



**ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ  
ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ  
ОТХОДОВ УПАКОВКИ**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ГОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет"

# **ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ УПАКОВКИ**

Методические указания  
для студентов 5, 6 курсов специальности 261201 и  
4 курса специальности 280202 всех форм обучения



---

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2007

УДК 504.064.45(075)  
ББК Л710.09я73-5  
О224

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор  
Н.С. Попов

Кандидат технических наук, профессор  
А.А. Коптев

Составители:

А.С. Клинков, И.В. Шашков, М.В. Соколов, П.С. Беляев

О224 Оборудование и технология вторичной переработки отходов упаковки : методические указания / сост. : А.С. Клинков, И.В. Шашков, М.В. Соколов, П.С. Беляев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 56 с. – 100 экз.

Лабораторные работы способствуют закреплению знаний лекционного курса по утилизации упаковки, умению применять технологические методы утилизации и вторичной переработки упаковки при ее проектировании и производстве.

Предназначены для проведения лабораторных работ по курсу "Утилизация упаковки" студентами 5, 6 курсов, обучающимися по специальности 261201 "Технология и дизайн упаковочного производства", а также студентами 4 курса, обучающимися по специальности 280202 "Инженерная защита окружающей среды".

УДК 504.064.45(075)  
ББК Л710.09я73-5

© ГОУ ВПО "Тамбовский государственный  
технический университет" (ТГТУ), 2007

Учебное издание

# ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ УПАКОВКИ

Методические указания

Составители:

КЛИНКОВ Алексей Степанович,  
ШАШКОВ Иван Владимирович,  
СОКОЛОВ Михаил Владимирович,  
БЕЛЯЕВ Павел Серафимович

Редактор Е.С. Мордасова  
Компьютерное макетирование Е.В. Корблевой

Подписано в печать 11.12.07  
Формат 60 × 84/16. 3,25 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 805

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## Лабораторная работа 1

### Знакомство с "дуальной системой" Германии

**Цель работы:** ознакомление с "дуальной системой" Германии по утилизации использованной упаковки и ее экомаркировкой.

**Оборудование и материалы:** Персональный компьютер с выходом в глобальную сеть Internet, различные виды упаковки.

#### 1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА

По литературным источникам [1], [2], [3] ознакомиться с мировым опытом утилизации твердых бытовых отходов (ТБО).

#### 2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

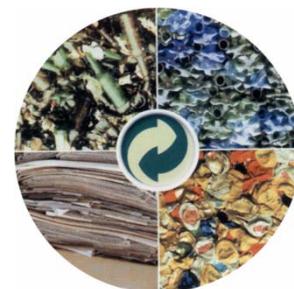
1. Ознакомиться с "дуальной системой" Германии по утилизации использованной упаковки и ее экомаркировкой.
2. Выполнить обзор мировых и отечественных технологий сбора, сортировки и переработки отходов упаковки в глобальной сети Internet.
3. Выбрать метод вторичной переработки упаковочного материала по заданию преподавателя.

#### 3. "ДУАЛЬНАЯ СИСТЕМА" ГЕРМАНИИ

Дуальная система Германии (DSD) была создана как самостоятельная некоммерческая организация в 1990 г. Законодательно она регулируется немецким постановлением об упаковке от 1991 г. Система была разработана как сеть, объединяющая промышленные предприятия, производящие самые различные виды продукции, и отвечающая за создание муниципальных программ по переработке отходов и их финансирование за счет сбора взносов от немецких производителей продукции.

Дуальная система самофинансируется за счет продажи лицензий на использование товарного знака "Зеленая точка" (в нашей стране знак "Зеленая точка" сегодня достаточно хорошо известен любому покупателю – он имеется на многих упаковках продукции, импортируемой в Россию из стран Западной Европы). Стоимость лицензии отражает реальные цены по организации переработки упаковочных отходов в зависимости от материалов, массы и вида. Эта финансовая модель побуждает промышленные предприятия разрабатывать и производить легко утилизируемую упаковку, уменьшать объемы использования упаковки и упаковочных материалов. А это, в свою очередь, приводит к снижению экологических платежей.

Использование данной системы в Германии привело, с одной стороны, к очевидному росту экономических показателей, а с другой – к уменьшению потребления упаковки. В 2000 г. реальное потребление упаковки было на 18 % меньше, чем оно могло бы быть без применения Дуальной системы. Эти данные – результат впервые проведенного исследования ("Прогноз АГ", Базель) практической отдачи Дуальной системы, ее устойчивости и перспектив.



#### 3.1. Результаты исследования "Прогноз АГ"

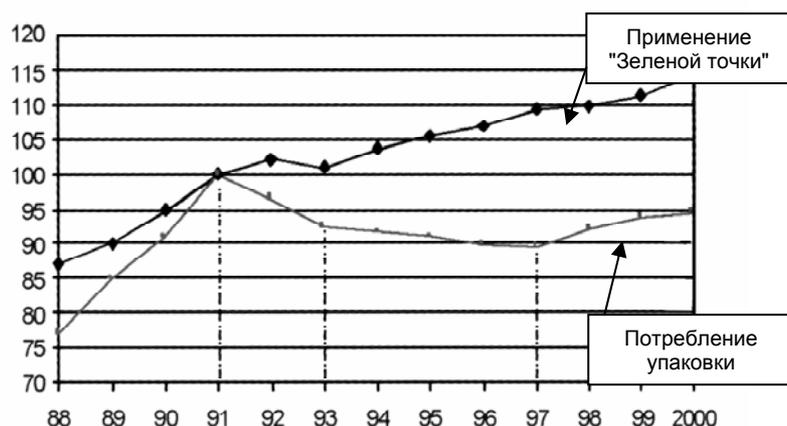
Главное значение проведенного исследования заключается в том, что Дуальная система внесла позитивный вклад в устойчивое развитие экономики Германии, направленное на сохранение ресурсов страны и защиту окружающей среды. Переработка отходов упаковки сопровождается гораздо меньшими объемами выбросов, чем их утилизация путем сжигания или захоронения на свалках. Благодаря дуальной системе объем остатков упаковочных отходов, утилизируемых ежегодно (путем сжигания или хранения на свалках), уменьшился с 1991 по 2000 г. приблизительно на 65 %.

Эксперты "Прогноз АГ" в дополнение к высокой экологической эффективности Дуальной системы отметили ее

большое социальное значение. За счет использования инноваций, создания привлекательного инвестиционного климата, социального признания благодаря внедрению Дуальной системы в Германии создано дополнительно 17 тыс. рабочих мест. Желание потребителей упаковки разделять и сортировать отходы говорит об их высоком сознании, чего не наблюдалось в странах Западной Европы еще в 90-е годы XX в. Девять из десяти домашних хозяйств Германии в настоящее время сами сортируют отходы упаковки.

По оценке одного из популярных изданий "Kundenmonitor 2001", потребители все в большей степени ценят широкий круг предлагаемых Дуальной системой услуг, благодаря которой отходы собираются прямо от домов конечных потребителей.

**"Зеленая точка" и потребление упаковки населением Германии (1988–2000 гг.)**



Высокие оценки Дуальной системы – следствие пунктуальности служб, занимающихся сбором отходов, а также близость и доступность контейнеров для отходов.

В 2000 г. благодаря переработке отходов пластиковых бутылок (в рамках Дуальной системы) в Германии было сэкономлено около 20 млрд. МДж энергии. Такое количество позволяет снабжать теплом 1,8 млн. жителей в домах Берлина в течение 130 дней. Более того, уменьшение выбросов CO<sub>2</sub>, губительных для окружающей среды, будет также оценено экспертами в дальнейшем на предмет эффективности рециклинга в Германии.

### **3.2. Снижение цен за счет инноваций**

Цель Дуальной системы – постоянное улучшение ценовых пропорций. Чтобы уменьшить взносы и одновременно обеспечить устойчивое развитие Дуальной системы, необходимо применять новые технологии сбора и переработки отходов. Об этом также говорилось и в исследовании "Прогноз АГ". Дуальная система активно занимается этими вопросами на протяжении нескольких лет. В настоящее время, например, оборудование типа "near-infrared" является высокоэффективным решением для автоматической сортировки так называемых "легких упаковок". В результате кооперации муниципальных и частных компаний по управлению отходами полностью автоматизирована сортировка данного вида отходов, и это новшество внедряется по всей Германии. Эта современная технология позволяет получить больший объем и высокую чистоту материалов после рециклинга и одновременно уменьшить стоимость переработки упаковочных отходов.

В настоящее время Дуальная система реализует новую программу так называемого глубокого рециклинга использованных упаковок. Например, пластиковые бутылки могут быть переработаны в новые бутылки для напитков или продукцию для текстильной промышленности. Так, завод фирмы Cleanaway Plastic Recycling GmbH в Ростке предназначен для ежегодной переработки 6000 т прозрачных ПЭТ-бутылок (из собранных Дуальной системой) в новые бутылки или в волокна для текстильной промышленности. Новая технология позволяет достичь такого же высокого качества продукции, как и при изготовлении из первичных материалов.

Благодаря инвестициям в новые технологии, совершенствованию оборудования для сортировки и переработки отходов, "Зеленая точка" с каждым годом становится все популярнее и дешевле для промышленности, торговли и конечных потребителей. Взносы за лицензии уменьшились в целом на 440 млн. евро по отношению к 1998 г., т.е. подешевели на 20 %. Это уменьшение планируется и в дальнейшем. Потребитель платит только 1,9 евро на человека в месяц за централизованный сбор упаковочных отходов.

С целью устойчивого развития дуальной системы и снижения потенциала цен на обращение упаковочных отходов предусматривается применение логистики сбора других отходов для переработки. Это принесет большую пользу потребителям и одновременно поможет защите окружающей среды.

## **4. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МАРКИРОВКА НА УПАКОВКЕ**

### **4.1. Знаки, применяемые для обозначения экологичности предметов в целом или их отдельных свойств**

Примерами подобных знаков, существующих в мире, могут служить:

- "Голубой Ангел" (ФРГ) (рис. 1.1, а); "Белый Лебедь" (Скандинавские страны) (рис. 1.1, б); "Экологический выбор" (Канада) (рис. 1.1, в); "Эко-знак" (Япония) (рис. 1.1, г);

- эко-знаки различных фирм-товаропроизводителей, стремящихся внести свой вклад в дело сбережения окружающей среды и в то же время сделать за счет этого свою продукцию более привлекательной в глазах потребителей (рис. 1.2);

- знаки на аэрозолях, отражающие отсутствие веществ, приводящих к уменьшению озонового слоя вокруг Земли; различные знаки на предметах из пластика (в основном полиэтилена), отражающие возможность их утилизации с наименьшим вредом для окружающей среды.

Отдельно стоит упомянуть довольно распространенные знаки на аэрозольных препаратах и других материалах, отражающие отсутствие веществ, приводящих к разрушению озонового слоя вокруг Земли. Существуют самые разнообразные их виды, примеры которых можно видеть на рис. 1.3.

Существуют и комплексные знаки, которые учитывают экологические характеристики продукции, наряду с другими, например, эргономическими. Визуально это очень хорошо демонстрируется маркировкой для компьютерной техники Шведской конфедерации профессиональных работников (ТСО), знаки которой применялись на протяжении нескольких лет – рис. 1.4.

Стандартным международным знаком, обозначающим пригодность предмета потребления к вторичной переработке и/или содержание в нем вторичных материалов, является так называемый Mobius Loop ("Лента Мебиуса", рис. 1.5, а), хотя в то же время встречаются и похожие (даже включающие его изображение) и отличающиеся от него знаки (рис. 1.5, б, в). Существуют самые разнообразные изображения знаков, используемых в этих целях, при этом наиболее распространенными являются знаки, олицетворяющие замкнутый цикл "создание-применение-утилизация-воссоздание и т.д.", иногда с указанием материала, поддающегося переработке. Этот подход хорошо иллюстрируют знаки для упаковочных материалов, которые могут быть подвергнуты вторичной переработке (в определенных случаях – в рамках специальных программ), либо произведены из них (рис. 1.6).

В то же время, например, похожесть идентификационной маркировки для пластика (бутылок, контейнеров), разработанной Обществом пластиковой промышленности (SPI), на эко-знаки (те же стрелки – рис. 1.7) может вызывать путаницу у некоторых потребителей.

Некоторые компании вместо стрелок используют знак в форме треугольника, внутри которого и/или рядом с ним размещают данные о материале. В Италии упаковка маркируется знаками в форме шестиугольника или круга, внутри которых указывается сокращенное обозначение упаковочного материала (рис. 1.8).

Так как пластиковые бутылки из-под напитков составляют довольно значительную часть бытовых отходов и занимают много места в контейнерах для мусора, то, видимо, для их более рационального размещения в местах сбора и при перевозке

для утилизации, изготовители такой упаковки стали предусматривать возможность их складывания. Это нашло отражение на этикетках напитков в таких бутылках, на которых появились специальные знаки, информирующие об этом (рис. 1.9).

При этом одним из наиболее часто встречающихся на упаковке знаков является знак "Der Grüne Punkt" (Зеленая точка), различные модификации которого изображены на рис. 1.10.

В рамках разрабатываемой в настоящее время "Директивы Совета ЕС об упаковке и отходах от нее" среди многих вопросов содержатся требования к маркировке упаковочных средств с целью решения вопроса идентификации. В соответствии с этими требованиями упаковка должна маркироваться следующими знаками:

- упаковка повторного или многоразового пользования (рис. 1.11, а);
- восстанавливаемая (поддающаяся вторичной переработке с извлечением пользы) упаковка (рис. 1.11, б, в);
- упаковка, частично или полностью произведенная из вторичных ресурсов (рис. 1.11, г), при этом указывается процентное соотношение вторичных материалов.

При необходимости для идентификации материалов, из которых изготовлена упаковка, на нее наносятся цифровые или буквенные обозначения, располагаемые в центре или ниже первых двух знаков и характеризующие вид материала. Так, пластики характеризуются цифрами от 1 до 19, бумага и картон – от 20 до 39, металлы – от 40 до 49, дерево – от 50 до 59, текстиль – от 60 до 69, стекло – от 70 до 79.

#### **4.2. Знаки, призывающие к сбережению окружающей среды**

Знаки этой группы, некоторые из которых изображены на рис. 1.12, чаще всего встречаются на упаковках потребительских товаров, и их смысл сводится к призывам не сорить, поддерживать чистоту и сдавать соответствующие предметы для вторичной переработки. В качестве основы этого вида знаков зачастую используются изображения соответствующих знаков 1-й группы, сопровождаемые характерной надписью.

#### **4.3. Знаки, отражающие опасность предмета для окружающей среды и находящиеся на пересечении областей применения предупредительной и эко-маркировки**

Примерами таких знаков могут служить:

- знак "Опасно для окружающей среды", используемый в рамках законодательства ЕС о классификации, упаковке и маркировке опасных веществ и препаратов (рис. 1.13);
- знаки в виде перечеркнутых мусорных баков. Подтверждением такого понимания смысла подобных знаков может служить, например, инструкция по эксплуатации телевизоров компании THOMSON, где последний из знаков сопровождается следующим текстовым сообщением в отношении элементов питания для пульта дистанционного управления: "Охраняйте окружающую среду! Не выбрасывайте батарейки, обращайтесь в магазин, продавший вам оборудование, который может заниматься их приемом в целях последующей переработки";
- специальный знак для обозначения веществ, представляющих опасность для морской флоры и фауны, при их перевозке по водным путям (рис. 1.14). К сожалению, в России проблемы эко-маркировки еще не получили широкого признания. До недавнего времени знаки экологичности появлялись в России в основном с импортной продукцией и, учитывая незнание их смысла и наличие сопровождающего текста на иностранных языках, их эффективность на российской территории была очень низкой. Отрядным фактом последнего времени стало появление (в основном на продукции зарубежных фирм и их совместных предприятий с российскими партнерами) экологических знаков и композиций, направленных на сбережение природы и сопровождаемых надписями на русском языке.

#### **4.4. Общие требования к содержанию эко-маркировки в России**

Экологическая маркировка полимерной тары для применения в рамках мероприятий по рациональному использованию ресурсов (предметы, подлежащие сбору и вторичной переработке) по ГОСТ Р 51760–2001 (и одновременно-идентификационная маркировка такой тары в отношении применяемого конструкционного полимерного материала) включает в себя знак "Петля Мебиуса" (рис. 1.15, а), указывающий на восстанавливаемую (посредством вторичной переработки) упаковку, и знак (рис. 1.15, б), призывающий к охране окружающей среды (не сорить, поддерживать чистоту и сдавать тару для вторичной переработки). При этом внутри "Петли Мебиуса" или под ней наносят обозначение полимерного материала по ГОСТ 24888–81 (например, полиэтилен высокого давления – ПЭВД, полипропилен – ПП, полистирол – ПС, полиэтилентерефталат – ПЭТФ), а также информацию о вторичной переработке.

Среди знаков, применяемых в существующих системах сертификации и прочих системах одобрения (рекомендации) по экологическим требованиям, встречающихся на территории России, – Знак соответствия Системы обязательной сертификации по экологическим требованиям (рис. 1.16), Экологический знак Международного экологического фонда и награды различных выставок и конкурсов экологической направленности.

В соответствии с Федеральным законом от 14 марта 1995 г. № 33-ФЗ "Об особо охраняемых природных территориях" государственные природные заповедники и национальные парки вправе иметь собственную символику (флаги, вымпелы, эмблемы и другие). Порядок утверждения, использования и охраны такой символики устанавливается Правительством Российской Федерации, а на его основе разрабатываются нормативные документы органов исполнительной власти, компетентных в данных вопросах.

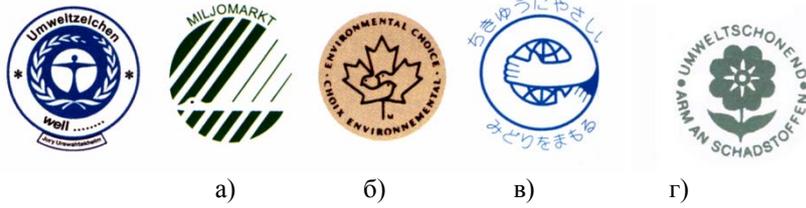


Рис. 1.1

Рис. 1.2



Рис. 1.3



Рис. 1.4



Рис. 1.5



Рис. 1.6



Рис. 1.7



Рис. 1.8

Рис. 1.9



Рис. 1.10

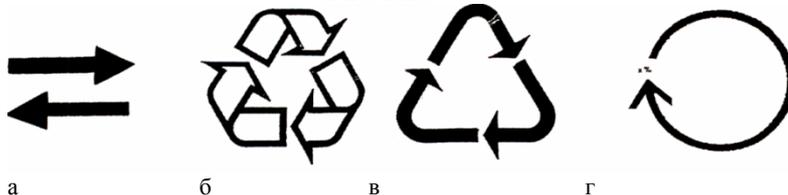


Рис. 1.11



Рис. 1.12



Рис. 1.13



Рис. 1.14



Рис. 1.15



Рис. 1.16

#### 4.5. Рекомендации по применению эко-маркировки товаров

Общей рекомендацией может быть использование корректных по форме и содержанию формулировок взамен нечетких и неконкретных заявлений, допускающих их различную интерпретацию. Кроме того, публичное использование понятий экологического характера в наименованиях объектов хозяйственной деятельности, процессов, продукции или услуг, приставки "эко", также должно осуществляться в обоснованных случаях и в формах, обеспечивающих их однозначную понятность для потребителей (пользователей).

- Сначала нужно оценить экологичность продукции и определить, что конкретно должно быть сообщено потребителям.

- При подготовке такого сообщения следует помнить: эко-маркировка без четкого выражения (сообщения) относительно экологических характеристик товара, отличающего его от других, может вводить потребителей в заблуждение.

- Полезно убедиться, что потребители выделяют предлагаемую им эко-маркировку из массы информации о товаре и правильно понимают ее;

- Материалы, подтверждающие достоверность эко-маркировки, должны иметься в наличии, чтобы быть предъявленными по запросу.

- При обращении за услугой по экологической оценке продукции и предоставлению права использования эко-маркировки, подтвержденной независимой стороной, убедитесь, что организация, оказывающая такие услуги, компетентна и уполномочена на их проведение.

#### 5. Варианты задания на выбор технологии и оборудования вторичной переработки упаковки

Вид упаковки	Вид материала упаковки
Бутылки	Стекло
Металл	Банки, баки
Дерево	Ящики
Бумага, картон	Коробки, пачки
Полимерные материалы (ПЭНП, ПЭВП, ПП, ПВХ, ПЭТФ)	Пакеты, мешки, бутылки

#### 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Электронный вариант материала по "дуальной системе" Германии, технологиям сбора, сортировке и переработке отходов упаковки в разных странах мира.

2. Основные виды экологической маркировки на упаковке.

3. Технологическая схема вторичной переработки упаковки.

#### 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое "дуальная система" и "зеленая точка"?

2. Последствия использования "дуальной системы" в Германии?

3. Как осуществляется сбор, сортировка и переработка отходов упаковки в нашей стране и за рубежом?

4. Дайте классификацию экологической маркировке расположенной на упаковке?

### Лабораторная работа 2

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ ОТХОДОВ ТЕРМОПЛАСТОВ

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** ознакомление с конструкцией и принципом работы ножевого измельчителя, предназначенного для дробления отходов термопластичных полимерных материалов, составление кинематической и расчетной схем, технической характеристики оборудования для измельчения.

Оборудование и материалы: Ножевой измельчитель, технологические отходы упаковки из термопластичных полимерных материалов.

## 1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА

По литературным источникам [4 – 6] ознакомиться с назначением, принципом действия, классификацией и особенностями конструкции ножевых измельчителей. Изучить теорию процесса измельчения полимерных материалов, существующие экспериментальные способы и методы расчета параметров оборудования для измельчения [4 – 6].

## 2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. В лаборатории на рабочем месте ознакомиться с конструкцией ножевого измельчителя. Составить кинематическую схему, описать принцип действия, назначение, особенности работы.

2. Ознакомиться с технологическим процессом измельчения отходов термопластичных полимерных материалов, получить экспериментальные образцы при различных режимах работы ножевого измельчителя (при варьировании частоты вращения ротора, величины зазора между ножами, диаметра отверстий в сменной калибрующей решетке и др.) по указанию преподавателя.

3. Определить гранулометрический состав полученного измельченного полимерного материала.

4. Определить показатель текучести расплава полученного измельченного полимерного материала.

5. Определить физико-механические свойства полученного измельченного полимерного материала (предел текучести при растяжении, относительное удлинение и предел прочности при разрыве).

6. Определить основные параметры ножевого измельчителя: производительность и мощность привода – экспериментально и расчетным путем по соответствующим зависимостям.

7. Составить техническую характеристику ножевого измельчителя.

### 2.1. Описание конструкции оборудования для измельчения

Оборудование для измельчения применяется в химической промышленности для проведения технологических операций: дробления, раздавливания, истирания, расщепления волокнистых ингредиентов и отходов полимерных материалов при их вторичной переработке, а также других операций. Применяемое оборудование: дробилки, мельницы, дезинтеграторы, грануляторы, резательные станки, дистилляторы и др. В качестве рабочих органов дробилок используют роторы с жесткими продольными билами, молотковыми, крестовыми, консольно-стержневыми, ножевыми устройствами. Типовые бильные валы показаны на рис. 2.1.

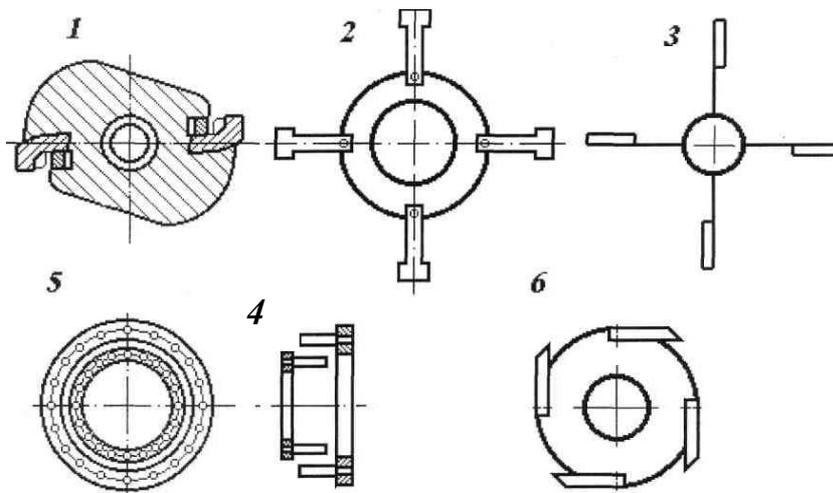
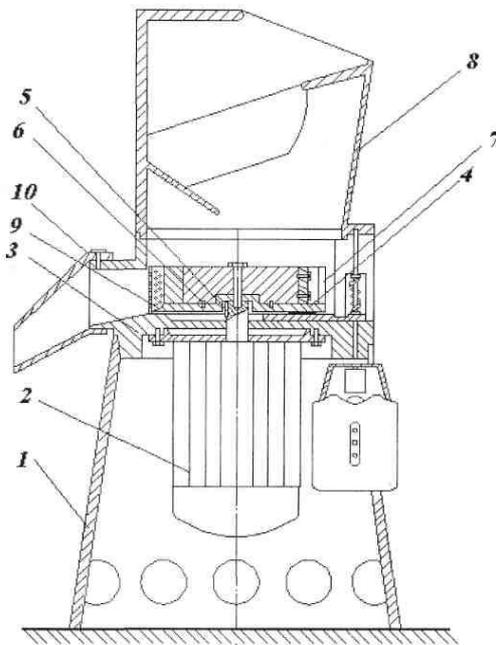


Рис. 2.1. Типовые конструкции бильных валов:

1 – с продольными билами; 2 – молотковые устройства; 3 – крестовые устройства; 4 – консольно-стержневые насадки; 5 – ножевые роторы

Первый тип роторов характеризуется массивностью и жестко закрепленными на них билами различной конфигурации. Служат для грубого дробления твердых тел (различных смол, твердых компонентов и др.) Молотковые устройства 2 характеризуются наличием шарнирно закрепленных насадок-молотков и служат для дробления твердых тел, в т.ч. и отходов пластмасс. Третий тип насадок пригоден для вторичного дробления, разрыхления и распушки продуктов химических производств. Консольно-стержневые насадки 4 характеризуются наличием стержней, жестко закрепленных в дисках, расположенных концентрично и вращающихся навстречу друг другу. Применяется в дезинтеграторах для дробления серы, графита, асбеста, отходов РТИ и др. материалов. Ножевые роторы 5 характеризуется наличием нескольких жестко закрепленных ножей и используется в дезинтеграторах по переработке полимерных материалов и отходов пластмасс, шин и РТИ.

На рис. 2.2. показана типичная конструкция ножевого измельчителя.

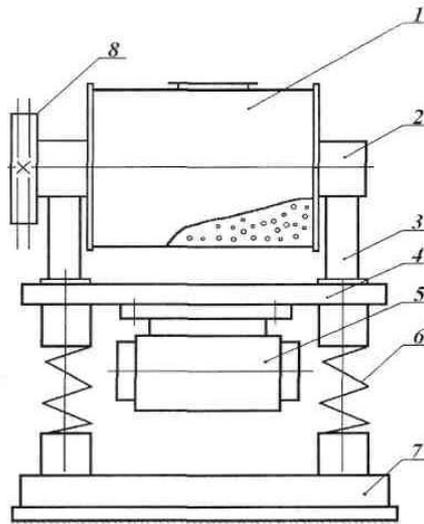


**Рис. 2.2. Ножевой измельчитель:**

1 – станина; 2 – фланцевый электродвигатель; 3 – корпус; 4 – диск; 5 – ротор; 6 – шпильки; 7 – ножи; 8 – загрузочная воронка; 9 – сменная калибрующая решетка; 10 – лоток

Полимерные материалы, подлежащие дроблению, из загрузочного бункера 8 поступают в измельчительную камеру и захватываются вращающимся ротором 5. Измельчение происходит между двумя ножами 7, установленными на вращающемся роторе 5 и неподвижном корпусе 3. Качество измельчения материалов определяется величиной зазора между ножами. Регулировка зазора производится путем радиального перемещения ножей на роторе. Степень измельчения характеризуется величиной отверстий калибровочной решетки 9. При перегрузках (например, заклинивании ножей при попадании металлических предметов), шпильки 6, срезаются, и диск свободно будет вращаться относительно ротора, тем самым, предохраняя электродвигатель от перегрузок.

Перспективное направление в конструировании измельчителей барабанного типа является разработка вибровращательных мельниц. Такое оборудование исключает недостатки присущие барабанным шаровым и вибрационным мельницам: низкая эффективность процесса измельчения, наличие застойных зон, значительная металлоемкость и ограничение по скорости вращения барабана. Конструктивная схема вибровращательной мельницы показана на рис. 2.3.



**Рис. 2.3. Конструктивная схема вибровращательной мельницы:**

1 – барабан; 2 – узел подшипника; 3 – стойка; 4 – виброплита; 5 – вибратор; 6 – пружина; 7 – плита; 8 – клиноременная передача

Она состоит из барабана 1, его подшипниковых опор 2, которые жестко установлены на стойках 3 и опирающиеся на виброплиту 4, которая монтируется на четырех цилиндрических пружинах 6. Вибратор 5 крепится к нижней поверхности плиты 4. Вращение барабана осуществляется от электродвигателя, через редуктор (вариатор) (на рис. 2.3 – условно не показано) и клиноременную передачу 8.

Скорость вращения барабана определяется по эмпирической формуле:

$$n = \frac{8}{(2R_6)^{0,5}}(5\varphi + 2), \quad (2.1)$$

где  $R_6$  – радиус барабана, м;  $\varphi = (0,35 \dots 0,45)$  – коэффициент заполнения барабана мелющими телами.

Масса шаровой загрузки:

$$G_{ш} = \pi R_6 L_6 \rho_{ш}, \quad (2.2)$$

где  $L_6$  – длина барабана, м;  $\rho_{ш}$  – насыпная плотность мелющих тел, м.

Диаметр размольных тел:

$$d_{ш} = \sqrt[3]{\frac{3q \cdot 10^{-2}}{\pi \rho_0}}, \quad (2.3)$$

где  $q = \frac{cE_0}{8 \cdot [R_6^2(n/30)^2 - 2R_6^4(n/30)^6 + R_6^6(n/30)^{10}]}$ ;  $c = 0,57$  – коэффициент при сухом измельчении и  $c = 5,5$  – при мокром

измельчении;  $E_0$  – энергия начала разрушения частиц.

Мощность необходимая для вращения барабана:

$$N_1 = \frac{1,1M\rho_{ш}R_6^{2,5}L_6}{6 \cdot 10^{-4}}, \quad (2.4)$$

где  $M = 0,5$  – эмпирический коэффициент работы массы мелющих тел.

Потребляемая мощность электродвигателем вибратора:

$$N_2 = \frac{N_3}{\eta}, \quad (2.5)$$

где  $N_3 = \frac{\omega^3 K Q M_B^2 G_1}{10^7 \cdot [G_2 + Q^2(G_1^2 + G_2^2)]}$ ;  $\omega$  – частота колебаний барабана,  $c^{-1}$ ;  $M_B$  – момент вибратора, Н·м;  $G_1$  – масса загрузки, кг;

$G_2$  – масса колеблющихся узлов измельчителя (без загрузки), кг;  $Q = (0,4 \dots 0,5)$  – экспериментальный коэффициент;  $K = 1$  – коэффициент, характеризующий передачу мощности от барабана к загрузке.

Средняя амплитуда колебаний барабана:

$$A_{ср} = \frac{M_B}{G_2} \sqrt{\frac{1 + Q^2}{1 + Q^2(1 + \mu^2)}}, \quad (2.6)$$

где  $\mu = \frac{G_1}{G_2}$  – коэффициент соотношения масс загрузки к массе колеблющихся тел узлов мельницы. Оптимальное значение

$\mu = 1,8$ .

Суммарная мощность вибровращательного измельчителя:

$$N_c = N_1 + N_2 \quad (2.7)$$

т. е. мощность, затрачиваемая на вращение барабана и его вибрацию.

Более полное описание конструкций резки каучуков и измельчения других ингредиентов смесей изложены в [4 – 6].

## 2.2. Методика проведения экспериментальных исследований

1. Устанавливаем заданную величину зазора между ножами ножевого измельчителя.
2. Устанавливаем сменную калибрующую решетку с заданным диаметром отверстий  $d = 5$  мм.
3. Отходы полимерного материала в заданном количестве загружаем в воронку ножевого измельчителя.
4. Включаем электродвигатель измельчителя.
5. В процессе измельчения определяем мощность, затрачиваемую на процесс.
6. С помощью специального мерника, секундомера и весов определяем объемную  $Q_v$  и весовую  $G$  производительность, а также насыпную плотность  $\gamma$ .
7. Определяем гранулометрический состав измельченного полимерного материала с помощью штангенциркуля или микрометра.
8. Устанавливаем сменную калибрующую решетку с другим диаметром отверстий.
9. Выполняем действия по п. 3 – 8 для сменной калибрующей решетки с заданными диаметрами отверстий ( $d = 3$  мм;  $2$  мм;  $1$  мм).
10. Количество проводимых экспериментов должно быть не менее трех для каждой калибрующей решетки.
11. Полученные результаты экспериментальных данных заносятся в табл. 2.1.
12. Полученный вторичный полимерный материал подвергается экспресс-контролю по определению показателя текучести расплава, предела текучести при растяжении, относительного удлинения и предела прочности при разрыве. Методика определения этих показателей дана в разделе 2.3. (стр. 21 – 23).
13. Результаты испытаний заносятся в табл. 2.1.

## 2.3. Определение качественных показателей измельченного полимерного материала

### 2.3.1. Показатель текучести расплава полимера определяют по следующей методике.

Для определения показателя текучести расплава используется грузовой капиллярный вискозиметр ИИРТ-М, который соответствует ГОСТу 11645–73. В зависимости от вида исследуемого полимера в соответствии с ГОСТ выбирается капилляр с определенным диаметром, температура испытания и масса груза. Перед испытаниями вискозиметр прогревается в течение одного часа. После этого заполняют камеру прибора гранулами и вводят в нее поршень с грузом. Через 10 мин (время прогрева термопласта) освобождают груз, под действием которого полимер начинает продавливаться через капилляр. При истечении полимера через капилляр срезают прутки (до 10 шт.) за установленный промежуток времени – 60 с, который

засекают по секундомеру. Прутки, которые содержат пузырьки воздуха – забраковывают. На аналитических весах определяют массу срезанных прутков с точностью до 0,001 г.

Показатель текучести расплава I (г/10 мин) определяют по формуле:

$$I = 600m/t, \quad (2.8)$$

где m – масса прутка, г; t – время истечения прутка, с.

За результат испытаний принимают среднее квадратичное всех параллельных определений для каждого эксперимента.

**2.3.2. Предел текучести при растяжении, относительное удлинение и предел прочности при разрыве** полимера определяют по следующей методике.

Гранулы закладываются в пресс-форму, которую устанавливают в пресс и в зависимости от типа полимера прессуют при определенной температуре и давлении в течение заданного времени. Например, гранулы полиэтилена прессуют при температуре 160 °С, давлении 100 кгс/см<sup>2</sup> в течение 15 мин. Из полученных прессованием пластин вырезаются образцы, показанные на рис. 2.4.

Испытания на растяжение проводят согласно ГОСТ 11262–68. Образцы должны иметь гладкую ровную поверхность без вздутий, сколов, трещин, раковин и других дефектов. Образцов для каждого опыта должно быть не менее пяти.

Испытания можно проводить на разрывной машине СМГИ-Ц-250. Устанавливают скорость раздвижения захватов в испытательной машине (рекомендуется 28 мм/мин). Перед испытанием измеряют толщину и ширину образцов в их рабочей части с точностью до 0,01 мм не менее чем в трех местах. Образцы, у которых результаты измерений толщины и ширины рабочей части различаются больше, чем на 0,2 мм заменяются другими.

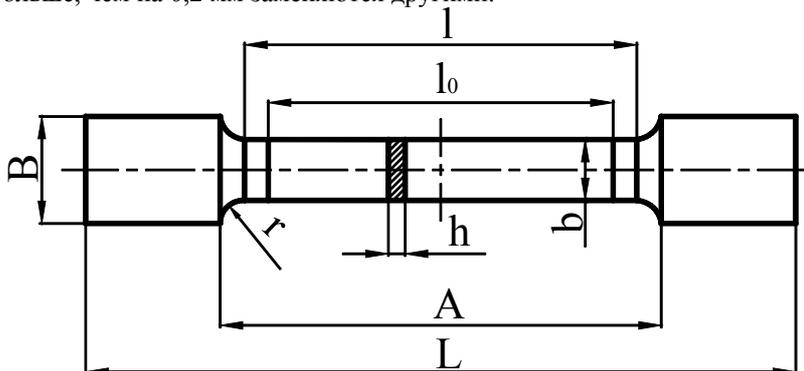


Рис. 2.4. Образец для испытания на растяжение

## 2.2. РАЗМЕРЫ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ

НАЗВАНИЕ РАЗМЕРОВ	ОБОЗНАЧЕНИЕ	ВЕЛИЧИНА В ММ
ОБЩАЯ ДЛИНА	L	40
ШИРИНА ГОЛОВКИ	B	7
ДЛИНА РАБОЧЕЙ ЧАСТИ	L	18
ШИРИНА РАБОЧЕЙ ЧАСТИ	B	3,5
РАЗМЕРЫ ЗАКРУГЛЕНИЙ	R	3
РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ МЕТКАМИ	A	21
ТОЛЩИНА РАБОЧЕЙ ЧАСТИ	H	2
НАЧАЛЬНАЯ БАЗА ОБРАЗЦА	L <sub>0</sub>	16

Перед испытанием на образец наносят метки, ограничивающие его базу и положение кромок захватов. Нанесение меток не должно приводить к изменению свойств образца и к его разрушению по меткам. Образец закрепляют в захваты разрывной машины по меткам, определяющим положение кромок захватов на образце, так, чтобы исключить его скольжение в процессе испытания, при этом разрушение его не должно происходить в месте закрепления. Продольная ось образца должна совпадать с осью захватов и направлением движения подвижного захвата.

В момент достижения предела текучести и разрушения измеряют нагрузку и удлинение. В расчет необходимо принимать результаты, полученные на образцах, разрушившихся в пределах рабочей части.

Предел текучести при растяжении  $\sigma_T$ , и предел прочности при разрыве  $\sigma_P$  вычисляют по формулам:

$$\sigma_T = P_T / bh; \quad (2.9)$$

$$\sigma_P = P_P / bh, \quad (2.10)$$

где  $P_T$  – нагрузка в момент достижения предела текучести, Н;  $P_P$  – нагрузка при которой образец разрушился, Н; b, h – ширина и толщина рабочей части образца, м.

Относительное удлинение при разрыве  $\varepsilon$  вычисляют по формуле:

$$\varepsilon = \Delta l / l_0 \cdot 100, \quad (2.11)$$

где  $\Delta l$  – приращение образца при разрыве, мм.

За результат испытаний принимают среднее квадратичное всех параллельных определений для каждого эксперимента.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НОЖЕВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ

Для составления технической характеристики студент должен определить: мощность привода и производительность ножевого измельчителя, при дроблении отходов термопластов используя приведенные ниже зависимости и методы, изложенные в литературе и лекционном курсе. При этом задаются следующие параметры: направление и скорость вращения ротора, величина загрузки отходов полимера, время измельчения, величина зазора между ножами, суммарная площадь отверстий сита.

Производительность ножевых измельчителей определяется по формуле:

$$G_H = 3600 V S \varphi \gamma, \quad (2.12)$$

где  $V$  – скорость движения крошки через сечение отверстий сита, м/с;  $S$  – суммарная площадь отверстий сита, м<sup>2</sup>;  $\varphi = (0,5 \dots 0,8)$  – коэффициент полноты заполнения отверстий сита крошкой;  $\gamma$  – насыпная плотность крошки, кг/м<sup>3</sup>.

$$V = \frac{Q_v}{3600 S \varphi}, \quad (2.13)$$

где  $Q_v$  – объемная производительность измельчителя, м<sup>3</sup>/ч.

$$S = \frac{\pi d^2}{4} k, \quad (2.14)$$

где  $d$  – диаметр отверстий сменной калибрующей решетки, м;  $k$  – число отверстий в сменной калибрующей решетке.

Мощность на валу электродвигателя измельчителя:

$$N_d = \frac{P V_p z}{1000 \eta}, \quad (2.15)$$

где  $P = \tau_{cp} F$  – сила среза материала одним ножом ротора, Н;  $\tau_{cp}$  – напряжение среза материала, Н/м<sup>2</sup>;  $F = \delta l$  – площадь среза, м<sup>2</sup>;  $\delta$  – толщина среза, м;  $l$  – длина ножа, м;  $V_p = \pi R n / 30$  – скорость вращения ротора, м/с;  $R$  – радиус действия силы среза (определяется путем геометрического измерения), м;  $n$  – число оборотов двигателя, об/мин;  $z$  – количество ножей;  $\eta$  – КПД привода измельчителя.

#### 3.1. Составление технической характеристики

Техническая характеристика должна включать в соответствии с номенклатурным справочником следующие позиции: тип и назначение ножевого измельчителя; производительность; количество ножей; размер ножей: длину, диаметр; рабочую поверхность; частоту вращения ротора; максимальный зазор между ножами; механизм регулирования зазора между ножами; тип и характеристику привода, в т.ч. тип электродвигателя, его мощность, скорость вращения выходного вала и тип, характеристику передачи; габаритные размеры; вес.

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Краткие сведения по типам и конструкциям оборудования для измельчения, их конструктивные особенности, назначение, параметрические расчеты (схемы, эскизы, расчетные формулы по литературе). Раздел выполняется в процессе подготовки к лабораторной работе по рекомендуемой литературе.
2. Измерение и расчет параметров ножевого измельчителя.
3. Определение гранулометрического состава полученного измельченного полимерного материала.
4. Табл. 2.1, и выводы по проведенной работе.
5. Составление технической характеристики.

#### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте классификацию оборудования для измельчения отходов термопластов?
2. Опишите конструкцию ножевых измельчителей применяемых при переработке отходов полимеров?
3. Как осуществляется регулировка зазора между ножами?
4. Какие конструкции аварийных устройств вы знаете?
5. Опишите технологию изготовления ножей измельчителя?
6. Какие параметры измельчителя варьируются в процессе переработки отходов термопластичных полимерных материалов?
7. Какие параметры оказывают влияние на производительность ножевого измельчителя?

## Лабораторная работа 3

### ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕРМОПЛАСТОВ НА ВАЛЬЦАХ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

**Цель работы:** ознакомление с конструкцией и принципом работы вальцов непрерывного действия для производства и переработки полимерных материалов, технологией вторичной переработки отходов пленочных термопластичных полимерных материалов, составление кинематической и расчетной схем, технической характеристики валкового оборудования, определение производительности и энергозатрат на гранулирование термопластов.

Оборудование и материалы: Экспериментальная валковая установка на базе лабораторных вальцов Лб200 80/80, пленочные отходы из термопластичных полимерных материалов.

#### 1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА

По литературным источникам [7] с. 68 – 191 ознакомиться с назначением, принципом действия, классификацией и особенностями конструкции вальцов. Изучить теорию процесса деформирования полимерных материалов в межвалковом зазоре, существующие экспериментальные способы и методы расчета параметров валковых машин [7] с. 5 – 51, [8] с. 4 – 20, с. 34 – 36. Изучить существующие методы утилизации отходов полимерных материалов [9], [10], [1].

#### 2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. В лаборатории на рабочем месте ознакомиться с конструкцией лабораторной установки. Составить кинематическую схему, описать принцип действия, назначение, особенности работы.

2. Ознакомиться с технологическим процессом вторичной переработки отходов пленочных полимерных материалов, получить экспериментальные образцы при различных режимах работы валковой установки (при варьировании величины зазора, частоты вращения валков, количества материала на валках, температуры валков и др.) по указанию преподавателя.

3. Определить показатель текучести расплава полученного вторичного полимерного материала.

4. Определить физико-механические свойства полученных гранул (предел текучести при растяжении, относительное удлинение и предел прочности при разрыве).

5. По соответствующим зависимостям [7], [8] определить основные параметры валковых машин: величину распорного усилия, производительность, мощность привода.

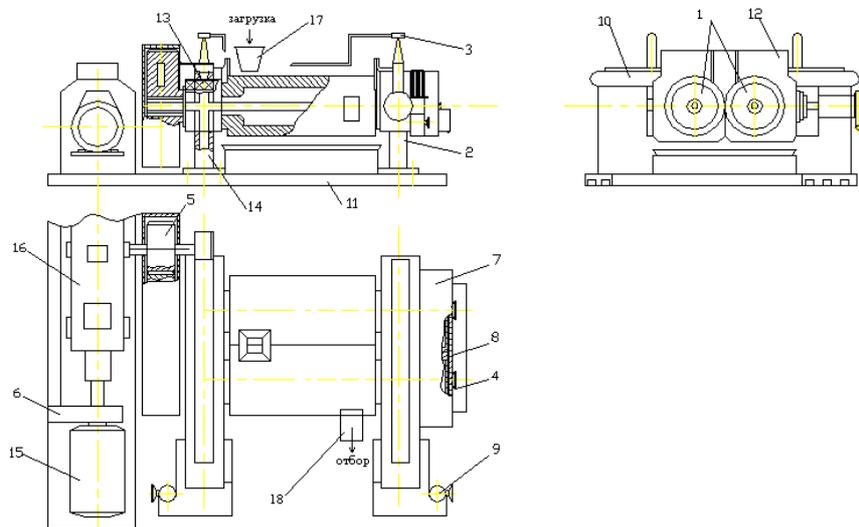
6. Составить техническую характеристику экспериментальной валковой установки.

#### 2.1. Описание конструкции экспериментальной валковой установки

Экспериментальная валковая установка представляет собой машину, основными рабочими органами которой являются два полых вала 1, расположенных в горизонтальной плоскости и вращающихся навстречу друг другу с разными окружными скоростями (рис. 3.1). Валки вальцов монтируются в подшипниках скольжения или качения 13 и установлены в корпусах на станинах 2, 14. Передача вращающего момента осуществляется от вала электродвигателя постоянного тока 15 через редуктор 16 приводные 5 и фрикционные шестерни 8. В привод вальцов встроен ленточный или колодочный тормоз 6. Приводные и фрикционные шестерни заключены в кожухи 7, нижняя часть которых представляет собой масляные ванны для смазки пар. Каждая из двух станин 2, 14 сверху стянута поперечиной 10 и установлена на фундаментной плите 11. Корпуса подшипников заднего вала закреплены в станинах неподвижно. Корпуса подшипников переднего вала установлены так, что имеют возможность перемещаться в станинах с целью регулировки зазора между валками 1. Механизм регулировки зазора 9 позволяет перемещать подшипники переднего вала по направляющим станины и фиксировать их в заданном положении. Регулировка зазора производится при помощи пары винт – гайка, расположенных по обе стороны переднего (рабочего) вала.

На каждой из станин вальцов, со стороны рабочего вала, имеются указатели величины зазора между валками. Механизмы регулировки зазора снабжены предохранительными устройствами. Для поддержания заданного температурного режима обработки материала валки вальцов снабжаются устройствами для подвода теплоносителя (хладоагента) 4.

С целью предотвращения попадания обрабатываемого материала в подшипники валков устанавливаются ограничительные стрелы 12. Ограничительные стрелы состоят из двух половин, одна крепится к переднему, а другая к заднему корпусам подшипников валков. Обеспечение безопасности обслуживающего персонала достигается установкой на вальцах аварийного устройства 3. В изучаемой конструкции вальцов применено электродинамическое торможение. Для смазки поверхностей трущихся пар вальцы снабжены системой смазки. Для обеспечения непрерывной переработки отходов вальцы снабжены загрузочным бункером 17 и отборочно-гранулирующим устройством 18. Отборочно-гранулирующее устройство выполнено трех различных видов.

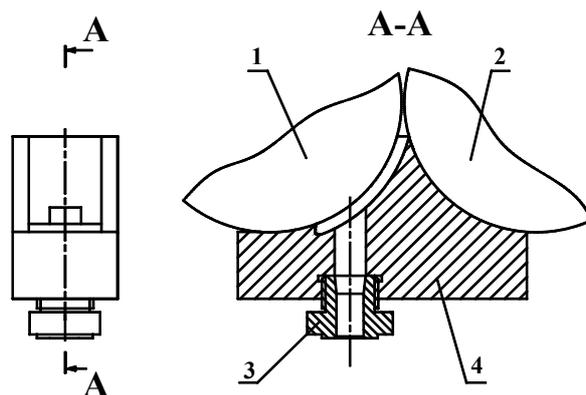


**Рис. 3.1. Общий вид экспериментальной валковой установки:**

1 – валок; 2, 14 – станина; 3 – аварийное устройство; 4 – устройство для подвода теплоносителя; 5 – приводные шестерни; 6 – ленточный тормоз; 7 – кожух; 8 – фрикционная передача; 9 – механизм регулировки зазора; 10 – поперечина; 11 – фундаментная плита; 12 – ограничительные стрелы; 13 – подшипник; 15 – электродвигатель постоянного тока; 16 – редуктор; 17 – загрузочный бункер; 18 – отборочно-гранулирующее устройство

Нижнее отборочно-гранулирующее устройство показано на рис. 3.2.

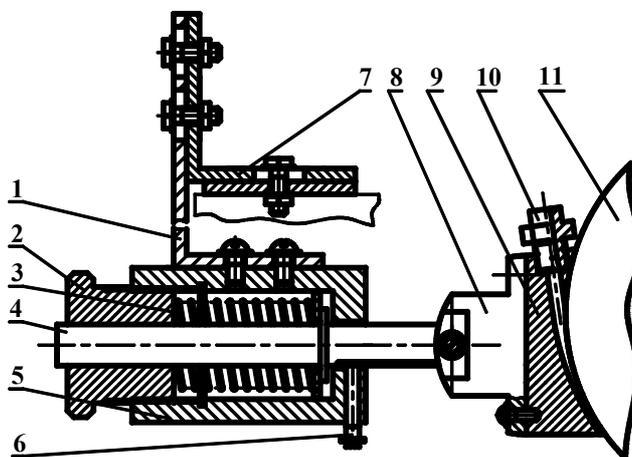
Расплав полимера из зазора между валками поступает в канал плоскощелевого типа между передним валком 1 и башмаком 4 отборочно-гранулирующего устройства, далее расплав продавливается через канал башмака круглого сечения, и окончательное оформление заданного поперечного сечения стренга осуществляется в сменной фильере 2. Фильеры выполнены следующих диаметров 4, 5, 6 мм.



**Рис. 3.2. Нижнее отборочно-гранулирующее устройство:**

1 – передний валок; 2 – задний валок; 3 – фильера; 4 – башмак

Боковое отборочно-гранулирующее устройство показано на рис. 3.3.

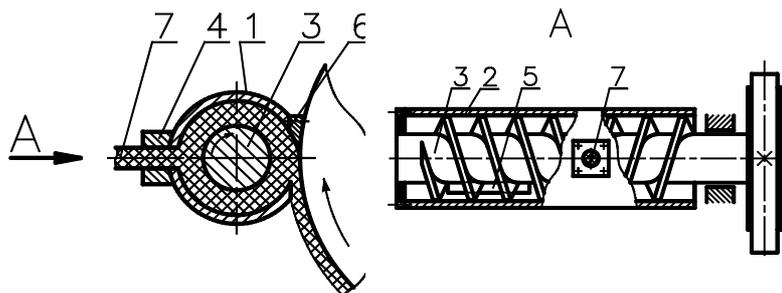


**Рис. 3.3. Боковое отборочно-гранулирующее устройство:**

1 – крышка; 2 – фильера сменная; 3 – опорная пята; 4 – стакан; 5, 6 – уголок; 7 – экструзионная приставка; 8 – шток; 9 – винт; 10 – пружина; 11 – передний валок

Крышка, шток и демпфирующая пружина обеспечивают необходимое давление прижима экструзионной приставки к поверхности валка.

Шнековое отборочно-гранулирующее устройство показано на рис. 3.4.



**Рис. 3.4. Шнековое отборочно-гранулирующее устройство:**

1 – шнековое отборочно-гранулирующее устройство; 2 – цилиндр; 3 – шнек;  
4 – формующая головка; 5 – загрузочное окно; 6 – нож; 7 – расплав полимера

При достижении отборочного устройства смесь срезается режущей кромкой ножа 6 и направляется в винтовой канал шнека 3, который выполняет функцию транспортирования массы и создания заданного давления перед формующей головкой 4, где профилируется заданное сечение стренга 7.

Экспериментальная валковая установка оснащена амперметром для измерения тока нагрузки электродвигателя возникающего в процессе вальцевания; тензометрическим датчиком для измерения распорного усилия между валками; контактным термоэлектрическим термометром ТПК-1 для измерения температуры вальцуемой смеси и поверхности валков; теристорным частотным преобразователем для задания нужной частоты вращения валков и шнека в шнековом отборочно-гранулирующем устройстве.

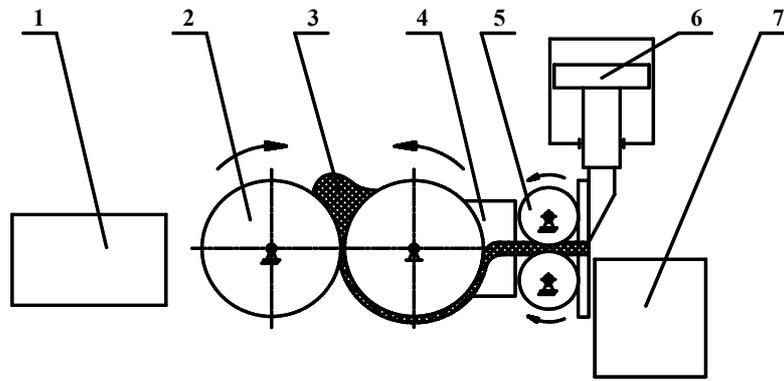
## 2.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПЛЕНОЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разработанный технологический процесс (рис. 3.5) вторичной переработки пленочных отходов термопластов по непрерывной технологии осуществляется следующим образом: отходы с содержанием посторонних примесей не более 5 % поступают на участок сортировки отходов 1, в процессе которой из них удаляют случайные инородные включения и выбраковывают сильно загрязненные куски. Отходы полимеров 3 непрерывно загружаются через загрузочный бункер, с левой стороны валцов, на рабочие поверхности валков 2. На вальцах происходит плавление отходов, удаление летучих компонентов, пластикация, возможно модифицирование различными добавками и окрашивание расплава. Для гранулирования вальцуемого материала расплав полимера продавливается через отборочно-гранулирующее устройство 4 установленное с правой стороны валцов на рабочей поверхности валка, с образованием прутков (стренгов) заданного поперечного сечения. Полученные стренги сохраняют свой размер за счет установки тянущего устройства 5, далее они режутся ножом 6, после чего полученные гранулы собираются в емкости 7. По данной технологии могут перерабатываться не только пленочные отходы термопластов производственного и общественного потребления, но и различные технологические отходы термопластов.

В процессе вторичной переработки отходов полимеров на вальцах в расплав можно добавлять различные модифицирующие добавки и красители. Целью модификации гранулята является экранирование функциональных групп и активных центров химическими или физико-химическими способами и создание однородного по структуре материала с воспроизводимыми свойствами.

Методы модификации вторичного полимерного сырья можно разделить на химические (сшивание, введение различных добавок, главным образом органического происхождения, обработка кремнийорганическими жидкостями и др.) и физико-механические (наполнение минеральными и органическими наполнителями).

В процессе лабораторной работы необходимо при варьировании технологических (величина минимального зазора между валками, частота вращения валков и шнека, количество материала на валках, температура валков и др.) и конструктивных (различные отборочно-гранулирующие устройства, длина рабочей зоны валков, диаметр фильер) параметров определить время пребывания полимерного материала на вальцах, температуру расплава полимера, физико-механические и технологические свойства полученного гранулята (предел текучести при растяжении, относительное удлинение и предел прочности при разрыве, показатель текучести расплава, производительность). В процессе эксперимента также определяются энергозатраты на получение гранулята и величина распорных усилий.



**Рис. 3.5. Схема технологического процесса вторичной переработки пленочных отходов термопластов:**

1 – участок сортировки отходов; 2 – валки; 3 – отходы полимеров;  
4 – отборочно-гранулирующее устройство; 5 – тянущее устройство;  
6 – нож; 7 – емкость для гранул

### 2.3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Включаем питание термостата, который обеспечивает нагрев валков валковой установки.
2. Устанавливаем величину фрикции между валками  $f = 1:1,2$ .
3. Включаем питание валковой установки.
4. Устанавливаем величину минимального зазора между валками  $2h_0 = 1$  мм.
5. Монтируем нижнее отборочно-гранулирующее устройство.
6. Устанавливаем фильеру с диаметром  $d_{\phi} = 4$  мм.
7. Включаем электродвигатель валковой установки и устанавливаем частоту вращения переднего валка  $u = 15$  об/мин.
8. При достижении заданной температуры поверхности валков (например, при переработке отходов полиэтилена низкой плотности –  $125 \dots 130$  °С) непрерывно загружаем с левой (правой) стороны валцов отходы полимерного материала.
9. Количество материала на валках в процессе переработки должно быть постоянным, что контролируем по величине "запаса" (координаты  $X_k$  и  $X_n$  всегда постоянны).
10. После выхода на заданный, установившийся режим переработки по амперметру регистрируем величину тока нагрузки электродвигателя  $I_n$ .
11. Измерение мощности потребляемой электродвигателем валковой установки на процесс переработки отходов проводим с помощью вольтамперной характеристики:  $N_{экс} = I_n U$ , где  $U$  – напряжение питания электродвигателя,  $U = 220$  В.
12. Получаем экспериментальные образцы и с помощью секундомера и весов определяем производительность процесса.
13. Полностью очищаем поверхность валков от полимерного материала.
14. Устанавливаем частоту вращения переднего валка  $u = 20$  об/мин.
15. Выполняем действия по п. 8 – 14 при  $u = 20$  об/мин.
16. Устанавливаем частоту вращения переднего валка  $u = 25$  об/мин.
17. Выполняем действия по п. 8 – 14 при  $u = 25$  об/мин.
18. Устанавливаем фильеру с диаметром  $d_{\phi} = 5$  мм.
19. Выполняем действия по п. 7 – 18 для фильеры с диаметром  $d_{\phi} = 5$  мм.
20. Устанавливаем фильеру с диаметром  $d_{\phi} = 6$  мм.
21. Выполняем действия по п. 7 – 18 для фильеры с диаметром  $d_{\phi} = 6$  мм.
22. Устанавливаем величину минимального зазора между валками  $2h_0 = 1,5$  мм.
23. Выполняем действия по п. 5 – 22 для  $2h_0 = 1,5$  мм.
24. Устанавливаем величину минимального зазора между валками  $2h_0 = 2$  мм.
25. Выполняем действия по п. 5 – 22 для  $2h_0 = 2$  мм.
26. Монтируем боковое отборочно-гранулирующее устройство.
27. Выполняем действия по п. 4, 6 – 26, т.е. те же эксперименты как при использовании нижнего отборочно-гранулирующего устройства.
28. Монтируем шнековое отборочно-гранулирующее устройство.
29. Устанавливаем частоту вращения шнека  $a = 20$  об/мин.
30. Выполняем действия по п. 4, 6 – 26, т.е. те же эксперименты как при использовании нижнего и бокового отборочно-гранулирующих устройств.
31. Устанавливаем частоту вращения шнека  $a = 35$  об/мин.
32. Выполняем действия по п. 4, 6 – 26, т.е. те же эксперименты как при частоте вращения  $a = 20$  об/мин.
33. Устанавливаем частоту вращения шнека  $a = 50$  об/мин.
34. Выполняем действия по п. 4, 6 – 26, т.е. те же эксперименты как при частотах вращения шнека  $a = 20$  об/мин и  $a = 35$  об/мин.
35. Устанавливаем величину фрикции между валками  $f = 1:1$ .
36. Выполняем действия по п. 4, 6 – 35, т.е. те же эксперименты как при фрикции между валками  $f = 1:1,2$ .
37. Устанавливаем величину фрикции между валками  $f = 1:1,36$ .
38. Выполняем действия по пунктам 4, 6 – 35, т.е. те же эксперименты как при фрикции между валками  $f = 1:1,2$  и  $f = 1:1$ .
39. Отключаем питание термостата и валковой установки.
40. Полученные результаты экспериментальных данных заносятся в таблицы. (Пример – табл. 3.1)

41. Полученный вторичный полимерный материал подвергается экспресс-контролю по определению показателя текучести расплава, предела текучести при растяжении, относительного удлинения и предела прочности при разрыве. Методика определения этих показателей дана в разделе 2.3 лабораторной работы 2 (стр. 21 – 23).

42. Полученные результаты заносятся в таблицы и строятся графические зависимости  $N_T = f(u)$ ,  $G = f(u)$ ,  $F_p = f(u)$ ,  $I = f(u)$ ,  $\sigma_T$  и  $\sigma_p = f(u)$ ,  $\varepsilon = f(u)$  по заданию преподавателя.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭНЕРГО-СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕРМОПЛАСТОВ НА ВАЛКОВОЙ УСТАНОВКЕ

Для составления технической характеристики студент должен определить распорное усилие между валками, полезную мощность привода валковой установки, производительность при непрерывном процессе вальцевания. Эти параметры определяются экспериментально (см. стр. 32 – 34) и расчетным путем по приведенным ниже зависимостям и методам, изложенным в литературе и лекционном курсе. При этом задаются следующие параметры: направление вращения валков, величина фрикции между валками, время пребывания полимерного материала на валках, температурный режим вальцевания, реологические свойства полимера, величина минимального зазора между валками и др.

Расчетным путем величина распорного усилия определяется с учетом реологических свойств обрабатываемой полимерной композиции и геометрических размеров валка [7], [8].

1. Для случая симметричного процесса вальцевания (фрикция равна  $f = 1:1$ ):

$$F_p = 2KRL \left( \frac{U}{h_0} \right)^n (1,93 + 2,63n + 1,22n^2), \quad (3.1)$$

где  $K$ ,  $n$  – реологические константы перерабатываемого материала ( $n$  – безразмерная величина;  $K$  –  $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ );  $R$  – радиус валка, м;  $L$  – рабочая длина валка, м;  $U$  – окружная скорость вращения валков, м/с;  $h_0$  – половина минимального зазора между валками, м.

2. Для случая вальцевания полимерного материала с фрикцией:

$$F_p = (1 + f) KRL \left( \frac{U_1}{h_0} \right)^n (1,93 + 2,63n + 1,22n^2), \quad (3.2)$$

где  $f$  – величина фрикции между валками;  $U_1$  – окружная скорость переднего валка, м/с.

Технологическую мощность процесса вторичной переработки полимерной упаковки на экспериментальной валковой установке определяют по зависимостям [7], [8]:

1. Для случая симметричного вальцевания:

$$N_T = 2 \cdot K \cdot L \cdot U \cdot \left( \frac{U}{h_0} \right)^n \cdot \sqrt{2 \cdot R \cdot h_0} \cdot (4,67 + 8,06 \cdot n + 4,09 \cdot n^2), \quad (3.3)$$

2. Для случая вальцевания с фрикцией:

$$N_T = 2 \cdot (1 + f) \cdot K \cdot L \cdot U_1 \cdot \left( \frac{U_1}{h_0} \right)^n \cdot \sqrt{2 \cdot R \cdot h_0} \cdot (4,67 + 8,06 \cdot n + 4,09 \cdot n^2), \quad (3.4)$$

Действительная мощность электродвигателя привода валковой установки определяется по формуле:

$$N_d = \left( \frac{N_T}{\eta} \right), \quad (3.5)$$

где  $\eta$  – КПД привода машины.

В работе принять  $\eta = 0,6$  и по каталогу выбрать электродвигатель и выписать его основные характеристики.

Производительность валковой установки работающей по непрерывной технологии определяют по формуле:

$$G = 30\pi^2 R U_1 d^2 \rho \alpha, \quad (3.6)$$

$U_1$  – частота вращения переднего валка, об/мин;  $d$  – диаметр получаемого прутка (стренга), м;  $\rho$  – плотность полимера,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\alpha = (0,8-0,9)$  – коэффициент использования машинного времени.

В итоге производится сравнение экспериментальных данных с расчетными и делаются выводы по полученным результатам.

#### 3.1 Составление технической характеристики

Техническая характеристика должна включать в соответствии с номенклатурным справочником следующие позиции: тип и назначение вальцов; производительность; количество валков; размер рабочих органов: длина, диаметр; рабочая поверхность валков; скорости вращения валков; фрикция; максимальный рабочий зазор между валками; механизмы регулирования зазоров между валками; тип и характеристика привода, в т.ч. тип электродвигателя, его мощность, скорость вращения выходного вала и тип, характеристика передачи; вид теплоносителя; температура теплоносителя; габаритные размеры; вес.

#### 4. Содержание отчета

1. Краткие сведения по типам и конструкциям вальцов, их конструктивные особенности, назначение, параметрические расчеты (схемы, эскизы, расчетные формулы по литературе). Раздел выполняется в процессе подготовки к лабораторной работе по рекомендуемой литературе.

2. Кинематические схемы основных узлов и механизмов машины, их назначение, конструктивные особенности, общая характеристика.

3. Измерение и расчет параметров вальцов.
4. Определение физико-механических и технологических свойств гранулята полученного при вторичной переработке отходов пленочных полимерных материалов на валковом оборудовании.
5. Выводы по проведенным экспериментальным исследованиям.
6. Составление технической характеристики.

#### **5. Контрольные вопросы**

1. Дайте классификацию валкового оборудования?
2. Опишите конструкцию вальцов применяемых при переработке отходов полимеров?
3. Опишите конструкцию отборочно-гранулирующих устройств применяемых при переработке отходов полимеров?
4. Для каких целей устанавливают предохранительную шайбу?
5. Какие конструкции аварийных устройств Вы знаете?
6. Опишите технологию изготовления валков вальцов?
7. Какие параметры вальцов варьируются в процессе переработки отходов?
8. Назовите факторы, оказывающие влияние на физико-механические свойства полученного гранулята?
9. Какие бывают модифицирующие добавки, и на что они влияют?

## Лабораторная работа №4

### Изучение процесса получения длинномерных изделий из отходов термопластов экструзионным методом

**Цель работы:** ознакомление с конструкцией и принципом действия прессов одночервячных для экструзии термопластов, формующим инструментом, составление кинематической и расчетной схем, технической характеристики экструзионного оборудования, определение производительности и энергозатрат при получении длинномерных изделий из отходов термопластов.

Оборудование и материалы: Лабораторная экструзионная установка для производства длинномерных изделий на базе пресса одночервячного ЧП 32×20, первичный гранулированный термопласт, дробленые отходы термопласта.

#### 1. Предварительная подготовка

По литературным источникам ознакомиться с технологическим процессом экструзии полимеров, конструкциями экструзионного оборудования и формующих головок [11, с. 17 – 79]; [12, с. 231 – 261]; [13, с. 11 – 43]; [14, с. 119 – 243]; [15, с. 113 – 159]. Изучить методики расчета производительности червячных прессов и формующего инструмента [12, с. 23 – 43]; [14, с. 119 – 140, 195 – 200]; [15, с. 123 – 132].

#### 2. Порядок проведения работы

1. В лаборатории на рабочем месте ознакомиться с конструкцией лабораторного червячного пресса. Составить кинематическую схему, описать принцип действия, назначение, особенности работы.

2. Ознакомиться с технологическим процессом получения длинномерных изделий из отходов термопластов, получить экспериментальные образцы при различных режимах работы экструзионной установки (при варьировании частоты вращения шнека, вида термопласта и др.) по указанию преподавателя.

3. Составить эскиз червяка, определив его основные геометрические характеристики, и расчетную схему формующей головки.

4. Определить показатель текучести расплава полученного полимерного материала.

5. Определить физико-механические свойства полученных изделий (предел текучести при растяжении, относительное удлинение и предел прочности при разрыве).

6. По соответствующим зависимостям рассчитать коэффициент геометрической формы головки, производительность червячного пресса с учетом влияния формующего инструмента и перепад давления в головке, мощность привода.

7. Составить техническую характеристику лабораторной экструзионной установки для производства длинномерных изделий на базе пресса одночервячного ЧП 32×20.

##### 2.1 Описание конструкции червячного пресса для переработки термопластов

Конструкция червячного пресса состоит из следующих основных узлов: загрузочное устройство, рабочие органы (червяк и цилиндр), привод вращения червяка, узел упорного подшипника, узел подачи термостатирующей жидкости в цилиндр.

Принципиальное устройство и работа этих узлов показаны на схеме червячного пресса (рис.4.1.).

Загрузка перерабатываемых отходов производится с помощью бункера 9, конструктивное оформление которого определяется состоянием и формой частиц перерабатываемого материала, непосредственно в загрузочное окно 10 материального цилиндра 8. Далее отходы попадают в винтовой канал вращающегося червяка 6. При транспортировке червяка в зоне загрузки отходы частично уплотняются и расплавляются, а заключенный между слоями воздух частично уходит обратно через окно 10.

Попадая в зону пластикации 5, отходы полностью переходят в расплавленное состояние.

Плавление отходов осуществляется за счет тепла, выделяющегося при собственном интенсивном деформировании от вращения шнека 6 и за счет системы термостатирования, для чего цилиндр нагревается высококипящими жидкостями, которые подаются из устройства 18 в пространство 2 между внешней стенкой материального цилиндра 8 и внутренней стенкой рубашки обогрева. Обогрев цилиндра может осуществляться индукционными или электрическими нагревателями.

Полученный расплав полимера в зоне дозирования продавливается шнеком через формующий инструмент (экструзионная головка), который соединяется с материальным цилиндром фланцевым соединением.

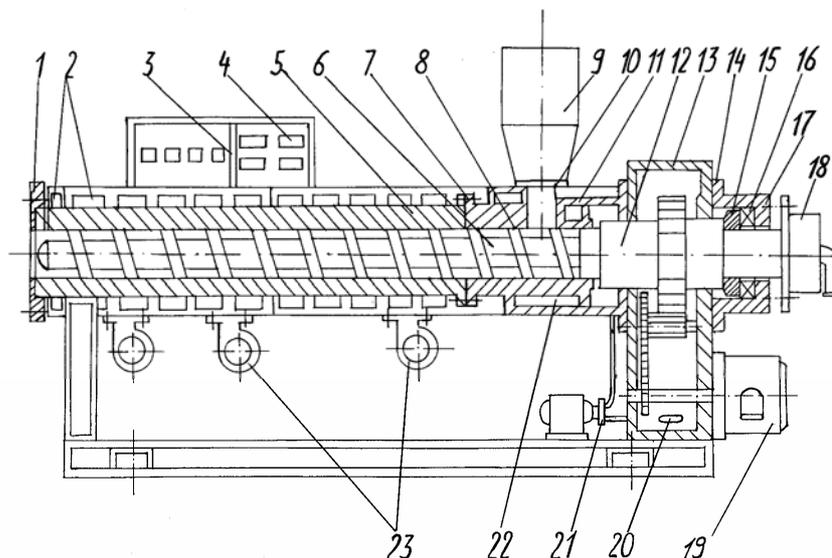
При продавливании расплава через формующий инструмент вследствие большого гидравлического сопротивления головки и достаточно высокой вязкости материала на входе в головку развивается давление до 50 МПа.

В результате этого возникает значительное осевое усилие, действующее на червяк. От червяка это усилие передается на выходной вал 12 редуктора 13, далее на упорную шайбу 15, упорный подшипник 16 и его корпус 17. Корпус подшипника болтовыми соединениями 14 неподвижно крепится на корпусе редуктора 13, где и замыкается усилие.

Такое же усилие действует на головку. Так как головка закреплена фланцевым соединением с корпусом машины, то это усилие передается на него и затем через резьбу на цилиндр 8, далее через болтовое соединение 11 на корпус редуктора.

Привод червяка осуществляется от электродвигателя 19 через редуктор 13.

Лабораторная экструзионная установка для производства длинномерных изделий на базе пресса одночервячного ЧП 32×20 оснащена ваттметром для измерения мощности расходуемой на процесс получения длинномерных изделий; термопарами ТХК для измерения температуры в материальном цилиндре и формующем инструменте; теристорным частотным преобразователем для задания нужной частоты вращения шнека.



**Рис. 4.1. Схема лабораторной экструзионной установки на базе прессы одночервячного ЧП 32×20:**

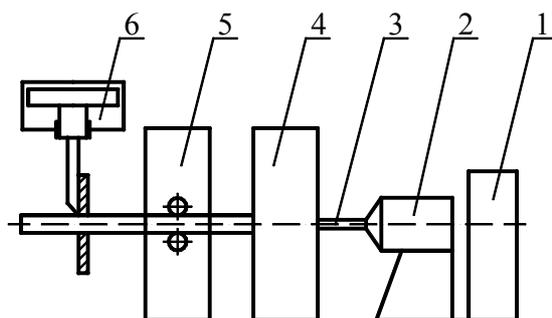
1 – фланец; 2 – система каналов для обогрева цилиндра; 3 – пульт электро- и тепловой автоматики; 4 – прибор теплового контроля; 5 – зона пластикации; 6 – червяк; 7, 11, 14 – болтовые соединения; 8 – загрузочная секция цилиндра; 9 – бункер; 10 – загрузочное окно; 12 – выходной вал редуктора; 13 – редуктор; 15 – упорная шайба; 16 – упорный подшипник; 17 – корпус подшипника;

18 – устройство для подачи охлаждающей жидкости в червяк; 19 – электродвигатель; 20 – змеевик для охлаждающей воды; 21 – масляный насос; 22 – канал для циркуляции охлаждающей воды; 23 – вентиляторы

## 2.2 Технологический процесс получения длинномерных изделий из отходов термопластов

Технологический процесс (рис. 4.2.) изготовления длинномерных изделий состоит из получения цилиндрической заготовки через кольцевую формующую головку экструдера 2, калибрования и охлаждения трубы в камере 4. Труба 3 равномерно вытягивается специальным гусеничным механизмом 5, после чего разрезается на участки определенной длины гильотинным ножом 6 или наматывается в бухты. Рядом с машиной установлен пульт 1 для автоматического управления установкой.

Линейная скорость отвода регулируется в пределах 0,25...6 м/мин. Оформляющая головка для экструзии труб оказывает большое сопротивление прохождению расплава, вследствие чего достигается более полная пластикация и гомогенизация материала.



**Рис. 4.2. Технологический процесс изготовления длинномерных изделий:**  
1 – пульт управления; 2 – экструдер; 3 – труба; 4 – камера для калибрования и охлаждения труб; 5 – механизм для вытягивания труб; 6 – гильотинный нож

Головка состоит из мундштука 8 (рис. 4.3.), в котором расположен дорн 1 с торпедой 6. В дорне оформлена внутренняя полость 2, соединенная через трубопровод 3 с пневмомагистралью сжатого воздуха. Мундштук и головка оснащены хомутовым электрообогревом 7. В головке установлена термопара 5 для измерения температуры расплава и датчик 4 прибора для определения давления расплава.

Однородный пластицированный материал нагнетается шнеком через полость 9 и кольцевой зазор между мундштуком и дорном.

К правой части оформляющей головки прикрепляют специальную насадку.

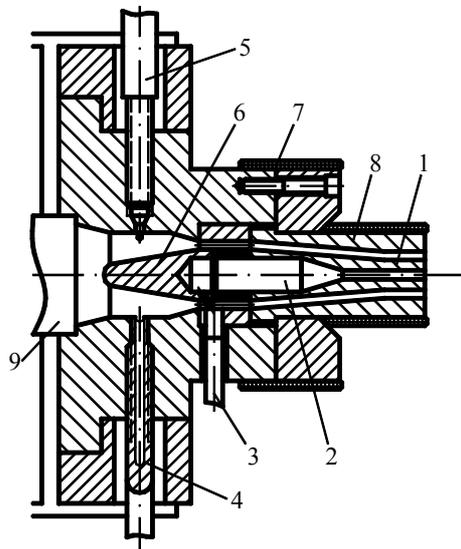


РИС. 4.3. Оформляющая головка при экструзии труб:  
 1 – дорн; 2 – внутренняя полость; 3 – трубопровод; 4 – датчик измерения давления расплава; 5 – термопара; 6 – торпеда; 7 – электрообогрев; 8 – мундштук; 9 – полость

Насадка (рис. 4.4) предназначена для калибровки и частичного охлаждения экструдруемой трубы.

Трубчатая заготовка экструдруется через кольцевой зазор 1 головки 2. Внутри заготовки, внешний конец которой закрыт пробкой, подается сжатый воздух под давлением 0,15...0,25 атм (через центральное отверстие 3 в дорне головки).

Заготовка раздувается и прижимается к внутренним стенкам калибрующей насадки 4, охлаждаемой оросительными форсунками 5. Через ниппель 6 под давлением 0,05...0,1 атм подается воздух к передней части насадки. Воздух охлаждает поверхностные слои заготовки и, проникая в зазор между насадкой и трубой, препятствует адгезии термопласта к металлу насадки.

В некоторых случаях насадка вакуумируется и экструдруемая труба прижимается к стенкам калибрующей насадки под действием атмосферного давления воздуха. В этом случае внешний конец трубы открыт и пробкой не закрывается. При вакуумировании насадки экструдруемую трубу можно разрезать на участки небольшой длины без нарушения процесса экструзии. Установка оснащена приборами для непрерывного автоматического измерения толщины трубы, которые в некоторых случаях связаны с клапаном регулирования давления сжатого воздуха (под действием которого труба прижимается к насадке). При этом регулируется линейная скорость экструзии и, таким образом, изменяется толщина трубы.

С увеличением толщины стенок трубы ее охлаждение происходит медленнее и внутренние напряжения в материале трубы снимаются более полно.

При увеличении температуры охлаждающей воды увеличивается прочность трубы в продольном сечении, но модуль эластичности уменьшается.

В процессе лабораторной работы необходимо при варьировании технологических параметров – частоты вращения шнека, температурного режима и процентного содержания отходов в исходном сырье, определить время пребывания полимерного материала в экструдере, температуру расплава полимера, физико-механические и технологические свойства полученного материала (предел текучести при растяжении, относительное удлинение и предел прочности при разрыве, показатель текучести расплава). В процессе эксперимента также определяются энергозатраты на получение длинномерных изделий при различной частоте вращения шнека и производительность установки.

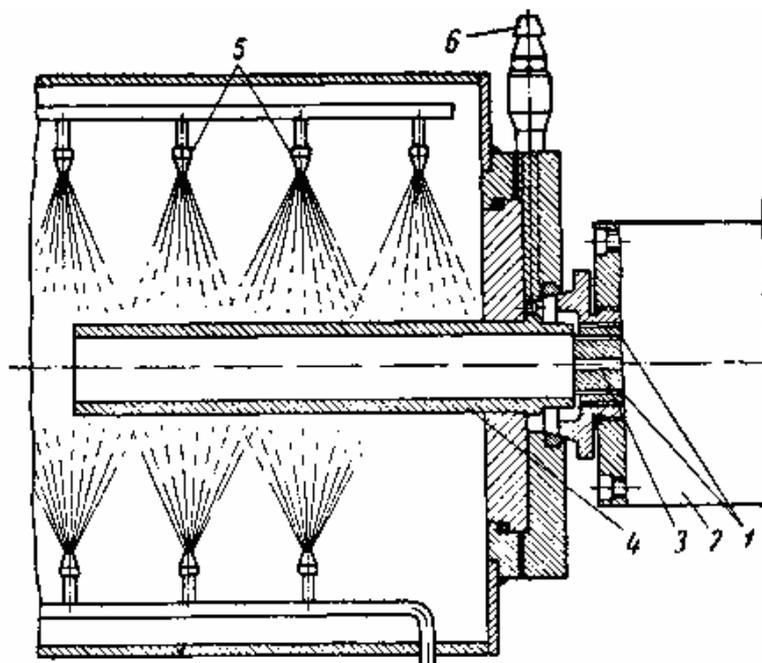


РИС. 4.4. Калибрующая насадка для экструдированных труб:

1 – кольцевой зазор; 2 – головка экструдера; 3 – центральное отверстие в дорне головки; 4 – калибрующая насадка; 5 – форсунки; 6 – ниппель

### 2.3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Включаем электрический обогрев материального цилиндра пресса одночервячного ЧП 32×20.
2. Включаем питание лабораторной экструзионной установки.
3. В качестве исходного сырья используем первичный полимерный материал (Например, полиэтилен низкой плотности).
4. Включаем электродвигатель установки и устанавливаем частоту вращения червяка  $n = 30$  об/мин.
5. При достижении заданной температуры переработки полимерного материала непрерывно загружаем в бункер исходное сырье.
6. После выхода на заданный, установившийся режим переработки по ваттметру определяем мощность, расходуемую на процесс получения длинномерных изделий  $N_{\text{экс}}$ .
7. Получаем экспериментальные образцы и с помощью секундомера и весов определяем производительность процесса.
8. Устанавливаем частоту вращения переднего валка  $n = 50$  об/мин.
9. Выполняем действия по пунктам 5 – 8 при  $n = 50$  об/мин.
10. Устанавливаем частоту вращения переднего валка  $n = 70$  об/мин.
11. Выполняем действия по п. 5 – 8 при  $n = 70$  об/мин.
12. В качестве исходного сырья используем смесь, содержащую 85 % первичного и 15 % вторичного полимерного материала.
13. Выполняем действия по п. 4 – 12, используя в качестве исходного сырья смесь, содержащую 85 % первичного и 15 % вторичного полимерного материала.
14. В качестве исходного сырья используем смесь, содержащую 70 % первичного и 30 % вторичного полимерного материала.
15. Выполняем действия по п. 4 – 12, используя в качестве исходного сырья смесь, содержащую 70 % первичного и 30 % вторичного полимерного материала.
16. В качестве исходного сырья используем смесь, содержащую 50 % первичного и 50 % вторичного полимерного материала.
17. Выполняем действия по п. 4 – 12, используя в качестве исходного сырья смесь, содержащую 50 % первичного и 50 % вторичного полимерного материала.
18. В качестве исходного сырья используем вторичный полимерный материал.
19. Выполняем действия по п. 4 – 12, используя в качестве исходного сырья вторичный полимерный материал.
20. Отключаем электрический обогрев материального цилиндра пресса одночервячного ЧП 32×20 и питание лабораторной экструзионной установки.
21. Полученные результаты экспериментальных данных заносятся в таблицы. (Пример – табл. № 4.1)
22. Полученный вторичный полимерный материал подвергается экспресс-контролю по определению показателя текучести расплава, предела текучести при растяжении, относительного удлинения и предела прочности при разрыве. Методика определения этих показателей дана в разделе 2.3. лабораторной работы 2 (стр. 21 – 23).
23. Полученные результаты заносятся в таблицы и строятся графические зависимости  $N_T=f(u)$ ,  $Q=f(u)$ ,  $I=f(u)$ ,  $\sigma_T$  и  $\sigma_p=f(u)$ ,  $\varepsilon=f(u)$  по заданию преподавателя.

### 3. Определение производительности червячного пресса, перепада давления в головке и мощности привода

Для расчета производительности червячного пресса студенты должны определить геометрические характеристики червяка и формующей головки и в рабочей тетради сделать эскиз червяка, проставить основные размеры и дать расчетную схему формующей головки.

К основным геометрическим размерам червяка относится диаметр, длина нарезной части, шаг винтовой линии, глубина винтового канала в зонах загрузки и дозирования, угол наклона винтовой линии, ширина гребня нарезки, величина радиального зазора между гребнем нарезки червяка и поверхностью цилиндра.

К геометрическим характеристикам формующей головки относятся длина формующих каналов и размеры их поперечного сечения (диаметр, ширина, высота).

Объемную производительность червячных прессов с учетом влияния формующей головки определяют по соотношению:

$$Q = \frac{\alpha K}{K + \beta + \gamma} n, \quad (4.1)$$

где  $K$  – коэффициент геометрической формы головки,  $\text{м}^3$ ;  $n$  – частота вращения червяка,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – соответственно постоянные потоков прямого, обратного и утечки,  $\text{м}^3$ .

Значения  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  в зависимости от конструкции червяка определяют по соответствующим соотношениям [12, с. 25 – 39]; [16, с. 18 – 20].

Для определения коэффициента геометрической формы головки студенты должны, по выполненному эскизу, разбить головку на ряд каналов простейшей формы и для каждого из каналов по соответствующим зависимостям [12, с. 50 – 58]; [16, с. 12 – 15] определить свой коэффициент  $k_1, k_2, \dots, k_n$ .

Общий коэффициент геометрической формы для всей головки определяют по соотношению:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n}} \quad (4.2)$$

Перепад давления в формующей головке  $\Delta P_{\text{общ}}$  складывается из перепадов давления на отдельных участках, для которых рассчитывались коэффициенты геометрической формы:

$$\Delta P_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n \Delta P_i, \quad (4.3)$$

где  $n$  – число участков простейшей конфигурации.

Величину перепада давления на отдельном участке рассчитывают по соотношению:

$$\Delta P_i = \frac{Q \mu_{\text{эф}i}}{K_i}, \quad (4.4)$$

где  $\mu_{\text{эф}i}$  – эффективная вязкость расплава в канале простейшей формы.

Величину эффективной вязкости материала следует определять по соответствующим реологическим кривым в зависимости от скорости сдвига [17, с. 609 – 737]; [18, с. 185 – 206].

Скорости сдвига в каналах простейшей конфигурации рассчитывают по соответствующим зависимостям [12, с. 59 – 62]; [16, с. 12 – 15].

Мощность привода определяется по соотношению:

$$N_{\text{пр}} = \frac{N_1 + N_2}{\eta}, \quad (4.5)$$

где  $N_1$  – мощность, расходуемая на принудительное проталкивание массы по винтовому каналу червяка и  $N_2$  – мощность, затрачиваемая на срез материала в зазоре между вершиной витка нарезки и стенкой цилиндра, в зависимости от конструкции зоны дозирования рассчитывают по соответствующим зависимостям [16, с. 24 – 29];  $\eta$  – коэффициент полезного действия одночервячных прессов, который при переработке термопластов составляет 0,4 – 0,6.

В итоге производится сравнение экспериментальных данных с расчетными и делаются выводы по полученным результатам.

#### 3.1. Составление технической характеристики

Техническая характеристика червячной машины должна включать в соответствии с номенклатурным справочником следующие позиции: диаметр червяка, отношение рабочей длины червяка к его диаметру, тип червяка, частота вращения червяка, производительность, расстояние от основания до оси червяка, обогрев цилиндра и формующей головки, мощность электродвигателя привода, габаритные размеры, масса.

### 4. Содержание отчета

1. Краткие сведения по типам и конструкциям червячных машин, их конструктивные особенности, назначение, параметрические расчеты (схемы, эскизы, расчетные формулы по литературе). Раздел выполняется в процессе подготовки к лабораторной работе по рекомендуемой литературе.

2. Составление кинематической схемы лабораторной экструзионной установки для производства длинномерных изделий на база пресса одночервячного ЧП 32×20.

3. Эскиз червяка и расчетную схему формующей головки с указанием основных размеров.

4. Измерение и расчет параметров лабораторной экструзионной установки.

5. Определение физико-механических и технологических свойств материала полученного при переработке отходов термопластов на лабораторном экструзионном оборудовании.

6. Выводы по проведенным экспериментальным исследованиям.
7. Составление технической характеристики пресса одночервячного ЧП 32×20.

## 5. Контрольные вопросы

1. Назначение и классификация червячных машин?
2. Каковы конструктивные особенности червячных прессов для переработки отходов термопластов?
3. Какие основные рабочие зоны можно выделить по длине червяка и какие процессы в них происходят при переработке отходов термопластов?
4. Назовите основные геометрические характеристики червяка и как они влияют на производительность червячного пресса?
5. Каковы особенности привода червячных прессов?
6. Как влияет формующий инструмент на производительность червячных прессов?
7. Какие параметры экструзионного оборудования варьируются в процессе переработки отходов?
8. Какие факторы влияют на физико-механические свойства получаемого изделия из вторичного полимерного материала?
9. Как определяется коэффициент геометрической формы формующего инструмента?
10. От каких параметров зависит мощность, затрачиваемая на процесс переработки отходов?
11. Какие трудности возникают при переработке отходов термопластов экструзионным способом?

## Лабораторная работа 5

### ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ОТХОДОВ ТЕРМОПЛАСТОВ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Цель работы: ознакомление с конструкцией и принципом действия литьевых машин для переработки термопластов, составление кинематической и расчетной схем, технической характеристики литьевой машины, определение производительности и энергозатрат при получении изделий из отходов термопластов методом литья под давлением.

Оборудование и материалы: Установка вертикальная литьевая, первичный гранулированный термопласт, дробленые отходы термопласта.

#### 1. Предварительная подготовка

По литературным источникам ознакомиться с процессом литья под давлением термопластов, конструкциями литьевых машин [14, с. 243 – 360]; [15, с. 161 – 215]; [19, с. 9 – 81]; [20, с. 229 – 243]; [21, с. 5 – 21]. Изучить методики расчета основных параметров литьевых машин [14, с. 243 – 257]; [19, с. 82 – 99].

#### 2. Порядок проведения работы

1. В лаборатории на рабочем месте ознакомиться с конструкцией установки вертикальной литьевой. Составить кинематическую схему, описать принцип действия, назначение, особенности работы.

2. Ознакомиться с технологическим процессом получения изделий из отходов термопластов методом литья под давлением, получить экспериментальные образцы при различных режимах работы установки вертикальной литьевой (при варьировании времени цикла литья, температурного режима, процентного содержания вторичного термопласта в первичном полимере и др.) по указанию преподавателя.

3. Определить показатель текучести расплава полученного вторичного полимерного материала, первичного полимера и смеси первичного и вторичного полимера в различных соотношениях.

4. Определить физико-механические свойства полученных изделий (предел текучести при растяжении, относительное удлинение и предел прочности при разрыве).

5. По соответствующим зависимостям определить основные параметры установки вертикальной литьевой (объем впрыска, усилие впрыска, усилие запираения, время цикла литья, производительность).

6. Составить техническую характеристику установки вертикальной литьевой.

#### 2.1. Описание конструкции установки вертикальной литьевой для получения изделий из отходов термопластов методом литья под давлением

Установка вертикальная литьевая состоит из трех основных сборочных единиц: установки литьевой, насосной станции и шкафа электрооборудования.

Установка литьевая (рис. 5.1) имеет сварную станину 1, выполненную из листового проката, на которой жестко закреплены гидроцилиндр 2, и две вертикальные колонки 5. На колонках установлены плита нижняя 6, плита промежуточная 7, клипсы 19, и средняя плита 10 с узлом цилиндра пластикации 18, а также пружины 11. Пружины, размыкающие плиты при опускании формы, установлены в защитных колпаках 12 и 13.

На горловине пластикационного цилиндра закреплен загрузочный бункер 17 для засыпки гранул полимера. Верхняя плита 14 со штоком 16 жестко закреплена при помощи гаек 15 на колонках.

Узел цилиндра пластикации состоит из обогревательного цилиндра, нагревательной спирали в керамических бусах, асбоцементной теплоизоляционной трубы, защитного металлического кожуха 9 и самозапирающегося сопла 8. Открытие самозапирающегося сопла происходит при соприкосновении литниковой втулки формы со сферической поверхностью сопла.

Для контроля температуры в нижней части обогревательного цилиндра установлена термopара ТХК, подающая сигнал на регистрирующий и регулирующий прибор типа ТРМ1.

Литьевая форма 21 крепится к нижней и промежуточной плитам. На нижней плите установлена штанга 20 с верхним и нижним упорами, которые управляют работой установки в автоматическом режиме. При движении нижней плиты вверх, нижний упор штанги воздействует на нижний концевик 24, что соответствует началу отсчета времени впрыска и выдержки под давлением. По истечении заданного времени нижняя плита начинает движение вниз и верхний упор штанги, воздействуя на верхний **концевик 3, остановит плиту на заданном расстоянии.**

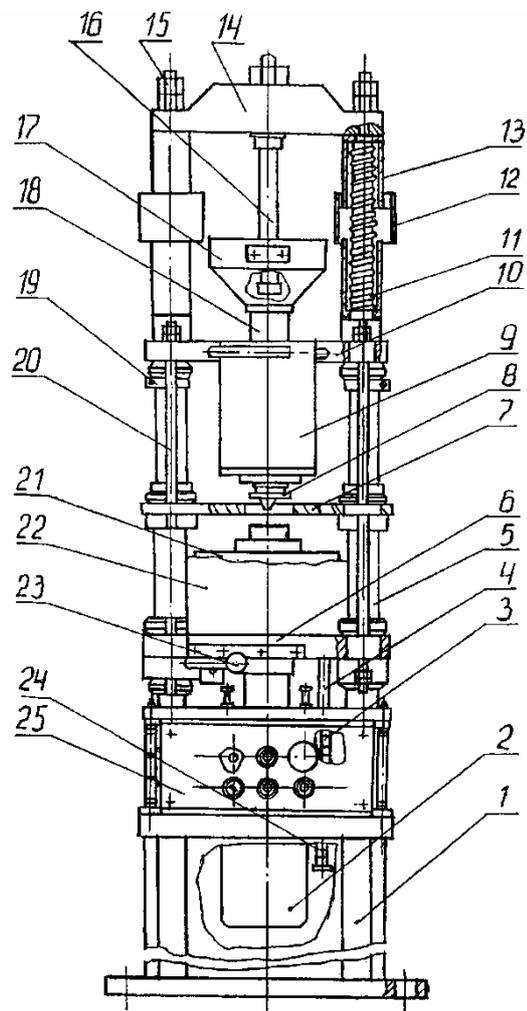


Рис 5.1. Установка вертикальная литьевая:

- 1 – станина; 2 – гидроцилиндр; 3 – верхний концевик; 4 – ограничитель;  
 5 – вертикальная колонка; 6 – нижняя плита; 7 – промежуточная плита; 8 – сопло;  
 9 – кожух; 10 – средняя плита; 11 – пружина; 12, 13 – защитные колпаки;  
 14 – верхняя плита; 15 – гайки; 16 – шток; 17 – загрузочный бункер;  
 18 – пластикационный цилиндр; 19 – клипса; 20 – штанга; 21 – литьевая форма;  
 22 – защитная шторка; 23 – рукоятка; 24 – нижний концевик; 25 – пульт управления

Штанги защиты 20 выполняют роль механического съемника пластикационного цилиндра со штока установки.

Управление движением нижней плиты осуществляется в наладочном режиме с пульта управления 25, а в полуавтоматическом режиме от рукоятки 23, которая воздействует на микроконцевик и включает запрограммированный цикл работы установки. Защитная шторка 22 служит для предохранения оператора от травм и при открытой шторке невозможно движение нижней плиты.

## 2.2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Включаем питание установки вертикальной литьевой.
2. Включаем электрический обогрев узла цилиндра пластикации установки вертикальной литьевой.
3. В качестве исходного сырья используем первичный полимерный материал (Например, полиэтилен низкой плотности).
4. При достижении заданной температуры переработки полимерного материала непрерывно загружаем в бункер исходное сырье.
5. По достижении заданного времени плавления исходного сырья подаем рабочую жидкость в гидроцилиндр для формирования экспериментальных образцов.
6. Получаем экспериментальные образцы и с помощью секундомера и весов определяем производительность процесса.
7. В качестве исходного сырья используем смесь, содержащую 85 % первичного и 15 % вторичного полимерного материала.
8. Выполняем действия по п. 4 – 7, используя в качестве исходного сырья смесь, содержащую 85 % первичного и 15 % вторичного полимерного материала.
9. В качестве исходного сырья используем смесь, содержащую 70 % первичного и 30 % вторичного полимерного материала.
10. Выполняем действия по п. 4 – 7, используя в качестве исходного сырья смесь, содержащую 70 % первичного и 30 % вторичного полимерного материала.
11. В качестве исходного сырья используем смесь, содержащую 50 % первичного и 50 % вторичного полимерного материала.
12. Выполняем действия по п. 4 – 7, используя в качестве исходного сырья смесь, содержащую 50 % первичного и 50 % вторичного полимерного материала.
13. В качестве исходного сырья используем вторичный полимерный материал.
14. Выполняем действия по п. 4 – 7, используя в качестве исходного сырья вторичный полимерный материал.
15. Отключаем электрический обогрев узла цилиндра пластикации и питание установки вертикальной литьевой.
16. Полученные результаты экспериментальных данных заносятся в таблицы. (Пример – табл. 5.3)
17. Полученный вторичный полимерный материал подвергается экспресс-контролю по определению показателя текучести расплава, предела текучести при растяжении, относительного удлинения и предела прочности при разрыве. Методика определения этих показателей дана в разделе 2.3. лабораторной работы №2 (стр. 21 – 23).
18. Полученные результаты заносятся в таблицы и строятся графические зависимости по заданию преподавателя.

### 3. Определение основных параметров установки вертикальной литьевой

Основными параметрами, необходимыми и достаточными для разработки конструкции любой литьевой машины, являются: объем впрыска за один цикл, давление литья, скорость впрыска, пластикационная производительность, площадь литья, усилие запираания формы, расстояние между колоннами прессовой части, максимальное и минимальное расстояние между плитами, ход подвижной плиты.

Объем впрыска за один цикл рассчитывается по формуле:

$$V_o = (V_{изд}n + V_l)k_{ут} \cdot k_{сж}, \quad (5.1)$$

где  $V_{изд}$  – объем изделия,  $см^3$ ;  $n$  – предполагаемая гнездность формы;  $V_l$  – объем литниковой системы,  $см^3$ ;  $k_{ут}$  – коэффициент, учитывающий утечки расплава в пластикационном цилиндре,  $k_{ут} = 1 \dots 1,02$ ;  $k_{сж}$  – коэффициент, учитывающий сжатие расплава в материальном цилиндре, который определяется по формуле:

$$k_{сж} = \frac{1}{1 - \chi P_\phi}, \quad (5.2)$$

где  $\chi$  – коэффициент, учитывающий сжатие расплава в пластикационном цилиндре;  $P_\phi$  – давление на входе в форму.

Из практических рекомендаций максимальные значения  $P_\phi$  при изготовлении толстостенных изделий из термопластов составляют 20...40 МПа, изделий со средней толщиной стенки – 40...60 МПа, тонкостенных – 70...100 МПа.

Производительность литьевого оборудования  $Q_l$  (кг/ч) определяется по формуле:

$$Q_l = 3600 \cdot V_o \rho / t_{ц}, \quad (5.3)$$

где  $\rho$  – плотность расплава,  $кг/см^3$ ;  $t_{ц}$  – время цикла литья, с.

Время цикла литья определяется по формуле:

$$t_{ц} = t_c + t_n + t_{en} + t_v + t_{охл} + t_p, \quad (5.4)$$

где  $t_c$  и  $t_p$  – время смыкания и размыкания формы соответственно;  $t_n$  – время подвода и отвода узла пластикации и впрыска;  $t_{вп}$ ,  $t_v$ ,  $t_{охл}$  – время впрыска, выдержки под давлением и охлаждения соответственно.

Производительность узла пластикации  $Q_n$  (кг/ч) определяется по формуле:

$$Q_n = 3600 V_o \rho / t_{пл}, \quad (5.5)$$

где  $t_{пл}$  – продолжительность пластикации.

Номинальное давление литья  $P_n$  создается гидроприводом литьевой машины, определяется в каждом конкретном случае с учетом конструкции формы, свойств материала, температуры переработки. Давление литья можно выбрать, руководствуясь табл. 4.1.

**Таблица 5.1**

Объем отливки, см <sup>3</sup>	8	16	32	63	125	250	500	1000
Время впрыска, сек	0,4 - 0,5	0,4 - 0,5	0,4 - 1,2	0,5 - 1,3	0,8 - 1,5	0,8 - 1,8	1 - 2	1,5 - 2,5
Давление литья, МПа	45-90	45-90	50 - 120	50 - 120	60 - 140	60 - 140	60 - 180	60 - 180

Площадь литья называют проекцию поверхности детали на плоскость, перпендикулярную направляющим колоннам, определяется исключительно ассортиментом деталей данного веса. Анализ параметров литьевых машин позволяет установить соотношение применяемых площадей литья для машин с различными номинальными объемами отливок. В табл. 5.2. приведены ориентировочные значения площадей литья для деталей, изготавливаемых на отечественных заводах.

**Таблица 5.2**

Объем отливки, см <sup>3</sup>		6	32	63	125	250	500	1000
Максимально допустимая площадь литья, см <sup>2</sup>	5	0	100	200	350	600	1000	1800

Параметрами, связанными с габаритами формуемого изделия, является номинальное усилие запираения формы  $P_з$ , ход подвижной плиты, минимальная и максимальная высоты устанавливаемой формы и расстояние между колоннами в свету по вертикали и горизонтали.

Необходимое усилие запираения (смыкания) формы может быть определено по следующей формуле:

$$P_з = P_{cp} \cdot S_{л} \cdot N_f \cdot k_{л} \cdot k_{н}, \quad (5.6)$$

где  $P_{cp}$  – среднее давление в полости формы;  $S_{л}$  – максимально допустимая площадь отливки;  $N_f$  – гнездность формы;  $k_{л}$  – коэффициент, учитывающий площадь (в плане) литниковой системы ( $k_{л} = 1,1 \dots 1,2$ );  $k_{н}$  – коэффициент, учитывающий потери усилия смыкания из-за потерь на трение в уплотнениях гидроцилиндра, в механизмах прессовой части и из-за неточности изготовления плоскостей смыкания полуформ ( $k_{н} = 1,2$ ). Значение  $P_{cp}$  для термопластов обычно бывает равным 40...80 МПа.

Наибольшая высота оформляющих плит литьевой формы  $H_{\phi}$  равна:

$$H_{\phi} = \frac{H_{изд}}{k_{н}}, \quad (5.7)$$

где  $H_{изд}$  – высота изделия;  $k_{н}$  – коэффициент, учитывающий толщину стенок инструмента ( $k_{н} = 0,4 \dots 0,6$ ).

Ход подвижной плиты определяется по формуле:

$$L_n = k_{\phi} \cdot H_{изд}, \quad (5.8)$$

где  $k_{\phi}$  – коэффициент, зависящий от объема впрыска  $V_o$  ( $k_{\phi} = 1,8 \dots 2,15$ ).

Наибольшее расстояние между плитами определяется по формуле:

$$L_{nn} = L_n + L_{\phi}, \quad (5.9)$$

где  $L_{\phi}$  – высота формы.

### 3.1. Составление технической характеристики

Рассчитав необходимые параметры и сделав соответствующие замеры, студенты должны составить техническую характеристику установки вертикальной литьевой, включающую в себя следующие позиции: объем отливки, диаметр поршня, инжекционное давление, расстояние между колоннами, высота формы, усилие запираения формы, мощность обогревателей, мощность электродвигателя, габаритные размеры, масса машины.

## 4. Содержание отчета

1. Краткие сведения по типам и конструкциям литьевых машин, их конструктивные особенности, назначение, параметрические расчеты (схемы, эскизы, расчетные формулы по литературе). Раздел выполняется в процессе подготовки к лабораторной работе по рекомендуемой литературе.

2. Составление кинематической схемы установки вертикальной литьевой.

3. Измерение и расчет параметров установки вертикальной литьевой.

4. Определение физико-механических и технологических свойств материала полученного при переработке отходов термопластов на установке вертикальной литьевой.

5. Выводы по проведенным экспериментальным исследованиям.

6. Составление технической характеристики установки вертикальной литьевой.

## 5. Контрольные вопросы

1. Назначение и классификация литьевых машин?

2. Каковы конструктивные особенности литьевых машин для переработки отходов термопластов?

3. Каковы особенности привода литьевых машин?

4. Принцип действия установки вертикальной литьевой?
5. Какие параметры литьевого оборудования варьируются в процессе переработки отходов?
6. Назовите факторы, оказывающие влияние на физико-механические свойства получаемого материала?
7. От каких параметров зависит мощность, затрачиваемая на процесс переработки отходов?

### **ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА**

1. К работе на оборудовании допускаются студенты не моложе 18 лет, получившие инструктаж по технике безопасности, прошедшие обучение безопасным приемам работы на нем.

2. При пользовании оборудованием руководствоваться соответствующими правилами техники безопасности на рабочем месте.

3. К работе приступать только с разрешения преподавателя.

4. Перед началом работы студент обязан тщательно осмотреть и проверить исправное состояние оборудования, ограждений, предохранительных устройств и механизмов, нормальное освещение помещения и рабочих мест, работу вентиляционных систем, энерго- и водоснабжения, обеспечения защитными средствами, спецодеждой, чистоту рабочего места, волосы убрать под головной убор, привести в порядок одежду, убрать посторонние предметы, которые могут привести к поломке оборудования или к несчастному случаю, проверить работу машины на холостом ходу. При неисправности оборудования отключить машину и сообщить руководителю.

5. Студент обязан знать и строго соблюдать режимы и порядок работы, заданный технологическим регламентом, выполнять только порученные работы, не допускать посторонних лиц.

6. Во время работы категорически запрещается: класть руки и облокачиваться на вращающиеся части машин, прикасаться к режущим поверхностям; поправлять и подталкивать руками материал во вращающиеся, режущие и смыкающиеся части машин; передавать инструмент через режущие и вращающиеся части машин; обтирать и чистить машину на ходу; оставлять включенную машину без присмотра.

7. При работе на машинах с вращающимися и подвижными частями нужно соблюдать особую осторожность во избежание травм рук; подрезку полимерной композиции производить ниже средней линии вала; не опираться свободной рукой о поверхности валков, стрелки и станины; при аварийной ситуации следует немедленно ударить по штанге аварийного останова.

8. Лица, не выполняющие требования безопасности, изложенные в инструкциях по технике безопасности, в зависимости от характера нарушений несут ответственность в дисциплинарном или судебном порядке.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Смиранный, И.Н. Другая жизнь упаковки: монография / И.Н. Смиранный, П.С. Беляев, А.С. Клинков, О.В. Ефремов. – Тамбов : Першина, 2005. – 178 с.
2. Мюррей, Р. Цель – Zero Waste. Пер. с англ. Горницкого В.О. – М. : ОМННО "Совет Гринпис", 2004. – 232 с.
3. Вторичная переработка пластмасс / Ф. Ла Мантия (ред.); пер. с англ. под ред. Г.Е. Заикова. – Спб. : Профессия, 2006. – 400 с.
4. Тимонин, А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования : справочник / А.С. Тимонин. – Т. 2. – Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2002. – 1085 с.
5. Голубев Б.А., Ершов Б.А. Типовые конструкции механизмов в химическом машиностроении. Справочное пособие. – М. : Машиностроение, 1966. – 162 с.
6. Оборудование и основы проектирования заводов резиновой промышленности : учебное пособие для вузов / Н.Г. Бекин, Н.Д. Захаров, Г.К. Пеунков и др. – Л. : Химия, 1985. – 504 с.
7. Лукач, Ю.Е. Валковые машины для переработки пластмасс и резиновых смесей / Ю.Е. Лукач, Д.Д. Рябинин, Б.Н. Метлов. – М., 1967. – 296 с.
8. Проектирование и расчет валковых машин для полимерных материалов : учебное пособие / А.С. Клинков, В.И. Кочетов, М.В. Соколов, П.С. Беляев, В.Г. Однолько. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 128 с.
9. Вторичное использование полимерных материалов / под ред. Е.Г. Любешкиной. – М., 1985. – 192с.
10. Клинков, А.С. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов : учебное пособие / А.С. Клинков, П.С. Беляев, М.В. Соколов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 80 с.
11. Шенкель, Г. Шнековые прессы для пластмасс / Г. Шенкель. – Л., 1962. – 467 с.
12. Рябинин, Д.Д. Червячные машины для переработки пластических масс и резиновых смесей / Д.Д. Рябинин, Ю.Е. Лукач. – М., 1965. – 363 с.
13. Каплун, Я.Б. Формующее оборудование экструдеров / Я.Б. Каплун, В.С. Ким. – М., 1969. – 159 с.
14. Техника переработки пластмасс / под ред. Н.И. Басова. – М., 1985. – 528 с.
15. Оборудование для переработки пластмасс : справочное пособие / под ред. В.К. Завгороднего. – М., 1976. – 408 с.
16. Основы проектирования экструзионных машин предприятий полимерных материалов : учебное пособие / П.С. Беляев, А.С. Клинков, О.Г. Маликов, В.Г. Однолько, М.В. Соколов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. – 144 с.
17. Бернхардт, Э. Переработка термопластичных материалов / Э. Бернхардт. – М., 1962. – 747 с.
18. Автоматизированное проектирование и расчет шнековых машин : монография / М.В. Соколов, А.С. Клинков, О.В. Ефремов, П.С. Беляев, В.Г. Однолько. – М., 2004. – 248 с.
19. Завгородний, В.К. Литые машины для термопластов и реактопластов / В.К. Завгородний, Э.Л. Калинин, Е.И. Марам. – М., 1968. – 374 с.
20. Басов, Н.И. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов / Н.И. Басов, Ю.В. Казанков, В.А. Любартович. – М., 1986. – 488 с.
21. Гурвич, С.Г. Расчет и конструирование машин для переработки пластических материалов / С.Г. Гурвич, Г.А. Ильяшенко, Ш.Е. Мочман. – М., 1970. – 295 с.