившихся зданий, сооружений, строений, технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий. Токсичные вещества и материалы, попавшие в окружающую среду из разрушенных технологических установок, оборудования, агрегатов. Воздействие огнетушащих веществ; опасные факторы взрыва, происшедшего вследствие пожара

## **5.5 Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технического объекта (дипломного проекта).**

Пожаробезопасность обеспечивается за счет систем предотвращения пожара и систем пожарозащиты, организационными и организационно-техническими мероприятиями. Данная установка по виду горючего материала относится к классу «А», т. е к пожару, связанным с горением твердых горючих веществ и конструкционных материалов.

К системе предотвращения пожара относятся: предотвращение образования горючей среды и образования в ней (или внесения в нее) источников зажигания, обеспечение пожарной безопасности технологического оборудования, электроустановок, систем отопления и вентиляции. К системе пожарозащиты относятся: применение средств пожаротушения, пожарной сигнализации и средств извещения о пожаре, организация пожарной охраны объекта.

На производстве гранулята полиамида-6 задействованы две системы пожаротушения;

- наружное и внутреннее пожаротушение от пожарных кранов, которое обеспечивается водой от сети хозяйственного противопожарного водопровода предприятия;

- система объемного автоматического пожаротушения, которая обеспечивается водой из запаса воды ВОЦ, без снижения потребления воды на технологические нужды других производств.

В таблице 5.5 представлены технические средства обеспечения пожарной безопасности.

Таблица 5.5 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности.

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Ручные и передвижные огнетушители (воздушно – пенные, углекислотные, порошковые), керамо-ткань или грубошерстные полотна, пожарные ящики с песком, внутренние пожарные краны	Пожарные автомобили (основные и специальные); пожарные мотопомпы; приспособленные технические средства (тягачи, трактора)[67]	Водяные, пенные, газовые, порошковые. В зависимости от устройства головок установки делятся на спринклерные и дренчелые	Извещатели пожарные; приборы приемо-контрольные пожарные; приборы управления пожарные; технические средства оповещения и управления эвакуацией; системы передачи извещений о пожаре	Огнетушители, пожарные рукава, стволы, гидранты	Средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения (самоспасатели); средства защиты кожных покровов тела человека; Фильтрующие средства защиты органов дыхания (противогазы, респираторы)	Мотопомпы, пожарные насосы, арматура, клапаны и муфты, рукавная арматура стационарные и ручные пожарные лестницы; надувные и амортизирующие устройства	Извещатели пожарные (дымовые, тепловые, ручные) телефон, сирена

## 5. 6 Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара.

В данном разделе разрабатываются организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению возникновения пожара или опасных факторов способствующих возникновению пожара.

По данному разделу оформляется таблица 5.6

Таблица 5.6 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Наименование технологического процесса, оборудования технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Участок полимеризации, узел «Переработки твердых производственных отходов»	Организация паспортизации веществ, материалов, изделий, технологических процессов, зданий и сооружений в части обеспечения пожарной безопасности. Привлечение общественности к вопросам обеспечения пожарной безопасности. Организация обучения работающих правилам пожарной безопасности. Разработка инструкций о порядке обращения с пожароопасными веществами и материалами;	Определены места и допустимое количество единовременно находящихся в помещениях сырья, полуфабрикатов и готовой продукции; определены и оборудованы места для курения; Установлен порядок уборки горючих отходов и пыли, хранения промасленной спецодежды; определен порядок обесточивания электрооборудования в случае пожара и по окончании рабочего дня; регламентированы: порядок проведения временных огневых и других пожароопасных работ;

Продолжение таблицы 5.6

Наименование технологического процесса, оборудования технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
	<p>изготовление средств наглядной агитации. Нормирование численности людей на объекте по условиям их безопасности при пожаре. Разработка мероприятий по действиям администрации и работающих на случай возникновения пожара и организацию эвакуации людей. Обеспечение необходимых количеств и видов пожарной техники.</p>	<p>разработаны: действия работников при обнаружении пожара; определен порядок и сроки прохождения противопожарного инструктажа и занятий по пожарно-техническому минимуму. Разработаны и на видных местах вывешены планы (схемы) эвакуации людей в случае пожара, а также предусмотрена система (установка) оповещения людей о пожаре, разработана инструкция, определяющая действия персонала по обеспечению безопасной и быстрой эвакуации людей. [68]</p>

### **5.7 Обеспечение экологической безопасности технического объекта.**

В данном разделе проводится идентификация негативных (вредных, опасных) экологических факторов, возникающих при реализации технологического процесса (изготовления, транспортировки), и/или возникающих при эксплуатации проектируемого производственно-технического объекта и/или возникающих при утилизации производственно-технологических отходов и брака, и/или возникающих при утилизации технологического объекта завершившего свой жизненный цикл. Разрабатываются конкретные технические и организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду производимом данным техническим объектом в процессе его производства, технической эксплуатации и конечной утилизации по завершению его жизненного цикла.

По виду реализуемого производственно-технологического процесса, и осуществляемой функциональной эксплуатацией техническим объектом - необходимо провести идентификацию негативных экологических факторов, результаты которой отображены в таблице 5.7

Таблица 5.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса (производственного здания или сооружения по функциональному назначению, энергетическая установка, транспортное средство)	Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра)
Участок полимеризации, узел «Переработки твердых производственных отходов»	Сборник хранения твердых производственных отходов; загрузочная зона; промежуточная емкость; экструдер;	Вредными веществами в выбрасываемых газах являются пары капролактама, уксусной кислоты; оксиды углерода, азота и серы.[69]	Загрязненные воды включают в себя: вредные вещества в оборотной воде водооборотных циклов; смывы полов; сток от промывки аппаратов и трубопроводов; сточные воды от регенерации фильтров; (подпитка ВОЦ)	Отработанное масло от компрессоров и насосов узла переработки ТПО

Разработка мероприятий по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду рассматриваемого технического объекта (дипломного проекта), оформить Таблицу 5.8

Таблица 5.8 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду.

Наименование технического объекта	Участок полимеризации, узел «Переработки твердых производственных отходов»
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Чтобы не допустить опасных выбросов в атмосферу, необходимо постоянно соблюдать технологический режим; следить за давлением в системе и не допускать разгерметизации оборудования. Локализовать токсичные вещества в зоне их образования вентиляцией.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	Для обеспечения надежности охраны водных ресурсов при аварийных ситуациях и остановках на ремонт предусмотрено наличие аварийных и дренажных емкостей. Все стоки, содержащие вредные вещества направляются на очистные сооружения и на биологическую очистку согласно «Водному кодексу Р.Ф.» № 74-ФЗ[70]
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	При утилизации технического отработанного масла, его собирают в отдельную емкость (бочка, цистерна) и отправляют в отделение регенерации масел.

### Вывод

1. В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведена характеристика технологического процесса переработки твердых производственных отходов, перечислены технологические операции, должности работников, производственно-техническое и инженерно-техническое оборудование, применяемые сырьевые технологические и расходные материалы, комплектующие изделия и производимые изделия

(таблица 5.1).

2. Проведена идентификация профессиональных рисков по осуществляемому технологическому процессу переработки твердых производственных отходов, выполняемым технологическим операциям, видам производимых работ. В качестве опасных и вредных производственных факторов идентифицированы следующие параметры: повышенная температура поверхностей оборудования, трубопроводов; повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; повышенный уровень шума на рабочем месте; содержание вредных веществ в воздухе и загазованность рабочей зоны; повышенный уровень вибрации; излучение; монотонность труда рабочих; наличие электричества; подвижные части производственного оборудования (таблица 5.2).

3. Разработаны организационно-технические мероприятия, включающие технические устройства снижения профессиональных рисков, а именно: следить за целостностью изоляции; соблюдение правил эксплуатации оборудования; применять тепловые занавесы в зимний период в корпусах, и системы кондиционирования в летний, для обеспечения нормального температурного режима в производственных помещениях; производить звукоизоляцию шумных мест с помощью использования защитных кожухов, оборудования кабинок. Произвести отделку помещений звукопоглощающими материалами; следить за герметичностью оборудования, коммуникаций, выявлять источники загазованности и немедленно принимать меры для устранения пропусков. Организация ремонта оборудования с повышенной вибрацией. Соблюдать правила электробезопасности ГОСТ12.1.030-81.ССБТ; произвести защитное заземление, зануление; использование защитных ограждений и устройств для движущихся элементов оборудования; проверка герметичность оборудования; своевременная замена противогазов.

Подобраны средства индивидуальной защиты для работников (таблица 5.3).

4. Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

технического объекта. Проведена идентификация класса пожара и опасных факторов пожара и разработка средств, методов и мер обеспечения пожарной безопасности (таблица 4). Разработаны средства, методы и меры обеспечения пожарной безопасности (таблица 5.5). Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на техническом объекте (таблица 5.6).

5. Идентифицированы экологические факторы в соответствии с федеральными законами от 04.05.1999 № 96-ФЗ "Об охране атмосферного воздуха", и «Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ "Об отходах производства и потребления", водный кодекс Российской Федерации» от 03.06.2006 № 74-ФЗ (таблица 5.7). Также разработаны мероприятия по обеспечению экологической безопасности на техническом объекте в соответствии с федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», и федеральным законом от 04.11.2004 № 128-ФЗ «О ратификации Киотского протокола к рамочной Конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата» (таблица 5.8).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были рассмотрены теоретические аспекты процесса производства гранулята ПА-6 и процесса переработки твердых производственных отходов производства ПА-6. Выполнены технологические и конструктивные расчеты основного и вспомогательного оборудования узла переработки твердых производственных отходов. Расчет экономической части проекта, показал, что внедрение узла переработки твердых производственных отходов производства ПА-6 является целесообразным. Срок окупаемости составляет проекта 2 года. Безопасность рабочего места представлена в разделе «Безопасность и экологичность проекта». В приложениях А и Б к проекту, представлены таблицы «Контроль и нормы технологического режима процесса переработки твердых производственных отходов ПА-6» и «Виды и нормы образования твердых производственных отходов ПА-6» соответственно.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Образовательный портал [электронный ресурс] /Физико-химические свойства полиамидов - Режим доступа <http://www.chemitradition.ru/cholit-399.html/>, свободный. (Дата обращения 05.04.2016)

2 Образовательный портал [электронный ресурс] /Физико-химические закономерности получения полиамидов (полиамид - 6, полиамид 6,6,полиамид - 10). - Режим доступа <http://www.chemiemaniamania.ru/chemie-6923.html/>, свободный. (Дата обращения 18.02.2016)

3 Методы исследования структуры и свойств полимеров Учебн.пособие / И.Ю. Аверко-Антонович, Р.Т.Бикмуллин.. - Казань.: КГТУ, 2002. -604 с.

4 Портал научно-технической информации ЭБ Нефть и Газ [электронный ресурс]/История открытия полимеров. - Режим доступа <http://polymer.nglib.ru/book>, свободный. (Дата обращения 28.02.2016)

5 Сайт компании АНИД [электронный ресурс] /Физико-химические закономерности получения полиамидов. - Режим доступа <http://www.chemitradition.ru/cholit-399.html/>, свободный. (Дата обращения 18.03.2016)

6 Образовательный портал [электронный ресурс]/Общие сведения о полиамидах. - Режим доступа <http://anid.ru/poliamid/>, свободный. (Дата обращения 2.03.2016)

7 Общая химическая технология: учеб. для техн. вузов /А.М. Кутепов, Т.И. Бондарева, М.Г.Беренгартен..- 2-е изд.- М.: Высш. шк., 1990. - 520 с.

8 Кнунянц, И.Л. Химическая энциклопедия / И.Л. Кнунянц (гл.ред.) и др. - М.: Полимерны, Большая Российская энцикл.,1992.-183 с.

9 Бартенев,Г.М. Физика полимеров / Г.М. Бартенев, А.М.Ельяшевич С.Я. Френкель; под ред. д-ра физ. - мат.наук А.М.Ельяшевича. - Л.: Химия, 1990. - 432 с.

10 Каргин, В.А. Энциклопедия Полимеров / В.А. Каргин [и др.] Т.1 - М.: "Советская Энциклопедия", 1972.-1224 с.

11 Сайт компании Промполимер [электронный ресурс]/Аннотация продукта. - Режим доступа <http://www.prom-polymer.ru/poliamid/html> свободный.(Дата обращения 20.04.2016)

12 Справочник химика: в шести томах/ Под ред. Б.П. Никольского. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.; Л.: Химия, 1966. – 1008-1072 с.

13 Постоянный технологический регламент производства полиамида - б ОАО «КуйбышевАзот».

14 Брацыхин, Е.А. Технология пластических масс: учебное пособие для техникумов / Е.А. Брацыхин, Э.С Шульгина., - 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1982. -328 с.

15 Дытнерский, Ю.И. Основные Процессы и аппараты химической технологии / Г.С. Борисов, Ю.И. Дытнерский.- М.: «Химия», 1991. - 634с.

16 Плановский, А. И. Процессы и аппараты химической технологии / А. И, В.М. Рамм., С.З. изд. 2-ое, доп. и перераб. – М.: Химия, 1962. - 534с.

17 Роговин, З.А. Основы химии и технологии химических волокон / З.А, Роговин. изд. 4 - ое, т. 2.-М.: Химия, 1974.-354 с.

18 Стрелец, М.М. Химическая промышленность / М.М. Стрелец М.: «Химия», – 1968, №8.

19 Тимофеев, В.С. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза / В.С. Тимофеев, Л.А. Серафимов - М.: Химия, 1992. - 431 с.

20 Овчинников, В.И. Производство капролактама /, В.И.Овчинников, В.Р Ручинский. - М.: Химия, 1980.-262 с.

21 Андрианов, К.А.Технология элементоорганических мономеров и полимеров / К.А.Андрианов, Л.М.Хананашвили. - М., «Химия»,1973.

22 Глинка, Н.Г. Общая химия / Н.Г.Глинка. - М.: «Химия»,1946.

23 Юркевич, В.В. Технология производства химических волокон / В.В. Юркевич.- М.: Химия, 1987.-304 с.

24 Гельперин, Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии / Н.И Гельперин: ч.1,2. – М.: Химия, 1981. – 812 с.

25 Романков, П.Г. Общие основы химической технологии / Разработка и проектирование технол. процессов / Пер. с пол. под ред. П.Г. Романкова и М.И. Курочкиной. - Л.: Химия, 1977. - 503 с.

26 Образовательный портал [электронный ресурс] /Экструзия - Режим доступа <http://www.chemieman.ru/chemie-6923.html/>, свободный. (Дата обращения 24.03.2016)

27 Фишман, К.Е. Производство волокна капрон / Изд. 3.- М.: Химия, 1976.-248 с.

28 Кнунянц, Л.И. Современные методы синтеза мономеров для гетероцепных волокнообразующих полимеров / Л.И. Кнунянц: М.-ВИНИТИ, 1961.-183 с.

29 Сена, Л.А. Единицы физических величин и их размерности: учебно-справочное руководство / Л.А. Сена : - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1988. - 432 с

30 Мищенко, Г.Л. Синтетические методы органической химии / Г.Л. Мищенко, К.В. Вацуро. - М.: Химия, 1982. - 440 с.

31 Любарский, Г.Д. Химическая промышленность / Г.Д. Любарский, М.М.Стрелец. - М.: Наука. – 1967.

32 Флореа, О. Расчеты по процессам и аппаратам химической технологии / под ред. С.З. Кагана. – М.: Химия, 1971. – 419 с.

33 Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учебное пособие для вузов / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков: 10 изд., пер. и доп. – Л.: Химия, 1987. - 587 с.

34 Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учеб. пособие для вузов / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков; под ред. чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова. – Изд. 10-е, перераб. и доп.–Л.:Химия, 1987.- 576с.: ил.

35 Овчинников, В.И. Производство капролактама / В.И. Овчинников, В.Р. Ручинский. – М.: Химия, 1977. – 264 с.

- 36 Гутник, С.П. Расчеты по технологии органического синтеза / С.П. Гутник, М.: Химия, 1988. – 272 с.
- 37 Мищенко, К.П. Краткий справочник физико-химических величин / и А.А. Равдель; под ред. К.П. Мищенко, Л.: Химия, 1974, - 200 с.
- 38 Викторов, М.М. Методы вычисления физико-химических величин и прикладные расчеты / М.М. Викторов, – Л.: Химия, 1977. – 360 с.
- 39 Некрасов, Б.В. Краткий справочник химика / Под ред. Б.В. Некрасова - М.-Л.: Химия, 1964. - 559 с.
- 40 Рабинович, В.А. Краткий химический справочник / В.А. Рабинович, З.Я. Хавин: Химия. М.: Изд.2-е. - 392 с.
- 41 Справочник химика. Том 2 . Основные свойства неорганических и органических соединений. 2 изд., пер. и допол., Изд-во "Химия", М, Л. 1963
- 42 Справочник химика. Том 2. Основные свойства неорганических и органических соединений. 3 изд., перераб. и допол., Изд-во "Химия", Л. 1971
- 43 Кабанов, В.А. Энциклопедия Полимеров / П - Я; ред. коллегия: В.А. Кабанов (глав.ред) [и др.] Т.3 - М. "Советская Энциклопедия", 1977. - 1152 с.
44. Смирнов, Н.Н. Химические реакторы в примерах и задачах: учебное пособие для вузов / А.И. Волжанский, Н.Н. Смирнов ; 2-е изд., переработ.- Л.: Химия, 1986.-224 с.
- 45 Рабинович, В.А. Краткий химический справочник / Рабинович В.А., Хавин З.Я; под общ. ред. А.А. Потехина - 3-е изд., перераб. и доп., - Л.: Химия, 1991. - 432 с.
- 46 Варгафтик, В.Д. Справочник по теплофизическим свойствам жидкостей и газов / В.Д. Варгафтик. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
- 47 Литвин, Ф.Л. Справочник конструктора точного приборостроения / под ред. д-ра техн.наук проф. Ф.Л.Литвина.. - М.: «Машиностроение», 1964.- 583с.
- 48 Чернышев, А.К. Сборник номограмм для химико-технологических расчетов / А.К.Чернышев, К.Л. Поплавский, Н.Д. Заичко – Л.: Химия, 1974. – 200 с.

49 Митинов А. В. Машины и аппараты химических производств / Оборудование для производства полимерных и строительных материалов; А. В. Митинов, О. Н. Жаркова.– Новополюцк: ПГУ, 2008. - 280 с.

50 Справочник химика [электронный ресурс] / Цилиндрическая обечайка. - Режим доступа <http://chem21.info/info/1092971/> свободный (Дата обращения 5.05.2016)

51 ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность, 1989-51с.

52 Альперт, Л.З. Основы проектирования химических установок : учеб. пособие для учащихся химико-механич. спец. техникумов / Л.З. Альперт - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш.шк., 1989. - 304 с.; ил.

53 Лашинский, А.А. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры / Лашинский А.А., Толчинский А.Р.: "Машиностроение", 1970 г.- 752 с.

54 Собрание стандартов [электронный ресурс] / Сосуды и аппараты, нормы и методы расчета на прочность. Укрепление - Режим доступа <http://gigabaza.ru/doc/72111-p2.html>-свободный (Дата обращения 28.04.2016)

55 ГОСТ 24755-81 (СТ СЭВ 1639-79). Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий.

56 ГОСТ 24755-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий.

57 ГОСТ Р 52857.3-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.

58 Сергеев, А.В. Расчет экономической эффективности дипломного проекта: методические указания по экономической части дипломного проекта / А.В. Сергеев. – Тольятти: ТГУ, 2007. – 29 с.

59 Пелих, А.С. Экономика предприятия / А.С. Пелих, В.М. Джуха, И.И. Боков и др. Ростов н/Д: Феникс, 2002. – 328 с.

60 Шушкина, Ж.В. Методические указания к экономическому обоснованию курсовых и дипломных проектов / Ж.В. Шушкина. – Тольятти: Изд-во ТолПИ, 1997. – 28 с.

61 Занько, Н.Г. Безопасность жизнедеятельности / Н.Г. Занько, Г.А. Корсаков, К.Р. Малаян; под общ. ред. О.Н. Рускак. – С.-Пб.: Петербургская лесотехническая академия, 1996.

62 ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Изменением N 1)

63 Горина, Л.Н. Методические указания «Идентификация опасных и вредных производственных факторов» / Л.Н. Горина - Тольятти: ТГУ, 2002

64 Тимофеева, С.С. Методы и технологии оценки производственных рисков: практические работы для магистрантов по направлению «Техносферная безопасность» / С.С. Тимофеева.- ИрГТУ, 2014. – 177 с.

65 ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с Изменением N 1)

66 Белов, С.В. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / / под общ. ред. С.В. Белова. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 1999. – 448с.

67 12-ФЗ технический регламент о требованиях пожарной безопасности [электронный ресурс] / Классификация пожарной техники. М.2014 - режим доступа <http://www.0-1.ru/law/showdoc.asp?dp=123-fz&chp=12> - свободный (Дата обращения 10.05.2016)

68 Занько, Н.Г. Безопасность жизнедеятельности [Текст]/ Н.Г. Занько, Г.А. Корсаков, К.Р. Малаян и др.; под общ. ред. О.Н. Рускак. – С.-Пб.: Петербургская лесотехническая академия, 1996.

69 Шмаль, А.Г. Факторы экологической опасности и экологические риски / А.Г Шмаль. - г.Бронницы: МП «ИКЦ БНТВ», 2010 г.

70 Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ.

71 Лопатина, В.В. Правила русской орфографии и пунктуации. Полный академический справочник / под ред. В.В.Лопатина. - М.: Эксмо, 2007. - 480 с.

72 Горина, Л.Н. Методические указания к дипломному проектированию по безопасности и экологичности объекта дипломного проекта/Сост. Л.Н. Горина. – Тольятти: изд-во ТГУ, 2003. – 17 с.

73 ГОСТ 2.105 — 95. ЕСКД. «Общие требования к текстовым документам» (с обновлением на 13. 01. 2010 г.)

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 Виды и нормы образования твердых отходов ПА-6

Наименование отхода, отделение, аппарат	Метод складирования, транспорт, тара	Кол-во отходов, кг/сутки	Периодичность образования	Характеристика твердых и жидких отходов		
				Химический состав, влажность, %	Физические показатели, плотность, кг/м <sup>3</sup>	Класс опасности отходов
Отходы затвердевших полиамидов. Гранулятор	Загрузка в тару, вывоз на полигон захоронения «ЗАО Рекультивация»	2,16	Периодически (только при промывке или замены фильеры)	ПА 6 >99%, следы капролактама <1%	Затвердевший расплав полимера	5
Отходы затвердевших полиамидов. Отделитель агломератов	Загрузка в тару, продажа	5	Постоянно при нормальном режиме	ПА 6 >99%, следы капролактама <0,01%	Агломераты ПА 6	5
Отходы затвердевших полиамидов. Распределительный клапан	Загрузка в тару, продажа	150	Только во время пуска или неисправностей	ПА 6 >99%, следы капролактама <0,01%	Крошка ПА 6	5

Продолжение таблицы А.1

Наименование отхода, отделение, аппарат	Метод складирования, транспорт, тара	Кол-во отходов, кг/сутки	Периодичность образования	Характеристика твердых и жидких отходов		
				Химический состав, влажность, %	Физические показатели, плотность, кг/м <sup>3</sup>	Класс опасности отходов
Отходы затвердевших полиамидов. Непрерывный фильтр	Загрузка в тару, вывоз на полигон захоронения «ЗАО Рекультивация»	0,158	Периодически (при не удовлетворительной работе гранулятора)	Пыль ПА 6 >99%, следы капролактама <0,05%	Мокрая полимерная пыль	5
Отходы затвердевших полиамидов. Сетчатое устройство	Загрузка в тару, продажа	5	Постоянно	ПА 6 >99%, следы капролактама <0,01%	Гранулят повышенных размеров	5
Отходы затвердевших полиамидов. Устройство просеивания	Загрузка в тару, вывоз на полигон захоронения «ЗАО Рекультивация»	1,44	Периодически 1 раз в 2 недели	ПА 6 100%	Затвердевший расплав полимера	5
Итого: Твердых отходов		500,00 т/год				

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1 - Контроль и нормы технологического режима процесса переработки твердых производственных отходов ПА-6

Наименование аппарата	Контролируемый параметр	Показания по вызову на ЦПУ	Предел измерения	Тип прибора	Погрешность измерения	Кто контролирует
Ёмкость хранения	Уровень		20-80%	Предел измерения 0..100% (0..2300 мм). Погрешность измерения $\pm 0,2$ % Погрешность АСУТП $\pm 0,1$ % $\Delta = \pm 0,22$ %	п.и. = $\pm 0,3$ %	Аппаратчик полимеризации
	Понижение уровня	Сигнализация	20%	Сигнальная лампа Звуковая сирена		
	Повышение уровня	Сигнализация	80%	Сигнальная лампа Звуковая сирена		
	Максимальный уровень	Блокировка	90%	Отключение электропривода дозатора		

Продолжение таблицы Б.1

Наименование аппарата	Контролируемый параметр	Показания по вызову на ЦПУ	Предел измерения	Тип прибора	Погрешность измерения	Кто контролирует
	Уровень		макс.контакт	Вибрационный концевой выключатель предельного уровня		Аппаратчик полимеризации
	Максимальный уровень	Блокировка	850 мм	открытие клапана		
	Давление	Показания по вызову на ЦПУ Автоматическое регулирование	0,5-0,9 бар	Измерительный преобразователь давления тип Предел измерения – 0..1,0 бар Погрешность измерения $\pm 0,1$ % Погрешность АСУТП $\pm 0,1$ % $\Delta = \pm 0,6$ мбар	п.и. = $\pm 0,7$ мбар	Аппаратчик полимеризации
	Понижение давления	Сигнализация	0,5 бар	Сигнальная лампа Звуковая сирена		

Продолжение таблицы Б.1

Наименование аппарата	Контролируемый параметр	Показания по вызову на ЦПУ	Предел измерения	Тип прибора	Погрешность измерения	Кто контролирует
	Повышение давления	Сигнализация	0,9 бар	Сигнальная лампа Звуковая сирена		
	Максимальное давление	Блокировка	1,0 бар	Закрытие клапана на подаче азота		
Предварительная емкость	<b>Уровень</b>	Сигнализация на ЦПУ	мин. контакт	Вибрационный концевой выключатель предельного уровня		Аппаратчик полимеризации
	Минимальный уровень	Блокировка	мин. контакт	остановка экструдера Открытие клапана		
Дозирующий насос для полимера	<b>Давление нагнетания</b>	Показания по вызову на ЦПУ Автоматическое регулирование	10-25 бар	Измерительный преобразователь давления тип Предел измерения – 0..35 бар Погрешность измерения $\pm 0,25$ % Погрешность АСУТП $\pm 0,1$ %, $\Delta = \pm 0,095$ бар	п.и. = $\pm 0,13$ бар	Аппаратчик полимеризации

Продолжение таблицы Б.1

Наименование аппарата	Контролируемый параметр	Показания по вызову на ЦПУ	Предел измерения	Тип прибора	Погрешность измерения	Кто контролирует
	Понижение давления	Сигнализация	10 бар	Сигнальная лампа Звуковая сирена		
	Повышение давления	Сигнализация	25 бар	Сигнальная лампа Звуковая сирена		
	Максимальное давление	Блокировка	30 бар	остановка насоса		
	<b>Давление</b>	Показания по вызову на ЦПУ Автоматическое регулирование	10-25 бар	Измерительный преобразователь давления тип Предел измерения – 0..35 бар Погрешность измерения $\pm 0,25$ % Погрешность АСУТП $\pm 0,1$ %, $\Delta = \pm 0,095$ бар	п.и. = $\pm 0,13$ бар	Аппаратчик полимеризации
	Повышение давления	Сигнализация	25 бар	Сигнальная лампа Звуковая сирена		
	Максимальное давление	Блокировка	30 бар	Остановка насоса		

Продолжение таблицы Б.1

Наименование аппарата	Контролируемый параметр	Показания по вызову на ЦПУ	Предел измерения	Тип прибора	Погрешность измерения	Кто контролирует
	<b>Температура</b>	Показания по вызову на ЦПУ Автоматическое регулирование	245-265 °С	Термометр сопротивления Pt100 Предел измерения 0 .. 400 °С Погрешность измерения $\pm 0,15$ % Погрешность АСУТП $\pm 0,1$ % $\Delta = \pm 0,72$ °С	п.и = $\pm 1,0$ °С	Аппаратчик полимеризации
	Понижение температуры	Сигнализация	245 °С	Сигнальная лампа Звуковая сирена		
Экструдер	<b>Давление</b>	Показания по вызову на ЦПУ Автоматическое регулирование	10-25 бар	Измерительный преобразователь давления Предел измерения – Погрешность измерения $\pm 0,1$ % Погрешность АСУТП $\pm 0,1$ %, $\Delta = \pm$ мбар		Аппаратчик полимеризации

Продолжение таблицы Б.1

Наименование аппарата	Контролируемый параметр	Показания по вызову на ЦПУ	Предел измерения	Тип прибора	Погрешность измерения	Кто контролирует
	Повышение температуры	Сигнализация	265 °С	Сигнальная лампа Звуковая сирена		
	Понижение давления	Сигнализация	10 бар	Сигнальная лампа Звуковая сирена		
	Повышение давления	Сигнализация	25 бар	Сигнальная лампа Звуковая сирена		
	Максимальное давление	Блокировка	30 бар	Остановка электродвигателя смесителя-компаундера		
	<b>Температура</b>	Показания по вызову на ЦПУ. Автоматическое регулирование	245-265 °С	Измерительный преобразователь температуры Предел измерения Погрешность измерения $\pm 0,5$ % Погрешность АСУТП $\pm 0,1$ % $\Delta = \pm 0,72$ °С	п.и = $\pm 1,0$ °С	Аппаратчик полимеризации

Продолжение таблицы Б.1

Наименование аппарата	Контролируемый параметр	Показания по вызову на ЦПУ	Предел измерения	Тип прибора	Погрешность измерения	Кто контролирует
	Понижение температуры	Сигнализация	245 °С	Сигнальная лампа Звуковая сирена		
Линия азота	<b>Расход азота</b>	Показания по месту	0,5-1,0 м <sup>3</sup> /ч	Ротаметр Предел измерения 0,12.. 1,2 м <sup>3</sup> /ч Погрешность измерения ±4,0 % Δ = ±0,04 м <sup>3</sup> /ч	п.и = ±0,05 м <sup>3</sup> /ч	Аппаратчик полимеризации
	<b>Давление</b>	Показания по вызову на ЦПУ Автоматическое регулирование	0,5-1,5 бар (абс)	Измерительный преобразователь давления тип Предел измерения – (-0,5..0,5 бар) Погрешность измерения ±0,1 % Погрешность АСУТП ±0,1 %, Δ = ±1,4 мбар	п.и. = ±0,2 мбар	Аппаратчик полимеризации
	Понижение давления	Сигнализация	0,5 бар (абс)	Сигнальная лампа Звуковая сирена		

Продолжение таблицы Б.1

Наименование аппарата	Контролируемый параметр	Показания по вызову на ЦПУ	Предел измерения	Тип прибора	Погрешность измерения	Кто контролирует
	Повышение давления	Сигнализация	1,5 бар(абс)	Сигнальная лампа Звуковая сирена		
	<b>Температура</b>	Показания по вызову на ЦПУ	120-180 °С	Термометр сопротивления	п.и = $\pm 0,5$ °С	Аппаратчик полимеризации
		Автоматическое регулирование		Предел измерения 0 .. 200 °С Погрешность измерения $\pm 0,15$ % Погрешность АСУТП $\pm 0,1$ %, $\Delta = \pm 0,36$ °С		
	Понижение температуры	Сигнализация	120 °С	Сигнальная лампа Звуковая сирена		
	Повышение температуры	Сигнализация	180 °С	Сигнальная лампа Звуковая сирена		

Продолжение таблицы Б.1

Наименование аппарата	Контролируемый параметр	Показания по вызову на ЦПУ	Предел измерения	Тип прибора	Погрешность измерения	Кто контролирует
	<b>Температура</b>	Показания по вызову на ЦПУ Автоматическое регулирование	245-265 °С	Термометр сопротивления Pt100 Предел измерения 0 .. 400 °С, Погрешность измерения $\pm 0,15$ % Погрешность АСУТП $\pm 0,1$ % $\Delta = \pm 0,72$ °С	п.и = $\pm 1,0$ °С	Аппаратчик полимеризации
	Понижение температуры	Сигнализация	245 °С	Сигнальная лампа Звуковая сирена		
	Понижение температуры	Сигнализация	245 °С	Сигнальная лампа Звуковая сирена		
	Повышение температуры	Сигнализация	265 °С	Сигнальная лампа Звуковая сирена		

Продолжение таблицы Б.1

Наименование аппарата	Контролируемый параметр	Показания по вызову на ЦПУ	Предел измерения	Тип прибора	Погрешность измерения	Кто контролирует
	<b>Температура</b>	Показания по вызову на ЦПУ Автоматическое регулирование	245-265 °С	Термометр сопротивления Pt100 Предел измерения 0 .. 400 °С Погрешность измерения ±0,15 % Погрешность АСУТП ±0,1 %, Δ = ±0,72 °С	п.и = ±1,0 °С	Аппаратчик полимеризации
	Повышение температуры	Сигнализация	265 °С	Сигнальная лампа Звуковая сирена		
	Понижение температуры	Сигнализация	245 °С	Сигнальная лампа Звуковая сирена		

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документация</i>						
A1			16.ДП.ХХПыТ.12.61.00.000 СБ	Сборочный чертёж		
				Сборочные единицы		
Справ. №		1	16.ДП.ХХПыТ.12.61.01.000	Обечайка	1	
		2	16.ДП.ХХПыТ.12.61.02.000	Крышка	1	
		3	16.ДП.ХХПыТ.12.61.03.000	Опорная лапа	4	
		4	16.ДП.ХХПыТ.12.61.04.000	Люк-лаз	1	
		a	16.ДП.ХХПыТ.12.61.05.000	Штуцер Ду 200	1	
		b	6.ДП.ХХПыТ.12.61.06.000	Штуцер Ду 125	1	
		c	16.ДП.ХХПыТ.12.61.07.000	Штуцер Ду 25	1	
		d	16.ДП.ХХПыТ.12.61.08.000	Штуцер Ду 50	1	
		f	16.ДП.ХХПыТ.12.61.09.000	Штуцер Ду 50	1	
		g	16.ДП.ХХПыТ.12.61.10.000	Штуцер Ду 25	1	
		h1	16.ДП.ХХПыТ.12.61.11.000	Штуцер Ду 125	1	
		h2	16.ДП.ХХПыТ.12.61.12.000	Штуцер Ду 125	1	
		i	16.ДП.ХХПыТ.12.61.13.000	Штуцер Ду 25	1	
		k	16.ДП.ХХПыТ.12.61.14.000	Штуцер Ду 600	1	
		l	16.ДП.ХХПыТ.12.61.15.000	Штуцер Ду 25	1	
				Стандартные изделия		
				Болт М42х80	8	
				ГОСТ 7780-70		
				Гайка М42	8	
				ГОСТ 5915-70		
<b>16.ДП.ХХПыТ.12.61</b>						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.	Пров.	Н.контр.	Утв.	Фирстова	Щукин	Петрова
				Остапенко		
<b>Сборник</b>				<b>твердых производственных отходов</b>		
Лит.	Лист	Листов				
		1				
<b>ТГУ, ИХиИЭ,</b>						
<b>г.р. МАХПЗ-1001</b>						
<i>Копировал</i>						<i>Формат А4</i>

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
						<i>Документация</i>		
Справ. №	A1			16.ДП.ХХПлТ.12.62.00.000 СБ	Сборочный чертеж			
					<i>Сборочные единицы</i>			
			1	16.ДП.ХХПлТ.12.62.01.000	Формообразующая головка	1		
			2	16.ДП.ХХПлТ.12.62.02.000	Компрессионный цилиндр	1		
			3	16.ДП.ХХПлТ.12.62.03.000	Трубопровод легазации	1		
			4	16.ДП.ХХПлТ.12.62.04.000	Маслонасос	1		
			5	16.ДП.ХХПлТ.12.62.05.000	Цилиндр расплавления	1		
			6	16.ДП.ХХПлТ.12.62.06.000	Трубопровод подачи ТПО	1		
			7	16.ДП.ХХПлТ.12.62.07.000	Узел подшипников	1		
			8	16.ДП.ХХПлТ.12.62.08.000	Станина экструдера	1		
Подп. и дата			9	16.ДП.ХХПлТ.12.62.09.000	Редуктор с ременной передачей со встроенным теплообменником для охлаждения смазочного масла	1		
			10	16.ДП.ХХПлТ.12.62.010.000	Редуктор двигателя	1		
			11	16.ДП.ХХПлТ.12.62.011.000	Электродвигатель инвентор с принудительным охлаждением	1		
	Взам. инв. №	A		16.ДП.ХХПлТ.12.62.012.000	Штуцер ДУ 50	1		
		Б		16.ДП.ХХПлТ.12.62.013.000	Штуцер ДУ 50	1		
		В		16.ДП.ХХПлТ.12.62.014.000	Штуцер ДУ 25	1		
		Г		16.ДП.ХХПлТ.12.62.015.000	Штуцер ДУ 25	1		
	Подп. и дата	Д		16.ДП.ХХПлТ.12.62.016.000	Штуцер ДУ 25	1		
	Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	16.ДП.ХХПлТ.12.62.00.000 СБ	
Разраб.		Фирстова				Лит.	Лист	Листов
Пров.		Щукин					1	2
Н.контр.		Петрова				ТГУ, ИХиИЭ, гр. МАХПз-1001		
Утв.	Остапенко				Копировал Формат А4			

