

Б А К А Л А В Р И А Т

# ПРОИЗВОДСТВО ТАРЫ И УПАКОВКИ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

И. В. Скопинцев



[www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com)



**ЭБС  
ЛАНЬ**

И. В. СКОПИНЦЕВ

# ПРОИЗВОДСТВО ТАРЫ И УПАКОВКИ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Учебное пособие*



• САНКТ-ПЕТЕРБУРГ •  
• МОСКВА • КРАСНОДАР •  
• 2018 •

ББК 35.710я73  
С 44

**Скопинцев И. В.**

**С 44** Производство тары и упаковки из полимерных материалов: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2018. — 112 с. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

**ISBN 978-5-8114-3038-3**

Рассмотрены основные технологические методы производства полимерной тары и упаковки, а также схемы и конструкции некоторых видов технологического оборудования. Приведены сведения о видах полимерных материалов для производства упаковки, экологических аспектах её использования и существующих технологиях в этой области.

Учебное пособие предназначено студентам, обучающимся по направлению подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» при изучении ими дисциплины «Производство тары и упаковки из полимерных материалов», а также слушателям факультета дополнительного профессионального образования.

**ББК 35.710я73**

**Обложка**  
**Е. А. ВЛАСОВА**

© Издательство «Лань», 2018  
© И. В. Скопинцев, 2018  
© Издательство «Лань»,  
художественное оформление, 2018

## Введение

Анализ методов переработки полимерных материалов в изделия и детали показывает, что с конца 1970-х гг. в их структуре наметилась тенденция к уменьшению относительной доли «традиционных» процессов (исключение составляет лишь литьевое формование полимеров) с увеличением удельного веса относительно новых: раздувного формования, пневмо- и вакуумного формования, механотермоформования, производства пленочных материалов и др. Это обусловлено всё возрастающими потребностями в полимерной продукции, которую используют для транспортировки и хранения пищевых продуктов, различных товаров химической, нефтеперерабатывающей, фармацевтической, парфюмерно-косметической и других отраслей промышленности. Последние 15–20 лет мировой потребительский рынок характеризуется стабильной тенденцией к увеличению реализации различных товаров, материалом упаковки для которых служат полимеры. Рост объёмов производства различных видов продукции, затариваемых или упаковываемых в полимерные материалы, связан с переориентацией на более эффективные и экономичные виды используемого для этих целей сырья, что в условиях рыночных отношений обеспечивает конкурентоспособность их производителей.

Согласно ГОСТ 17527-86 «Упаковка. Термины и определения» под упаковкой понимают *комплекс защитных мер и материальных средств* для подготовки продукции к транспортированию и её материальную сохранность. Из приведённого определения следует, что упаковка — это комплекс технологических процессов для размещения продукции, обеспечивающих *упаковывание* с помощью специального оборудования или вручную, с одной стороны, а с другой — материальные средства (конкретные виды изделий) для защиты продукции от повреждения или потерь в процессе транспортировки, складирования и хранения. Отсюда и совершенно разный смысл термина «упаковка». Отметим, что ранее в ГОСТ совсем не затрагивалось такое понятие как «тара»,

которая является неотъемлемым, а иногда и единственным элементом (средством) упаковки, и также представляет собой конкретные виды изделий для размещения продукции. Во многих конкретных случаях достаточно сложно разграничить понятия «тара» и «упаковка», и поэтому в литературе часто используют обобщённое понятие, определяемое как *тароупаковочное средство*.

Производство полимерных тароупаковочных средств является сложным, многоэтапным процессом, требующим специальной подготовки.

Материалы настоящего учебного пособия позволяют приобрести знания в области технологий производства полимерных тароупаковочных средств, используемых для их изготовления оборудования и также теоретические знания о существе процессов, протекающих в формирующем инструменте оборудования; научить будущего специалиста использовать современные компьютерные технологии, поддерживающие процесс автоматизированного проектирования различных методов производства полимерных изделий, в том числе тары и упаковки.

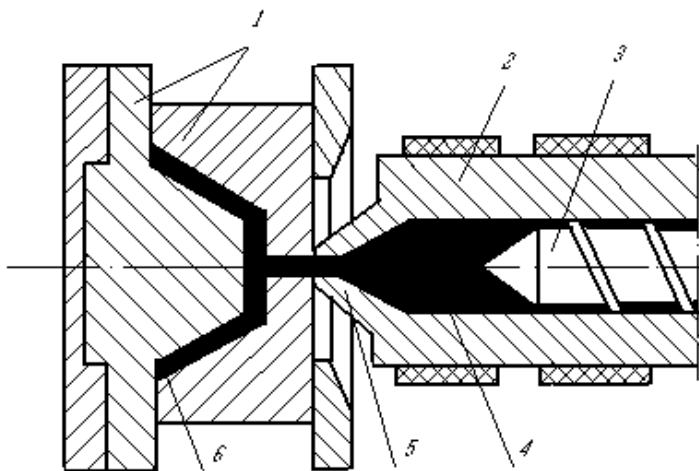
# **РАЗДЕЛ I. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНОЙ УПАКОВКИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ**

## **1. Литьевое (инжекционное) формование**

Метод литьевого (инжекционного) формования термопластов (рис. 1) заключается в том, что исходный полимерный материал в виде гранул или порошка загружается в бункер литьевой машины, где захватывается вращающимся шнеком (червяком) 3 и транспортируется им вдоль оси пластикационного обогреваемого цилиндра 2 в его сопловую часть, переходя при этом из твёрдого состояния в состояние расплава. По мере накопления необходимого объёма расплава полимера 4 последний впрыскивается за счёт поступательного перемещения шнека через специальное сопло 5 в сомкнутую охлаждаемую литьевую форму 1. Заполнивший полость формы расплав полимера удерживается в ней какое-то время под давлением и остывает. Далее литьевая форма раскрывается, готовое изделие 6 удаляется из её полости, а цикл формования повторяется.

Метод реализуется с помощью специального оборудования, называемого литьевыми машинами (выпускавшиеся ранее в СССР литьевые машины носят название «термопластавтоматы»), и имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами формования изделий из полимеров: высокая производительность, значительный уровень механизации и автоматизации реализуемого процесса, отсутствие этапа получения заготовки для формования изделий, небольшое количество отходов, возможность формования изделий с практически любым заданным распределением толщины стенок. К недостаткам следует отнести невозможность формования полых изделий закрытого типа (бутылок, канистр и т. п.) и крупногабаритных изделий. Вместе с тем, как ни один другой, этот метод имеет хорошо развитую теоретическую базу, научно

обоснованные и широко применяемые в практике методы расчёта и конструирования формирующего инструмента для его реализации, обеспечивающие производство изделий с задаваемыми параметрами.



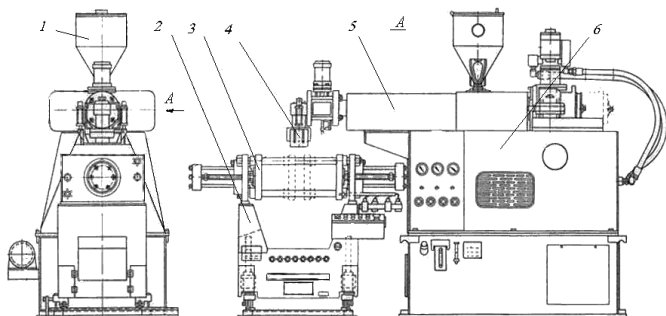
**Рис. 1.** Схема литьевого (инжекционного) формования

Основными техническими характеристиками литьевых машин являются объём отливки и усилие запираения литьевой формы. Различные литьевые машины могут иметь шнековую (червячную), поршневую или комбинированную системы пластикации и впрыска. По виду механизма запираения литьевых форм различают литьевые машины с гидравлическим, гидромеханическим и электромеханическим (рычажным или винтовым) приводами. По видовому и типовому разнообразию мировой парк литьевых машин образует одну из самых многочисленных групп оборудования для переработки полимеров.

## 2. Экструзионно-раздувное формование

Экструзионно-раздувные агрегаты предназначены для производства полых полимерных изделий, которые используют в качестве тароупаковочных средств (бутылки, банки, флаконы, канистры, баки, бочки и т. п.). Основными техническими характеристиками, отличающими различные типы этого оборудования, являются максимальные значения объёма полости формируемых изделий и штучной производительности.

Принципиальное устройство всех экструзионно-раздувных агрегатов идентично (рис. 2). В их состав, как правило, входят одночервячный экструдер (червячный пресс) 6, оснащённый кольцевой экструзионной головкой 4, который предназначен для получения трубчатой заготовки из расплава полимерного материала, и приёмное устройство 2, оснащённое раздувными полужормами, смонтированными на его подвижных плитах 3 для приёма получаемой трубчатой заготовки и последующего её раздувания сжатым газом в полое изделие.

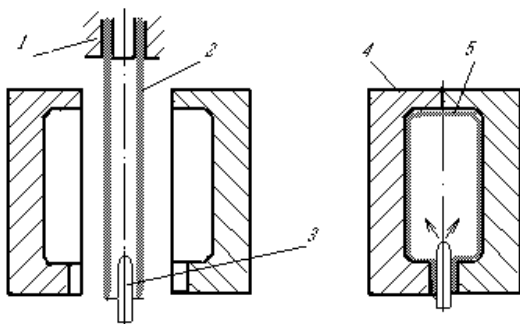


*Рис. 2. Общий вид экструзионно-раздувного агрегата*

Принцип работы экструзионно-раздувных агрегатов заключается в том, что исходное полимерное сырьё в виде гранул



или порошка захватывается из бункера-накопителя 1 экструдера его вращающимся червяком, а по мере продвижения в обогреваемом цилиндре 5 плавится, пластицируется и продавливается (экструдируется) через формирующий инструмент — обогреваемую кольцевую экструзионную головку 1 (рис. 3), выходя из неё в виде трубчатой (рукавной) заготовки 2 и попадая в пространство между разомкнутыми половинами охлаждаемой раздувной формы 4, смонтированными на подвижных плитах приёмного устройства. По достижении заготовкой определённой длины раздувные полуформы смыкаются с захватом заготовки и происходит её раздувание сжатым газом, подаваемым в полость заготовки через раздувной ниппель 3. После охлаждения полуформы размыкаются и готовое полое изделие 5 снимают. Далее цикл формования изделия повторяется. При производстве изделий малой ёмкости используют многоручьевые экструзионные головки и многогнездные раздувные формы [1].

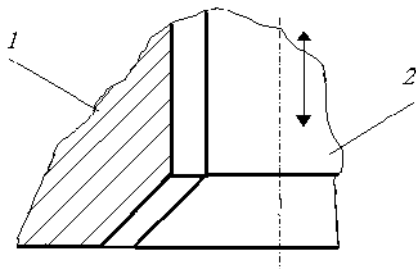


**Рис. 3.** Схема экструзионно-раздувного формования

Для формования крупногабаритной тары (канистры, баки, бочки и т. п.) используют экструзионно-раздувные агрегаты, оснащённые копильным устройством (аккумулятором), расположенным между червяком экструдера и экструзионной головкой, в котором накапливается расплав полимера, нагнетаемого непрерывно вращающимся червяком экструдера за время, в течение которого происходит раздувание и охлаждение изделия.

После накопления необходимого объёма расплав полимера под действием поршня копильника с большой скоростью выдавливается из него через экструзионную головку с образованием трубчатой заготовки.

С целью снижения разнотолщинности формуемых изделий, обусловленной гравитационной вытяжкой получаемых заготовок и их неоднородным деформированием при раздувании, экструзионные головки часто снабжают специальным устройством, позволяющим в процессе экструзии целенаправленно изменять размер кольцевого зазора её формующей щели, что обеспечивает желаемое распределение толщины стенки по длине получаемой экструзионной заготовки. Это достигается за счёт использования конических дорнов и мундштуков в экструзионной головке (рис. 4) и относительного их смещения в процессе экструзии заготовки, обеспечиваемого отдельным, как правило, гидравлическим приводом, управляемым по заранее заданной программе.



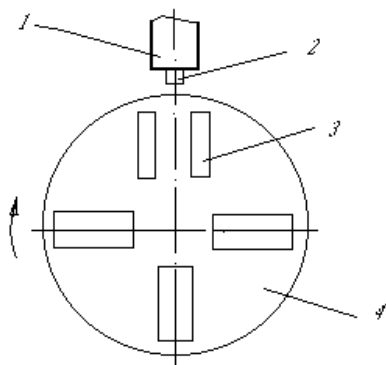
**Рис. 4.** *Схема экструзионной головки с изменяемым зазором формующей щели:*

*1 — неподвижный мундштук; 2 — подвижный дорн.*

Приёмные устройства раздувных агрегатов предназначены для выполнения следующих технологических и вспомогательных операций: перемещения раздувных полуформ к экструзионной головке для приёма экструдируемой заготовки; смыкания и запираания раздувных полуформ; отрезания заготовки у экструзионной головки; подачи сжатого газа для раздувания

заготовки; отвода раздувных полуформ от экструзионной головки; охлаждения изделия; размыкания полуформ и съёма готового изделия.

По числу рабочих позиций приёмные устройства разделяют на одно-, двух- и многопозиционные. Одно- и двухпозиционные приёмные устройства могут быть оснащены специальными механизмами, осуществляющими вертикальное, горизонтальное или сложное кинематическое перемещение (подвод и отвод) раздувных полуформ относительно оси экструзионной головки, что обеспечивает непрерывный процесс получения заготовок. Многопозиционные приёмные устройства используют в тех случаях, когда время экструзии заготовки намного меньше времени её раздувания и охлаждения получаемого изделия. Конструкция таких приёмных устройств представляет собой периодически или непрерывно вращающийся ротор, на котором смонтировано несколько раздувных форм (рис. 5), имеющих индивидуальные приводы их смыкания – размыкания.



**Рис. 5.** Схема многопозиционного приёмного устройства:  
1 — экструзионная головка; 2 — экструдированная трубчатая заготовка; 3 — раздувные полуформы; 4 — ротор.

Экструзионно-раздувные агрегаты, оснащённые многопозиционными приёмными устройствами, работают непрерывно, что обеспечивает их высокую производительность. Некоторые модели таких агрегатов, выпускаемых АО КБАЛ им. акад. Л. Н. Кошкина, позволяют производить до 15–20 изделий в минуту при использовании одной экструзионной головки. Кроме того, многопозиционные приёмные устройства позволяют одновременно изготавливать изделия различной конфигурации, но только в том случае, когда для их формования может быть использован один типоразмер экструзионной заготовки.

Важной особенностью экструзионно-раздувных агрегатов является согласованная работа червячного пресса и приёмного устройства при условии равенства или кратности суммы времён раздувания, охлаждения и съёма готового изделия со временем получения заготовки. Время раздувания изделия определяется следующим образом:

$$t_p = \frac{V_0}{G_{\text{и}}} \cdot \left( \frac{V_{\Phi}}{V_0} - 1 \right) \cdot \left( \frac{P_0}{P_{\text{и}}} \right)^{\frac{1}{K}}, \quad (2.1)$$

где  $V_0, V_{\Phi}$  — объёмы полостей заготовки и формуемого изделия соответственно;  $P_0, P_{\text{и}}$  — исходное давление газа в полости заготовки и давление газа, истекающего в полость раздуваемой заготовки соответственно;  $K$  — показатель адиабаты газа, подаваемого в полость раздуваемой заготовки через раздувной ниппель.

Значение объёмного расхода газа  $G_{\text{и}}$ , истекающего в полость раздуваемой заготовки через раздувной ниппель, входящее в зависимость (2.1), определяется следующей известной зависимостью [2]:

$$G_{\text{и}} = \mu_p \cdot S \cdot \sqrt{\frac{2K}{K+1}} \cdot R_p \cdot T_p,$$

где  $\mu_p, S$  — коэффициент расхода пневмокоммуникационной системы, обеспечивающей подвод сжатого газа из ресивера в

полость раздуваемой заготовки, и площадь проходного сечения раздувного ниппеля соответственно;  $R_p, T_p$  — удельная газовая постоянная и температура этого газа в ресивере соответственно.

Время, необходимое для охлаждения изделия в раздувной форме, находят следующим образом [1, 3]:

$$t_o \approx -\frac{4}{\pi^2} \cdot \frac{\delta^2}{a} \cdot \ln \left( 1,1 \cdot \frac{T_{\text{и}} - T_{\Phi}}{T_3 - T_{\Phi}} \right), \quad (2.2)$$

где  $T_3, T_{\Phi}, T_{\text{и}}$  — температура заготовки, раздувной формы и извлекаемого из неё изделия соответственно;  $\delta$  — средняя толщина стенки формуемого изделия;  $a$  — коэффициент температуропроводности полимера в рабочем интервале температур.

Время извлечения (съёма) готового изделия из раздувной формы определяется как его габаритами, так и оснащённостью приёмного устройства специально предназначенными для этого манипуляторами. В зависимости от этого оно может колебаться от одной до пяти секунд. Время получения (экструзии) заготовки при использовании агрегатов, не оснащённых копильным устройством, определяется объёмом материала заготовки и объемной производительностью червячного пресса:

$$t_{\Pi} = \frac{V_3}{Q},$$

где  $V_3, Q$  — объём материала заготовки и объемная производительность червячного пресса соответственно.

При использовании агрегатов, оснащённых копильным устройством, время получения заготовки составляет

$$t_{\Pi} = V_3 \cdot \left( \frac{1}{\alpha \cdot v} + \frac{\mu_2}{K_{\text{ЭГ}} \cdot \Delta P} \right),$$

где  $\alpha$  — коэффициент, характеризующий геометрию используемого червяка [1, 4, 5];  $v$  — частота его вращения;  $K_{\text{ЭГ}}$  — коэффициент, характеризующий геометрию каналов

экструзионной головки [1, 6];  $\Delta P$  — перепад давления в головке, создаваемый гидроцилиндром копильного устройства;  $\mu_2$  — среднее значение динамической сдвиговой вязкости расплава полимера в каналах экструзионной головки.

Данный метод обладает рядом преимуществ: простая технология и возможность полной автоматизации процесса формования, высокая производительность в сочетании с возможностью совмещения производства тары в одном потоке с производством затариваемой продукции, её расфасовкой, укупоркой, этикетированием тары и пр., относительно невысокая стоимость технологического оборудования и формирующего инструмента (раздувных форм, экструзионных головок). К основным недостаткам метода следует отнести следующее: его реализация протекает в два этапа (получение трубчатой заготовки и её последующее раздувное формование в изделие), что требует наличия двух типов формирующего инструмента (экструзионной головки для получения заготовки и раздувной формы); готовые изделия обладают значительной разнотолщинностью (неоднородностью толщины стенок); наличие технологических отходов. Однако достоинства и технико-экономические показатели метода устойчиво обеспечивают не только «выживаемость», но и его развитие в условиях рынка. В последнее время появились сведения о новых разновидностях метода экструзионно-раздувного формования и формирующих элементах оборудования для их реализации. Однако пока они не получили широкого распространения в производстве упаковки. Классификация экструзионно-раздувных агрегатов по объёму полости формируемых изделий и их технические характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1

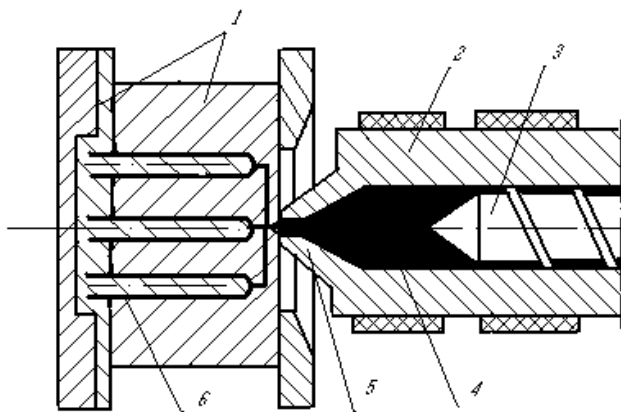
Техническая характеристика	Классификация экструзионно-раздувных агрегатов по объему полости формуемых изделий (л)							
	0,1–1	1–3	3–5	5–10	10–60	60–100	100–200	
	32–45	45–63	63	63–90	63–90	63–90	90–125	
Диаметр червяка (мм)								
Отношение длины червяка к его диаметру	20	20	20	20–25	20–25	20–25	20–25	
Скорость вращения червяка (об/мин)	0–100	0–100	0–100	0–100	0–100	0–100	0–100	
Усилие записания раздувных полуформ, (кН)	8–10	10–30	30–40	40–50	50–70	70–200	200–500	
Объем копильного устройства (л)		0,25	0,8	0,8–1,2	1,5–6	6–10	10–15	
Мощность привода экструдера (кВт)	8–14	14–18	18–20	20–40	20–40	20–40	40–60	
Мощность обогрева (кВт)	5–7	7–9	9–10	10–15	10–15	10–15	15–20	

### 3. Инжекционно-раздувное формование

Многие виды полимерных тароупаковочных средств могут быть получены на оборудовании, которое реализует инжекционно-раздувной метод их производства. С помощью этого метода производят различные бутылки и банки вместимостью от 0,25 до 3,0 литров, а также фляги и канистры вместимостью от 3 до 8 литров.

Основными техническими характеристиками, отличающими различные типы оборудования для реализации этого метода, являются максимальные значения объема полости получаемых изделий, а также обеспечиваемая штучная производительность.

Суть метода заключается в том, что получаемая на первой стадии трубчатая заготовка, называемая преформой, затем раздувается (формируется) сжатым газом в готовое изделие. Существуют две разновидности инжекционно-раздувного формования полых полимерных изделий: раздельная и совмещенная технологии производства.



*Рис. 6. Схема получения литевых (инжекционных) заготовок*

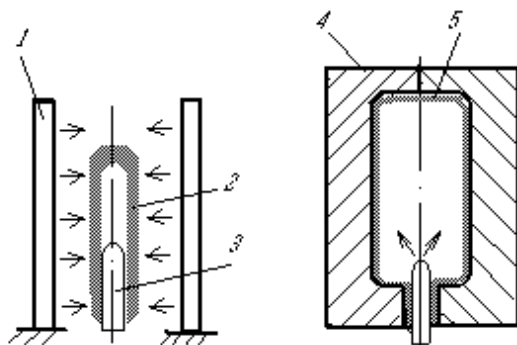


При раздельной технологии стадии получения заготовки и её раздувного формования в изделие существенно разнесены по времени. Стадия получения заготовок (преформ), реализуемая на литьевых (инжекционных) машинах, состоит в следующем (рис. 6): исходный полимерный материал в виде гранул или порошка загружается в бункер литьевой машины, где захватывается вращающимся червяком 3 и транспортируется им вдоль оси пластикационного обогреваемого цилиндра 2 в его сопловую часть, переходя при этом из твёрдого состояния в состояние расплава. По мере накопления необходимого объёма расплава полимера 4 последний впрыскивается (инжектируется) за счёт поступательного перемещения червяка через специальное сопло 5 в сомкнутую охлаждаемую литьевую форму 1. Заполнивший полость формы расплав полимера удерживается в ней какое-то время под давлением и остывает. Далее литьевая форма раскрывается, отлитые заготовки 6 удаляются с помощью специального сталкивающего устройства и цикл формования повторяется. Как правило, литьевые формы имеют до нескольких десятков формообразующих гнёзд, что обеспечивает высокую производительность получения инжекционных заготовок.

Стадия раздувного формования инжекционных заготовок (преформ) в изделия (рис. 7) осуществляется на специальных раздувных линиях, состоящих из бункера-накопителя, устройства для ориентации и перемещения преформ, устройства для их разогрева 1, узла раздувного формования разогретых заготовок 2 в изделия 5, оснащённого раздувными полуформами 4 и раздувным ниппелем 3.

Принцип работы раздувных линий состоит в том, что инжекционные заготовки 2 из бункера-накопителя с помощью специальных механизмов перемещаются в нагревательное устройство 1, где ориентируются определённым образом и разогреваются до необходимой температуры. Равномерность разогрева заготовок обеспечивается за счёт их вращения вокруг оси симметрии в процессе поступательного перемещения вдоль нагревательных элементов. Затем нагретые заготовки перемещаются

в механизм раздувания, оснащённый раздувными охлаждаемыми полуформами 4. Заготовка формируется в изделие 5 за счёт подачи сжатого газа в полость последней через раздувной ниппель 3.



*Рис. 7. Схема раздувного формования инжекционных заготовок*

После формообразования изделия и его охлаждения раздувные полуформы размыкаются, а готовое изделие сбрасывается с раздувного ниппеля. Как правило, раздувной механизм оснащается многонёздными раздувными формами [1], что значительно повышает производительность оборудования. Кроме того, для повышения степени двухосной ориентации макромолекулярной структуры материала заготовки при её раздувании в изделие данный механизм часто оснащают специальным устройством, обеспечивающим дополнительную принудительную вытяжку раздуваемой заготовки в осевом направлении. Использование такой двухосной ориентации материала заготовки для некоторых полимеров позволяет повышать его прочностные характеристики и снижать газопроницаемость формируемых изделий.

При совмещённой технологии используют инжекционно-раздувные агрегаты, создаваемые на базе литьевых машин с предварительной червячной пластикацией. С этой целью литьевые машины дополнительно оснащаются устройством, обеспе-

чивающим раздувное формование изделий из получаемых заготовок, которые перемещаются на позицию раздувания с помощью специальных автоматических устройств непосредственно после их инжекционного формования [1, 5]. Отличие этого способа производства полых полимерных изделий от раздельной технологии их формования состоит в том, что получаемая с помощью литьевой машины инжекционная заготовка отливается на специальном полом сердечнике [5], оснащённом клапанным устройством, через которое затем и подают сжатый газ в полость отлитой заготовки, обеспечивая её раздувание.

К преимуществам метода инжекционно-раздувного формования полых изделий следует отнести высокую степень механизации и автоматизации, а также высокую производительность оборудования: линии для раздувного формования полых изделий из инжекционных заготовок, выпускаемые фирмами «Сидель» (Франция), «Крупп-Каутекс» (Германия), позволяют производить от нескольких сотен до нескольких десятков тысяч изделий в час за счёт параллельного использования нескольких механизмов раздувания, оснащённых многогнездными раздувными формами.

Штучная производительность оборудования, обеспечивающего реализацию инжекционно-раздувного метода производства полых полимерных изделий, определяется временем цикла их формования. При использовании раздельной технологии время цикла литьевого формования преформы (заготовки) определяется следующим образом:

$$t_{\text{ц}} \approx (1,1 \div 1,3) \cdot t_0,$$

где  $t_{\text{ц}}$  — время цикла литьевого формования преформы;  $t_0$  — время охлаждения получаемой преформы, определяемое следующей зависимостью:

$$t_0 \approx -\frac{1}{\pi^2} \cdot \frac{\delta^2}{a} \cdot \ln \left( 1,1 \cdot \frac{T_{\text{и}} - T_{\text{ф}}}{T_{\text{р}} - T_{\text{ф}}} \right),$$

где  $T_p, T_\phi, T_{\text{и}}$  — температура расплава, литьевой формы и извлекаемой из неё преформы соответственно;  $\delta$  — средняя толщина стенки формируемой заготовки;  $a$  — коэффициент температуропроводности полимера в рабочем интервале температур.

Время цикла раздувного формования изделия из полученной преформы определяется суммой времен раздувания изделия и его охлаждения в раздувной форме (зависимости (2.1) и (2.2)), при этом мощность нагревательных элементов в устройстве разогрева заготовок рассчитывается с учётом обеспечиваемой производительности.

При использовании совмещённой технологии производства получение преформы и её формование в изделие осуществляются непосредственно на литьевой машине, оснащенной узлом раздува преформ. Определяющим моментом реализации такого метода формования изделий является условие равенства времени циклов инжекционного формования заготовок и раздувного формования из них изделий. Последнее условие накладывает вполне определённые требования к выбору типоразмера литьевого оборудования, на базе которого проектируют инжекционно-раздувные агрегаты. Следует отметить, что в настоящее время эту технологию практически не используют в промышленности.

## **4. Термоформование изделий из плоских заготовок**

Одними из основных методов производства тароупаковочных полимерных средств являются методы термоформования изделий из плоских (листовых или плёночных) заготовок. Термоформование объединяет несколько технологических методов: вакуумное, пневматическое, механическое, а также и некоторые другие виды формования нагретых полимерных листовых или плёночных заготовок, при этом возможны их различные комбинации.

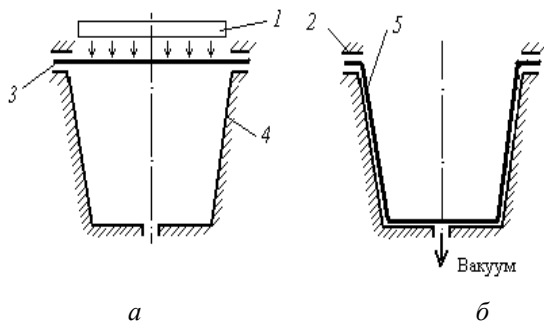
Широкое распространение процессов термоформования объясняется простотой, компактностью, относительной дешевизной применяемого оборудования и технологической оснастки. Термоформование используют прежде всего при производстве тары и упаковки для пищевой, парфюмерно-косметической, химико-фармацевтической, химической, нефтяной промышленности, одноразовой посуды, а также целого ряда полых полимерных изделий, имеющих различное техническое назначение. Многие виды полимерных изделий, например крупногабаритные и тонкостенные сложной конфигурации, можно изготовить только методами пневматического или вакуумного формования. Все вышеперечисленные преимущества позволяют достойно конкурировать процессам термоформования с другими альтернативными методами производства изделий из полимеров.

### **4.1. Основные методы термоформования**

Реализация методов термоформования достаточно проста: листовую или плёночную полимерную заготовку нагревают до температуры высокоэластического состояния, а затем, деформируя её различными способами, придают последней необходимую форму, фиксация которой осуществляется путём охлаждения отформованного изделия.

В зависимости от способа создания движущей силы процесса деформирования заготовки в готовое изделие различают следующие методы термоформования пластмасс: вакуумный, пневматический, гидравлический, механический, комбинированный.

При вакуум-формовании (рис. 8) плоскую заготовку 3 из термопластичного полимерного материала, прижатую по периметру к рабочей камере вакуум-формовочной машины прижимной рамой 2, сначала с помощью нагревательного устройства 1 разогревают до высокоэластического состояния (рис. 8а). Затем (рис. 8б) в полости, образованной поверхностями заготовки 3 и формирующей матрицы 4 (или формирующего пуансона), создают разрежение, в результате чего за счет возникающего перепада давления происходит формование изделия 5.

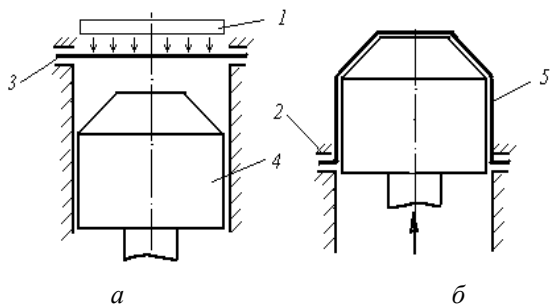


**Рис. 8.** Схема реализации процесса вакуумного формования

После охлаждения изделия до температуры его формоустойчивости последнее извлекают из формирующего инструмента (снимают с формирующего инструмента), предварительно открыв прижимную раму 2.

Процессы пневмоформования отличаются от вакуумного формования тем, что создают перепад давления за счёт использования в качестве рабочей среды сжатого газа, как правило, сжатого воздуха, с избыточным давлением до 2,5 МПа.

При гидравлическом формировании роль рабочей среды выполняет подогретая жидкость, нагнетаемая насосом под давлением 0,15–2,5 МПа.



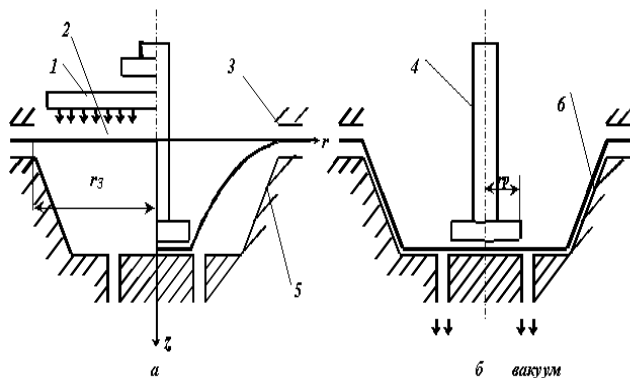
**Рис. 9.** *Схема процесса механотермоформования*

Механическое формирование (механотермоформование) (рис. 9) отличается от процессов пневматического формирования тем, что плоской разогретой заготовке 3 придают форму готового изделия 5 за счёт её механической вытяжки металлическим пуансоном 4.

Следует отметить, что современные технологии производства предусматривают и совместное использование разных методов формирования изделий, например пневмовакuumное, пневмомеханическое и т. п. Схема реализации пневмомеханического метода формирования изделий изображена на рис. 10. Реализация комбинированного метода формирования состоит из двух этапов: на первом из них (рис. 10а) разогретую до необходимой температуры нагревателем 1 плоскую заготовку 2 механически вытягивают с помощью пуансона 4. На втором этапе (рис. 10б) вытянутую заготовку формуют в матрице 5 за счёт создания вакуума в её полости.

Среди всех видов пневмо- и вакуум-формования можно выделить три основных: позитивное, негативное и свободное. При позитивном формировании (формование на пуансоне) внутренняя поверхность изделия в точности воспроизводит форму или рисунок формирующего инструмента. Негативное формование

(формование в матрице) даёт возможность получать изделия, наружная поверхность которых в точности воспроизводит форму или рисунок внутренней поверхности матрицы. Свободное формование осуществляют в проеме прижимной рамы машины без использования формующего инструмента. Кроме перечисленных основных, существуют и другие разновидности технологических процессов термоформования изделий из плоских полимерных заготовок [1, 5, 7–14].

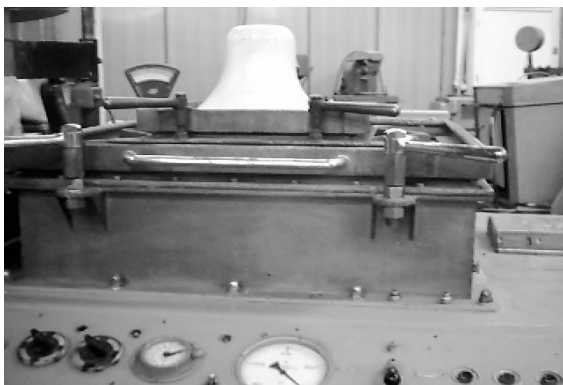


**Рис. 10.** Схема комбинированного процесса механовакуум-формования изделий из плоских полимерных заготовок (а — нагрев и предварительная механическая вытяжка заготовки; б — вакуум-формование изделия)

## 4.2. Оборудование, используемое для процессов термоформования

Всю номенклатуру формовочных машин, реализующих технологические процессы термоформования изделий из плоских полимерных заготовок, разделяют по следующим признакам: методу формования, виду управления, виду перерабатываемого материала, назначению, числу позиций. Общий вид типичной однопозиционной вакуум-формовочной машины с ручным управлением показан на рисунке 11.





*Рис. 11. Общий вид вакуум-формовочной машины*

Метод формования, как уже отмечалось ранее, определяется созданием движущей силы процесса деформирования исходной заготовки в готовое изделие.

Вид управления формовочным оборудованием определяет степень автоматизации процесса формования пластмасс. Различают три основных вида управления: машины с ручным управлением, машины-полуавтоматы, машины-автоматы. Машины с ручным управлением используют в мелкосерийном производстве. Все необходимые операции (вырезка и закрепление заготовки, её нагревание, формование, охлаждение и съем изделия) осуществляет оператор. В машинах-полуавтоматах зажим заготовки и извлечение готового изделия производят вручную, а остальные операции (нагрев, формование, охлаждение) выполняют по заранее заданной программе. Машины-автоматы не требуют присутствия оператора, и все операции осуществляются автоматически.

По виду перерабатываемого материала (виду используемых плоских полимерных заготовок) формовочное оборудование разделяют на классы: машины, работающие с отдельными листовыми или пленочными заготовками; машины, работающие с рулонным материалом; машины, питаемые листом или пленкой, поступающей непосредственно с каландра или экструдера.

Следует отметить, что питание машин отдельными плоскими заготовками требует введения в технологический цикл дополнительной операции — предварительной нарезки заготовок, что увеличивает общее время цикла. Обычно такое питание осуществляется на машинах с ручным или полуавтоматическим управлением.

Рулонные заготовки питают формовочное оборудование, работающее в автоматическом режиме. Формовочные машины, питаемые листом или пленкой, поступающей непосредственно с каландра или экструдера, входят, как правило, в состав автоматических линий. Поступающую с каландра плоскую заготовку из полимерного материала перерабатывают на формовочном оборудовании и направляют на дальнейшую обработку или на склад.

По назначению формовочные машины разделяют на универсальные, специализированные, комбинированные. На универсальных машинах малыми сериями изготавливают изделия всевозможных габаритов. Они предназначены для работы с одно- и многогнездными формами и перерабатывают различные термопластичные материалы. Специализированные машины предназначены для производства только определенного типа изделий из конкретного полимерного материала. На комбинированных формующих машинах выпускают средние и большие серии изделий. При изменении номенклатуры выпускаемых изделий оборудование перенастраивают.

По числу позиций формовочные машины относят к следующим классам: одно-, двух-, трех-, многопозиционные. На однопозиционном оборудовании все технологические операции осуществляют на одном и том же участке машины. Разделение технологических операций на два или три участка ускоряет выпуск изделий, его выполняют соответственно на двух- или трехпозиционных машинах. На многопозиционных машинах одновременно осуществляют все технологические операции производства изделий. Такое оборудование наиболее применимо в промышленном производстве и характеризуется высокой производительностью.

В свою очередь, многопозиционные машины разделяют на карусельные, ленточные и барабанные. В карусельной многопозиционной машине использован принцип карусели. Заготовка движется по кругу, последовательно проходя стадии от закрепления, нагрева и формования до охлаждения и съема готового изделия. Ленточный принцип обычно применяют в тех случаях, когда питание машины осуществляется рулонным материалом. Лента с отформованными изделиями после формовочной машины движется дальше по конвейеру на последующую обработку. В машинах барабанного типа также используют рулонный материал.

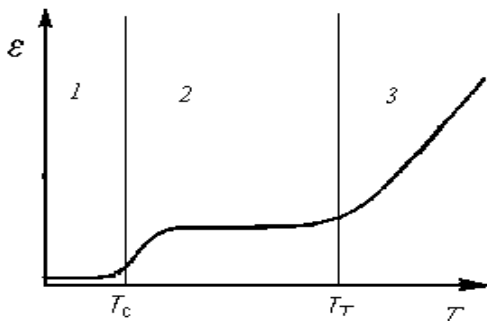
Часто формовочное оборудование для процессов термоформования снабжают дополнительными устройствами: для обрезки кромок, пробивки отверстий, вырубки, предварительной вытяжки и т.д. Такое оборудование может входить в состав технологических линий по производству и заполнению полимерной тары и упаковки.

Более подробные сведения об устройстве и принципах действия разнообразных видов оборудования, используемого для реализации технологических процессов термоформования изделий из плоских полимерных заготовок, изложены в других литературных источниках [5, 8–13].

#### **4.3. Основные технологические параметры процессов термоформования**

Основными технологическими параметрами, определяющими процессы термоформования изделий из плоских полимерных заготовок и влияющими в конечном итоге на качество готовой продукции, являются: температура используемой заготовки, температура формирующего инструмента, рабочий перепад давления при формировании, скорость формования, скорость охлаждения отформованной заготовки, геометрия формируемого изделия, свойства используемого полимерного сырья, свойства и термодинамические параметры рабочих сред и др.

Поскольку процессы переработки полимеров в изделия и детали являются прежде всего деформационными, то выбор оптимальной температуры для каждого конкретного метода их переработки должен, учитывая его специфику, основываться на особенностях деформационного поведения используемых материалов (рис. 12).



**Рис. 12.** Термомеханическая кривая аморфного полимера:  
 $T_c$  – температура стеклования;  $T_t$  – температура текучести; 1, 2, 3 – области стеклообразного, высокоэластического и вязкотекучего релаксационных состояний полимера соответственно.

Анализ приведённой термомеханической кривой показывает, что для полимерных материалов характерны три ярко выраженные области, определяющие различную степень их деформируемости и соответствующие различным релаксационным (термомеханическим) состояниям полимеров: стеклообразному, высокоэластическому и вязкотекучему. Стеклообразное состояние полимеров характеризуется отсутствием движения макромолекулярных цепей или их сегментов. Тепловое движение в материале проявляется лишь в колебаниях атомов. Приложение в таких условиях к полимеру внешней нагрузки может приводить лишь к изменению в его макромолекулярной структуре средних межатомных расстояний

и валентных углов химических связей. Поэтому деформационное поведение полимеров в таком состоянии и обычных упругих твёрдых тел ничем не отличается, а развивающиеся в таких условиях в полимерах деформации являются полностью упруго обратимыми.

Если полимерный материал нагреть до температуры, превышающей температуру его стеклования, то он переходит в следующее релаксационное состояние — высокоэластическое, когда появляется подвижность отдельных сегментов макромолекулярной цепи полимера, а материал становится более мягким и эластичным. Однако ещё стабильно существующие в его структуре надмолекулярные образования, например микроблоки, препятствуют относительному смещению молекулярных цепей в целом. Приложение в таком состоянии к полимеру внешней нагрузки приводит к изменению (уменьшению) конфигурационной энтропии состояния макромолекул, которые, «разворачиваясь» из статистического клубка, лишь ориентируются в направлении приложенной нагрузки, при этом тепловое движение звеньев цепи противодействует внешней нагрузке. При снятии нагрузки цепи возвращаются в исходное состояние, а следовательно, и высокоэластическая деформация так же, как и упругая, является полностью обратимой деформацией, но, в отличие от последней, имеет энтропийную природу.

При дальнейшем нагревании полимера выше некоторой температуры, называемой температурой текучести, надмолекулярные образования становятся столь нестабильными, что возможно относительное смещение цепей макромолекул друг относительно друга при приложении к нему внешней нагрузки. Последнее обстоятельство и обеспечивает течение полимерных сред в этом состоянии, при этом деформации течения являются необратимыми, а само состояние полимера называют вязкотекучим. Особо следует отметить, что деформирование полимеров в вязкотекучем релаксационном состоянии вовсе не означает, что развивающиеся в них деформации являются исключительно деформациями течения. В зависимости от режимов и

кинематики деформирования, реологических свойств полимерных сред, в последних наряду с деформациями течения развиваются и высокоэластические деформации определённого уровня.

Поскольку все процессы термоформования предусматривают стадию разогрева заготовки, поверхность которой находится в свободном состоянии, то для того, чтобы заготовка не имела возможности сильно деформироваться на этой технологической стадии под действием гравитационных сил, её разогрев ведут до момента достижения полимером высокоэластического состояния. Нагревание заготовки до вязкотекучего состояния приводит к её достаточно быстрой гравитационной вытяжке (провисанию) и, как следствие, к невозможности реализации стадии формования изделия. С другой стороны, температура формуемой заготовки не должна находиться вблизи границы стеклообразного и высокоэластического состояний полимера, поскольку при формовании изделия в этом случае возможна неполная его проформовка. Таким образом, рабочая температура формуемой полимерной заготовки является одним из основных технологических параметров, определяющих процессы термоформования.

*Таблица 2*

Материал заготовки	Температура формования, °С	Предел прочности на разрыв, МПа
Поливинилхлорид	100–160	13,7–18,6
Поликарбонат	190–230	50–70
Полиметилметакрилат	120–200	40–66
Полипропилен	150–200	29–40
Полистирол ударопрочный	110–150	40–46
Полиэтилен высокой плотности	120–135	18–26
Полиэтилен низкой плотности	90–135	6,8–14,7

В табл. 2 приведены ориентировочные температурные режимы термоформования полимерных изделий из плоских

заготовок в промышленности. Кроме того, следует отметить важность реализации самого процесса разогрева заготовок. Во-первых, этот процесс достаточно длителен и составляет примерно 50–80% общего времени цикла формования изделия.

Во-вторых, разогревать заготовку следует так, чтобы температура во всех точках их поверхности в любой момент времени была одинакова. Неравномерный разогрев ведет к неравномерному деформированию заготовки в процессе её формования в изделие и образованию складок на поверхности последнего. В результате неравномерного разогрева на поверхности заготовки могут образоваться отдельные перегретые области, а при формовании в этих областях может произойти разрыв заготовки.

Температура формующего инструмента влияет на процесс охлаждения отформованного изделия. Очевидно, что она должна быть ниже температуры стеклования полимера, иначе достаточного охлаждения заготовки не произойдет и изделие может потерять свою форму. Также очевидно, что чем ниже температура формующего инструмента, тем быстрее охлаждение и выше производительность формовочного оборудования. Но при очень низкой температуре формующего инструмента на поверхности отформованного изделия появляются пятна переохлаждения и повышается его склонность к короблению, особенно при эксплуатации в условиях повышенных температур (рис. 13).

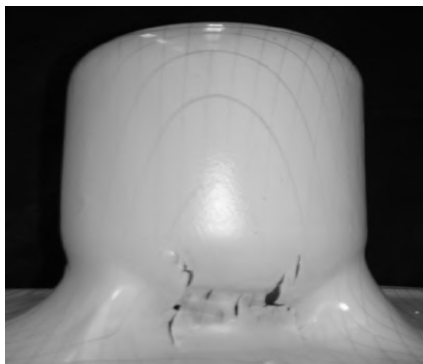


**Рис. 13.** *Различная степень коробления изделий при разных температурных условиях их эксплуатации*

При пневматических методах формирования изделий такие технологические параметры этих процессов, как текущие значения необходимого для их реализации перепада давления, скорости формирования (формообразования) изделия, которое определяется временем, и давление сжатого газа, истекающего в рабочую полость, являются взаимосвязанными.

Реализуемый при формировании изделия текущий рабочий перепад давления определяется эластическими характеристиками полимерного материала, толщиной стенки исходной заготовки, а также развивающимися в процессе её формирования в изделие эластическими деформациями. Использование «жёстких» полимерных материалов или исходных заготовок, имеющих относительно большую толщину, требует создания и относительно больших перепадов давления, обеспечивающих достаточную проформовку изделия.

При «мягком» материале или тонкостенных заготовках создание высоких скоростей их деформирования может приводить к механическому разрушению (разрыву) последних в процессе формирования изделий (рис. 14).



**Рис. 14.** Типичное проявление дефекта в виде разрушения заготовки в процессе формирования изделия

При реализации процессов пневмоформования в замкнутую рабочую полость, как минимум одной из поверхностей которой является поверхность плоской заготовки



с находящимся там исходным газом, подают рабочую (сжатую) газовую среду, которая, в общем случае, может и не быть идентична исходной газовой среде. На практике, как правило, исходная и рабочая газовые среды идентичны. В этом случае при критических режимах истечения сжатого газа в рабочую полость время формования (формообразования) изделия  $\tau_\phi$  определяют следующим образом:

$$\tau_\phi = \frac{V_0}{G_{\text{и}}} \left( \frac{V_\phi}{V_0} - 1 \right) \left( \frac{P_0 + \Delta P}{P_{\text{и}}} \right)^{\frac{1}{K}}, \quad (4.3.1)$$

где  $V_0$  — исходный объём газовой среды в рабочей полости, в которую подают сжатый газ;  $V_\phi$  — объём полости, образовавшейся в результате формования изделия, включая и исходный объём рабочей полости;  $P_0$  — исходное давление газовой среды в рабочей полости, в которую подают сжатый газ для формования изделия (в обычных условиях равно атмосферному);  $P_{\text{и}}$  — давление сжатого газа, истекающего в рабочую полость (при критических режимах истечения для двухатомных газов примерно равно половине давления сжатого газа, подаваемого в рабочую полость);  $\Delta P$  — среднеинтегральный перепад давления, реализующийся в процессе формования изделия;  $K$  — показатель адиабаты исходной и рабочей газовых сред;  $G_{\text{и}}$  — критический объёмный расход сжатого газа, подаваемого в рабочую полость.

В общем случае, среднеинтегральное значение перепада давления  $\Delta P$  может быть определено на основании известного уравнения Лапласа, используемого в теории безмоментных оболочек, путём математического моделирования процесса пневмоформования изделия. Вместе с тем практика показывает, что жёсткость используемых для формования изделий плоских заготовок при температурах их переработки весьма незначительна. Это приводит к тому, что для большинства процессов формообразования изделий выполняется условие

$\Delta P \ll P_0$ . Таким образом, при использовании зависимости (4.3.1) влиянием этого параметра можно пренебречь.

Критический объем сжатого газа, подаваемого в рабочую полость, определяют по известной из теории газовой динамики зависимости:

$$G_{\text{и}} = \mu_{\text{р}} S \sqrt{\frac{2K}{1+K}} \cdot R_{\text{р}} T_{\text{р}}, \quad (4.3.2)$$

где  $\mu_{\text{р}}$  — коэффициент расхода пневмокоммуникаций, через которые подают сжатый газ в рабочую полость ( $\mu_{\text{р}} < 1$ , определяют экспериментально для каждой конкретно используемой коммуникационной системы);  $S$  — суммарная площадь проходных поперечных сечений насадок (сопел), через которые сжатый газ подают в рабочую полость;  $R_{\text{р}}, T_{\text{р}}$  — термодинамические параметры заторможенного (находящегося в ресивере) сжатого газа.

На основании изложенного понятно, что в соответствии с зависимостью (4.3.1) время формообразования изделия определяется не только рабочим перепадом давления, который зависит от свойств перерабатываемого материала, геометрических параметров исходной заготовки и формируемого изделия, термодинамических параметров используемых газовых сред, а также от некоторых конструктивных параметров применяемого оборудования и пневмокоммуникационных систем. Максимально допустимое время формообразования изделия определяют временем охлаждения заготовки в процессе её деформирования: температура заготовки не должна успеть снизиться до такого уровня, при котором проформовка изделия станет невозможной. Минимальное время формообразования изделия определяется предельно возможными скоростями деформации заготовки, при которых может наступить разрыв материала.

При реализации процессов вакуум-формования (рис. 8) из замкнутой рабочей камеры вакуум-формовочной машины с установленной в ней на подвижном столе формирующей оснасткой эвакуируют находящуюся там газовую среду,

создавая таким образом перепад давления между наружной и внутренней поверхностями плоской заготовки. Последняя, деформируясь под действием возникшей движущей силы, приходит в контакт с формообразующими поверхностями формующего инструмента (матриц, пуансонов и т. п.), что и обеспечивает процесс формообразования изделия. Как и при пневмоформовании, скорость деформирования заготовок при вакуумном их формовании зависит от времени формообразования изделия. При реализации рассматриваемого метода производства время формообразования изделия определяется зависимостью (4.3.3), в которой параметры  $V_0$ ,  $P_0$  соответственно представляют собой объём и исходное давление газа, находившегося в полости рабочей камеры в начальный момент формования изделия:

$$\tau_{\phi} = \frac{V_0}{G_{\text{и}}} \frac{\left( \frac{2}{K+1} \right)^{\frac{1}{1-K}}}{\left( 1 - \frac{\Delta P}{P_0} \right)^{\frac{K+1}{2K}}}, \quad (4.3.3)$$

где  $G_{\text{и}}$  — объёмный критический расход газовой среды, утекающей из полости рабочей камеры.

Физический смысл остальных параметров, входящих в зависимость (4.3.3), раскрыт в зависимости (4.3.1). Необходимо лишь отметить, что для рассматриваемого метода производства изделий в зависимости (4.3.2), определяющей значение критического объёмного расхода газовой среды  $G_{\text{и}}$ , несколько изменится смысл входящих в эту зависимость параметров:  $S$  будет представлять собой суммарную площадь эвакуационных отверстий, а  $R_p, T_p$  соответствовать термодинамическим параметрам эвакуируемой из рабочей полости газовой среды.

Анализ зависимости (4.3.3) показывает, что, в отличие от процессов пневмоформования, процессы вакуум-формования не всегда могут быть реализованы: если необходимый для процесса перепад давления  $\Delta P$  станет равным значению исходного давления  $P_0$ , то, как следует из зависимости (4.3.3), время формования  $\tau_f$  будет бесконечно большим.

Как уже отмечалось, среднеинтегральное значение перепада давления в процессе формования того или иного изделия определяется математическим моделированием этого процесса.

Поскольку процессы вакуумного формования полимерных изделий ограничены известным условием ( $\Delta P < P_0$ ), то весьма важно указать на те обстоятельства, при которых они могут быть осуществлены. Во-первых, не во всех случаях вакуум-формовочное оборудование способно стабильно удерживать создаваемое в рабочей камере разрежение (а следовательно, и перепад давления) в процессе формования изделий. Известно [12], что стабильное удержание создаваемого разрежения возможно только в тех случаях, когда объём ресивера, в который эвакуируется газ из рабочей камеры, превосходит его исходный объём не менее чем в восемь раз. Во-вторых, если при естественных (атмосферных) условиях ( $P_0 = 0,1$  МПа) указанное условие реализации процесса вакуум-формования не выполняется, то необходимо прибегнуть к комбинированному — пневмовакuumному методу его формования, для чего создать в рабочей камере оборудования и над внешней поверхностью заготовки такое исходное избыточное давление  $P_0$  (больше атмосферного), при котором выполнялось бы необходимое условие  $\Delta P < P_0$ ; в процессе формования изделия за счёт создания разрежения в рабочей камере удерживать над внешней поверхностью деформирующейся заготовки исходное избыточное давление  $P_0$ . В большинстве же процессов вакуум-формования полимерных изделий выполняется следующее

условие:  $\Delta P \ll P_0$  при  $P_0 = 0,1$  МПа. В этих случаях значением перепада давления в расчётной зависимости (4.3.3) можно пренебречь.

Таким образом, технологическое время формообразования изделий из плоских заготовок при вакуумном методе их производства зависит не только от свойств перерабатываемых полимерных материалов, геометрических параметров используемых заготовок и формуемых изделий, термодинамических параметров газовых рабочих сред, но также существенным образом определяется и некоторыми конструктивными параметрами применяемого оборудования и формирующего инструмента.

В процессах механотермоформования (см. рис. 9) время формообразования изделия (а следовательно, и скорость деформирования заготовки) определяется скоростью перемещения формирующего инструмента 4, при этом оптимальный выбор её обусловлен теми же проблемами, которые характерны и для других методов формования.

Как уже отмечалось, скорость охлаждения отформованных изделий, определяемая временем их охлаждения в известном интервале температур, влияет на величину остаточных напряжений в материале. Относительно быстрое охлаждение отформованного изделия снижает время цикла его производства, но приводит к «замораживанию» остаточных напряжений в материале, в результате чего изделие имеет малую формоустойчивость при эксплуатации. При относительно медленном охлаждении остаточные напряжения частично релаксируют, повышая формоустойчивость изделия, но при этом возрастает время цикла его производства.

Известно, что полимерные материалы обладают относительно низкой теплопроводностью. Поэтому эффективность охлаждения отформованных изделий существенным образом зависит от реализуемых на практике условий переноса теплоты от охлаждаемого полимерного материала к охлаждающей среде. При относительно хороших условиях переноса (полимер отдаёт тепло охлаждаемому

металлическому формующему инструменту за счёт двухстороннего контакта с его поверхностями; непосредственно охлаждающей жидкости при интенсивном двухстороннем обтекании ею охлаждаемого полимера; при комбинации первых двух способов охлаждения) время охлаждения отформованного изделия  $\tau_0$  рассчитывают по следующей зависимости:

$$\tau_0 \approx -\frac{1}{\pi^2} \cdot \frac{\delta^2}{a} \cdot \ln \left( \frac{4}{\pi} \cdot \frac{T_{\text{и}} - T_{\text{ф}}}{T_3 - T_{\text{ф}}} \right), \quad (4.3.4)$$

где  $\delta$  — среднеинтегральное значение толщины стенки формуемого изделия;  $a$  — температуропроводность полимера;  $T_{\text{и}}$  — температура, до которой охлаждается изделие в формующем инструменте или при непосредственном контакте с охлаждающей средой;  $T_{\text{ф}}$  — температура формующего инструмента или охлаждающей среды;  $T_3$  — температура, до которой была разогрета формуемая заготовка.

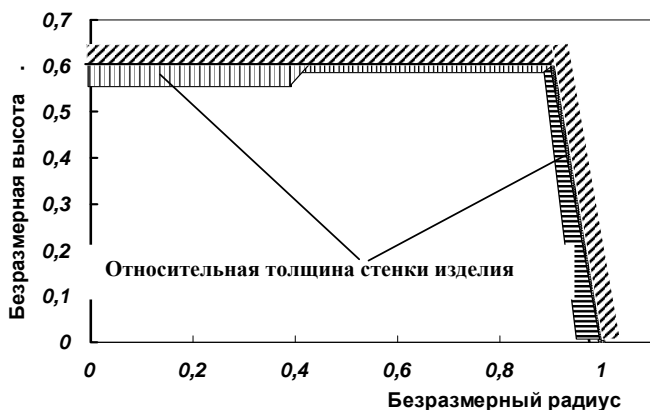
Если условия переноса тепла при охлаждении изделия не являются достаточно хорошими (охлаждение изделия за счёт его одностороннего контакта с поверхностью металлического охлаждаемого инструмента и обдувания охлаждающей газовой средой его свободной поверхности; охлаждение при двухстороннем контакте с поверхностями формующего инструмента, изготовленного из неметаллических материалов, и т. п.), то время его охлаждения  $\tau_0$  в первом приближении можно определить по следующей зависимости:

$$\tau_0 \approx -\frac{4}{\pi^2} \cdot \frac{\delta^2}{a} \cdot \ln \left( 1,1 \cdot \frac{T_{\text{и}} - T_{\text{ф}}}{T_3 - T_{\text{ф}}} \right), \quad (4.3.5)$$

где смысл всех параметров раскрыт в зависимости (4.3.4).

Из сравнения зависимостей (4.3.5) и (4.3.4) нетрудно установить, что при различных условиях охлаждения изделий время реализации этого процесса при совершенно одинаковых

параметрах будет различаться в несколько раз. Время охлаждения изделия существенным образом зависит от средне-интегрального значения толщины его стенки. Это понятие вводят в связи с тем, что деформирование плоских заготовок при формообразовании из них изделий характеризуется значительной неоднородностью, в результате чего отформованные изделия обладают весьма ощутимой разнотолщинностью (неоднородностью толщины стенок (рис. 15)).



*Рис. 15. Эпюра разнотолщинности в осесимметричном изделии, отформованном методом механо пневмоформования*

Разнотолщинность полимерных изделий ухудшает их товарный вид и такие важные эксплуатационные характеристики, как прочность, жёсткость, паро- и газонепроницаемость. Разнотолщинность формуемых изделий практически не зависит от свойств перерабатываемых полимеров, но существенно зависит от реализуемого метода формования и геометрии изделий.

Среднеинтегральное значение толщины стенки формуемых изделий  $\delta$  определяют из условия практической несжимаемости полимеров:

$$\delta = \frac{S_3 \cdot \delta_3}{S_{\text{и}}}, \quad (4.3.6)$$

где  $S_3$  и  $\delta_3$  — площадь поверхности и толщина стенки исходной заготовки;  $S_{\text{и}}$  — площадь поверхности отформованного изделия.

Время технологического или рабочего цикла производства того или иного вида изделий зависит прежде всего от реализуемого метода их формования, используемого оборудования и может включать в себя самые разнообразные элементы [11—13]. Например, время рабочего цикла для однопозиционной вакуум-формовочной машины  $\tau_{\text{ц}}$  находят следующим образом:

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_3 + \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{ф}} + \tau_{\text{о}} + \tau_{\text{и}}, \quad (4.3.7)$$

где  $\tau_3$  — время закрепления заготовки в зажимной раме;  $\tau_{\text{н}}$  — время нагрева заготовки;  $\tau_{\text{ф}}$  — время формования (формообразования) изделия;  $\tau_{\text{о}}$  — время охлаждения изделия;  $\tau_{\text{и}}$  — время извлечения изделия из инструмента.

Штучную производительность вакуум-формовочной машины определяют по следующей зависимости:

$$\Pi = m \frac{3600}{\tau_{\text{ц}}}, \quad (4.3.8)$$

где  $\Pi$  — штучная производительность, шт./ч;  $m$  — гнездность формы;  $\tau_{\text{ц}}$  — продолжительность цикла работы машины, с.



## **5. Производство полимерных плёнок**

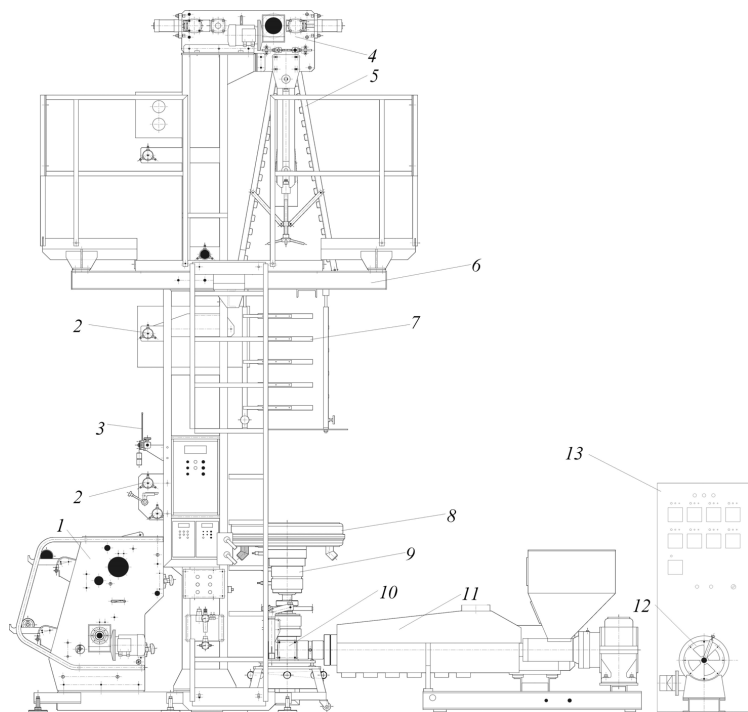
### **5.1. Линии для производства рукавных плёнок**

Большое количество термопластичных полимеров перерабатывают в плёночные материалы. Существуют два метода их получения: рукавный метод раздувного формования и плоскощелевой. Наибольшее распространение в практике переработки полимеров получил рукавный метод. Его можно реализовать по следующим технологическим схемам: вертикально «снизу вверх» или «сверху вниз» и горизонтально. Для реализации рукавного метода производства полимерных плёнок используют специально предназначенные для этого плёночные линии. Основными техническими характеристиками таких линий являются максимальный размер получаемого плёночного рукава в его двойном сложении и диапазон толщин плёнок, которые могут быть на них получены.

На рис. 16 показан общий вид линии для производства рукавных плёнок по схеме «снизу вверх».

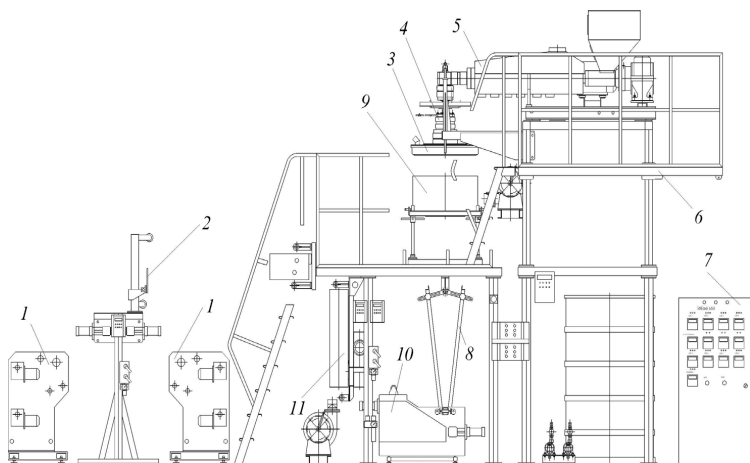
Линия состоит из пульта управления её работой 13, червячного пресса 11, патронного фильтра 10, кольцевой угловой экструзионной головки 9, обдувочного кольца 8, ограничительной «корзины» 7, складывающего устройства 5, тянущего устройства 4, режущего устройства 3, намоточного устройства 1, эстакады 6, направляющих роликов 2, воздуходувки 12 и других вспомогательных элементов. Принцип работы такой линии состоит в том, что исходное полимерное сырьё в виде гранул загружается в бункер червячного пресса 11, откуда захватывается его вращающимся червяком и по мере продвижения в обогреваемом цилиндре пресса плавится, пластицируется и продавливается (экструдировается) через формующий инструмент — обогреваемую кольцевую экструзионную головку 9, выходя из неё в виде трубчатой заготовки. Последняя под действием сжатого воздуха небольшого давления, подаваемого через специальное отверстие в экструзионной головке, раздувается в рукав, охлаждаемый

через обдувочное кольцо 8 воздухом, нагнетаемым в него устройством 12. Полученный охлаждённый плёночный рукав отбирается тянущим устройством 4, при этом устройство 5 складывает его в двойное полотно. Сложенное полотно через систему направляющих роликов 2 поступает на устройство 1, в котором наматывается на бобину. При необходимости двойное полотно с помощью устройства 3 может разрезаться на одно или два одинарных. Для очистки получаемого расплава полимера от возможных инородных включений используют специальный сменный фильтр 10, а для придания устойчивости получаемому рукаву — ограничительную «корзину» 7.



**Рис. 16.** Общий вид линии для производства рукавных полимерных плёнок по схеме «снизу вверх»

Недостатком такой технологической схемы получения рукавных плёнок является то, что охлаждение рукава осуществляется за счёт его обдувания потоком воздуха, обладающего относительно низкой теплоёмкостью. В результате зона охлаждения получаемого плёночного рукава достигает значительных размеров (до нескольких метров), что увеличивает габаритные размеры плёночных линий и затрудняет их обслуживание. Этот недостаток частично компенсируется при получении рукавных плёнок по методу «сверху вниз». Принципиальные отличия этого метода от рассмотренного ранее состоят в том, что экструзия рукава осуществляется не вверх, а вниз относительно экструзионной головки, и раздуваемая плёнка дополнительно охлаждается водой. Общий вид линии для получения плёнок по методу «сверху вниз» показан на рис. 17.



**Рис. 17.** Общий вид линии для производства рукавных полимерных плёнок по схеме «сверху вниз»

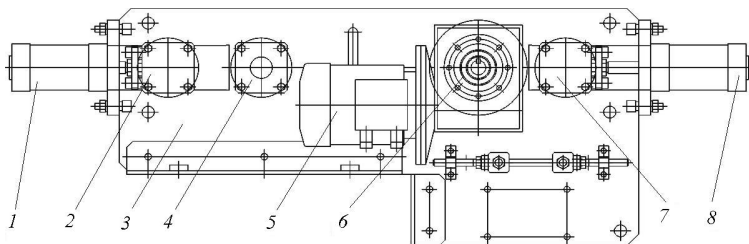
Линия включает в себя червячный пресс 5, оснащённый кольцевой угловой экструзионной головкой 4 с обдувочным

кольцом 3, установленный на втором ярусе эстакады 6, водяной охлаждающий калибр 9, складывающее устройство 8, тянущее устройство 10, устройство для сушки получаемой плёнки 11, режущее устройство 2, два намоточных устройства 1, пульт управления работой линии 7 и другие вспомогательные элементы. Принцип работы такой линии заключается в том, что трубчатая полимерная заготовка выдавливается червячным прессом 5 через кольцевую экструзионную головку 4 вертикально вниз и раздувается в плёночный рукав, предварительно охлаждаемый потоком воздуха через обдувочное кольцо 3. Окончательное охлаждение плёночного рукава происходит в водяном калибре 9. Полученный рукав отбирается тянущим устройством 10 и происходит его двойное сложение складывающим устройством 8. Далее рукав попадает в устройство 11, где происходит его сушка, а затем через систему направляющих роликов в устройство 2, в котором разрезается на два полотна, наматываемые на бобины устройствами 1. Использование калибра с водяным охлаждением существенно сокращает зону охлаждения получаемого рукава, а следовательно, уменьшает габариты оборудования. Кроме того, водяное охлаждение повышает скорость охлаждения полимера, которая для некоторых их видов оказывает важное влияние на процесс образования кристаллической структуры. Так, переработка полипропилена в плёнку с использованием водяного охлаждения приводит к образованию в нём тонкодисперсной кристаллической структуры, в результате чего получаемая плёнка становится оптически прозрачной.

Как правило, получаемые рукавными методами плёнки имеют разнотолщинность, что существенным образом затрудняет их равномерную намотку на бобину. Для устранения этого недостатка практикуют различные технические решения. Например, в конструкциях плёночных линий используют принцип осциллирующего вращения экструзионных головок вокруг собственной оси, что приводит к равномерному распределению неоднородностей толщины плёнки по ширине

получаемого рукава в процессе экструзии, а следовательно, обеспечивает его более равномерную намотку.

Одним из основных механизмов в работе плёночных линий является тянущее устройство (рис. 18).



**Рис. 18.** *Схема конструкции тянущего устройства*

Оно предназначено для отбора получаемого плёночного рукава, регулирования толщины плёнки, а также (при необходимости) для её перфорации. Тянущее устройство (рис. 18) состоит из сборной станины 3, на которой смонтированы мотор-редуктор 5, два неподвижных приводных валка 4 и 6, а также два подвижных прижимных валка 2 и 7, приводимых в движение пневмоцилиндрами 1 и 8.

Принцип работы тянущего устройства заключается в том, что получаемый охлаждённый и сложенный плёночный рукав протягивается в зазоре между валком 6, приводимым в движение мотор-редуктором 5, и прижимным валком 7, при этом усилие прижима регулируется давлением сжатого воздуха, подаваемого в пневмоцилиндр 8. Далее плёночный рукав по системе направляющих обводных роликов поступает на намоточное устройство. При необходимости получения перфорированной плёнки рукав сначала протягивается в зазоре между валками 2 и 4, один из которых металлический и имеет соответствующую профильную поверхность, а второй гуммирован. Привод валка 4 осуществляется за счёт цепной передачи, соединяющей его с валком 6. Усилие прижима между валками 4 и 6 регулируется давлением сжатого воздуха,

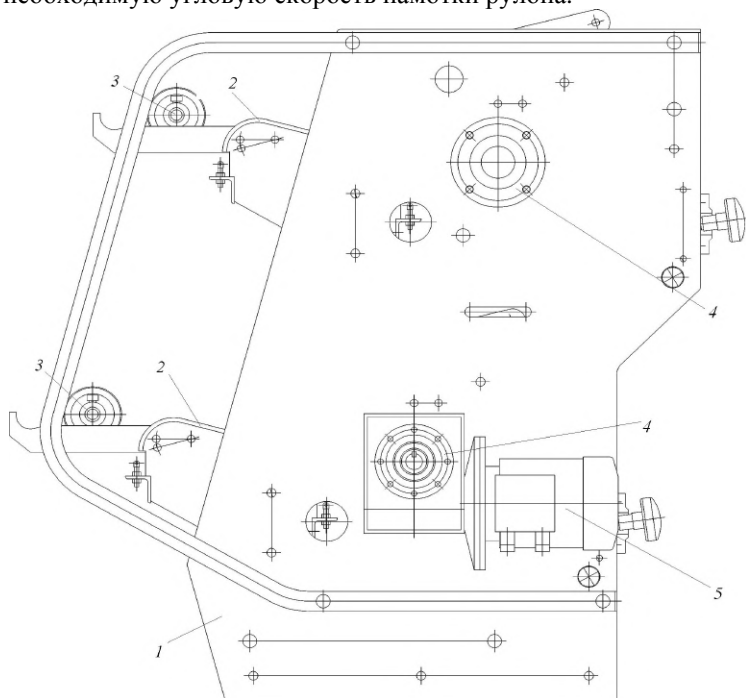
подаваемого в цилиндр 1. Приводы тянущих устройств в современных линиях обеспечивают линейную скорость отбора плёнки, достигающую 2 м/с.

Другим важным механизмом плёночных линий является намоточное устройство, предназначенное для равномерной намотки получаемой плёнки. По принципу действия намоточные устройства разделяют на устройства с центральным и периферийным приводом, а по количеству одновременно наматываемых бобин: одно-, двух- и многостовые намотчики. Последние используют в том случае, когда получаемый плёночный рукав разрезается на отдельные полотна. Конструкция двухстового намоточного устройства с периферийным приводом (рис. 19) состоит из двух боковых стоек 1, соединённых между собой шпильками, на которых смонтированы мотор-редуктор 5, два приводных валка 4, два прижимных валка, направляющие зубчатые рейки 2 и ряд других элементов. Приводные валки 4 связаны между собой цепной передачей, что обеспечивает их одновременное синхронное вращение.

В состав намоточного устройства входят также две штанги 3 с укреплёнными на них бобинами, которые в рабочем положении устанавливаются на наклонные направляющие зубчатые рейки 2. На концах штанг размещены подшипники, на которых смонтированы шестерни.

Принцип работы такого намоточного устройства состоит в том, что каждое из двух полотен разрезанного плёночного рукава протягивается в зазоре между валками 4, приводимыми в движение мотор-редуктором 5, и прижимными валками (на рис. 19 условно не показаны), при этом концы полотен наворачиваются на бобины. Расположенные на наклонных направляющих зубчатых рейках 2 штанги 3 под действием собственного веса прижимают бобины к поверхности прижимных валков, при этом за счёт трения между соприкасающимися поверхностями оси штанг с бобинами вращаются в подшипниках, что и обеспечивает намотку плёночного полотна. По мере увеличения диаметра

наматываемого рулона штанги перемещаются по направляющим зубчатым рейкам, находящимся в зацеплении с шестернями штанг, что автоматически обеспечивает необходимую угловую скорость намотки рулона.



**Рис. 19.** *Схема конструкции двухпостового намоточного устройства*

Принципиальное отличие намоточных устройств с центральным приводом от намотчиков с периферийным приводом состоит в том, что вращение штанг с установленными на них бобинами непосредственно обеспечивается приводом. Это позволяет повышать плотность намотки, что является важным при производстве плёнок из жёстких полимерных материалов. В конструкции намоточных устройств такого типа

предусматривается автоматическое регулирование угловой скорости намотки по мере увеличения диаметра наматываемого рулона.

Основную расчётную зависимость, связывающую параметры получаемой плёнки с технологическими параметрами процесса её производства и конструктивными параметрами различных механизмов плёночной линии, можно получить из условия практической несжимаемости полимерных сред, которая в данном случае имеет следующий вид:

$$h_p = \delta_\phi \cdot \frac{\rho_\phi}{\rho_0} \cdot \frac{1}{K_1} \cdot \frac{1}{K_2}, \quad (5.1.1)$$

где  $h_p$  — толщина получаемого плёночного рукава;  $\delta_\phi$  — ширина формующей щели кольцевой экструзионной головки, образованной поверхностями её дорна и мундштука;  $\rho_\phi$ ,  $\rho_0$  — плотность расплава полимера, экструдированного через экструзионную головку, и охлаждённого материала в отбираемом тянущим устройством плёночном рукаве соответственно;  $K_1$ ,  $K_2$  — коэффициенты, характеризующие продольную и поперечную деформации экструдированной трубчатой заготовки при формообразовании из неё плёночного рукава соответственно.

Значения коэффициентов  $K_1$ ,  $K_2$ , входящих в зависимость (5.1.1), определяют следующим образом:

$$K_1 = \frac{V_\phi}{V_0}, \quad K_2 = \frac{D_p}{D_\phi}, \quad (5.1.2)$$

где  $V_\phi$ ,  $V_0$  — среднеинтегральное значение скорости расплава полимера на выходе из экструзионной головки и линейная скорость отбора плёночного рукава тянущим устройством соответственно;  $D_p$ ,  $D_\phi$  — диаметр получаемого рукава и средний диаметр формующей щели кольцевой экструзионной головки соответственно.

Среднеинтегральную скорость экструзии полимера через кольцевой формующий канал головки, входящую в зависимость



(5.1.2), находят с учётом объёмного расхода расплава полимера  $Q$  следующим образом:

$$V_3 \approx \frac{Q}{\pi \cdot D_{\Phi} \cdot \delta_{\Phi}}.$$

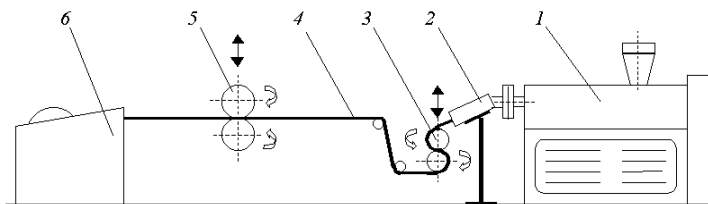
Линейную скорость отбора плёночного рукава тянущим устройством определяют следующей зависимостью:

$$V_o = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot R_{пв},$$

где  $n$ ,  $R_{пв}$  — число оборотов в минуту и радиус приводного вала тянущего устройства соответственно.

## 5.2. Линии для производства плоских пленок

Расплавы некоторых видов полимерных материалов (например, полиэтилентерефталат и ряд других) не способны образовывать оболочечные конструкции. Из таких полимеров нельзя получить пленку рукавным методом. Для производства пленок из таких полимерных материалов используют плоскощелевой метод их получения. Его применяют на пленочных линиях. Схема одной из таких линий показана на рис. 20.



**Рис. 20.** Схема линии для производства плоских полимерных пленок

Линия включает в себя червячный пресс 1, оснащённый плоскощелевой экструзионной головкой 2, охлаждаемые и вращающиеся валки 3, тянущее устройство с вращающимися валками 5, намоточное устройство 6, которое обеспечивает

намотку на бобину получаемой пленки 4 с предварительной обрезкой ее кромок, и другие вспомогательные элементы. Принцип работы такой линии заключается в том, что расплав полимера выдавливается червячным прессом 1 через плоско-щелевую экструзионную головку и попадает на охлаждаемые и вращающиеся с определенной скоростью валки 3. Наличие двух валков обеспечивает двухстороннее охлаждение получаемой пленки, а регулируемый зазор между валками — окончательное калибрование пленки по ее толщине. Полученная охлаждённая пленка 4 отбирается валками тянущего устройств 5. Далее пленка попадает в устройство 6, где происходит обрезка ее кромок и намотка на бобину.

Толщина пленки регулируется частотой вращения охлаждаемых валков 3, а окончательное калибрование обеспечивается регулировкой зазора между ними.

## **РАЗДЕЛ II. МАТЕРИАЛЫ, ЭКОЛОГИЯ И ДРУГИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ТАРЫ И УПАКОВКИ**

### **6. Материалы, используемые для производства полимерной упаковки**

Анализ современного состояния методов производства полимерных тароупаковочных средств показывает, что подавляющее большинство из них изготавливается из термопластичных полимерных материалов, причём первое место среди них занимают полиолефины. Наиболее типичными представителями класса полиолефинов являются полиэтилен низкой плотности (ПЭНП), полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) и полипропилен (ПП). ПЭНП отличается лёгкостью, высокой прочностью и эластичностью, химической стойкостью, достаточной теплоустойчивостью, высокими диэлектрическими свойствами. ПЭВП менее эластичен, но более прочен, теплостоек и химически стоек по сравнению с ПЭНП. Полипропилен по сравнению с полиэтиленами обладает более высокими физико-механическими показателями и химической стойкостью. Кроме отмеченных видов полимерных материалов, в различных технологических процессах формования тары и упаковки используются и другие виды пластмасс. Так, например, при реализации методов формования изделий из листовых и плёночных материалов широко применяются листы из полиметилметакрилата (ПММА), листы и плёнки из поливинилхлорида (ПВХ) и полистирола (ПС), а также и некоторые сополимеры: стирола с бутадиенстирольным каучуком (ударопрочный полистирол — УПС), акрилонитрил-бутадиенстирольный пластик (АБС-пластик) и др.

Особый интерес для производства полых изделий представляют некоторые виды полимерных материалов, которые обладают специфическими свойствами. Одним из таких видов пластмасс является поликарбонат (ПК), который перераба-

тывается всеми основными методами формования полых изделий. Поликарбонат, в отличие от других полимеров, характеризуется очень высокими физико-механическими характеристиками в широком интервале температур (плоть до 408 К), что создаёт возможность производства из этого материала оборотных видов тары (бутылок, банок и т. п.), подвергаемых процессу стерилизации.

Другим специфическим полимерным материалом является полиэтилентерефталат (ПЭТ или ПЭТФ). Он также обладает достаточно высокими физико-механическими характеристиками и отличными барьерными свойствами, благодаря которым нашел самое широкое применение при производстве тары для сатурированных напитков. Следует отметить, что эти специфические свойства полиэтилентерефталат проявляет лишь в аморфном состоянии. Это обстоятельство накладывает вполне определённые требования не только на технологию формования изделий из этого материала, но и на элементы конструкции перерабатывающего оборудования: системы разогрева заготовок для формования изделий и охлаждения формующего инструмента должны обеспечивать очень высокие скорости протекания этих тепловых процессов (до десяти градусов в секунду), превышающие скорость образования кристаллической фазы в полимере.

Рациональный выбор полимерного материала для формования конкретного изделия является достаточно сложной задачей, при решении которой приходится учитывать требования к эксплуатационным характеристикам изделия, технологические свойства пластмасс, оценивать экономическую эффективность того или иного метода формования изделия и т. д.

Кроме термопластичных полимеров, для формования полых изделий применяются и другие их виды. Например, разработаны технологии формования полых изделий из резиновых смесей, реализуемые пневмовакuumным и экструзионно-раздувными методами.

Несмотря на то что полимерные материалы в большинстве случаев не дешевле традиционных (бумага, картон, металл, дерево и т. п.), их использование для производства полых изделий

даёт положительный экономический эффект. Так, например, при производстве полимерной тары и упаковки это обусловлено следующими причинами:

- снижаются потери продуктов и увеличивается срок их хранения за счёт герметичности упаковки;

- создаётся возможность механизации и автоматизации производственных процессов расфасовки, упаковки или укупорки продукта (например, современные упаковочные машины для макаронных изделий обеспечивают расфасовку и упаковывание в полимерную плёнку 70–80 доз продукта массой в один килограмм за одну минуту при точности дозирования продукта 0,75 г);

- увеличивается срок службы тары, уменьшаются её потери и затраты на ремонт (например, при упаковке рыбьего жира потери стеклянных баллонов составляют 8,5%, а полимерных бочек — 1%;

- сокращается потребление древесины, чёрных и цветных металлов (например, при использовании ПЭНП для производства молочных фляг вместо стального листа, покрытого оловом, на 1 млн фляг экономится 1100 т стального проката и 300 т олова, а при производстве хозяйственных вёдер 1 т полиэтилена может заменить 3 т металла и 256 кг эмали.

За последние годы на рынке полимерного сырья появились новые виды полимерных материалов, которые в том числе используются и для производства полимерных тароупаковочных средств. Дополнительные сведения о полимерных материалах приведены в приложении Пб.

## **6.1. Идентификация полимерного сырья, из которого изготовлены жесткие виды тары и упаковки**

Для идентификации полимерного материала, из которого изготавливаются жесткие виды полимерных тароупаковочных средств (банки, бутылки, флаконы, канистры и т. п.), на наружной поверхности последних наносят цифровые или буквенные обозначения, которые соответствуют определенным видам полимерных материалов. Обозначения, как правило, размещают

внутри треугольной фигуры, символизирующей возможный рециклинг полимерного сырья. Для полимерных видов тары и упаковки предусмотрено девятнадцать обозначений. Наиболее часто встречающиеся обозначения приведены в табл. 3.

*Таблица 3*

Вид полимера	Цифровое обозначение	Буквенное обозначение	
		Россия	Международное
Полиэтилентерефталат	1	ПЭТ(Ф)	PET
Полиэтилен высокой плотности	2	ПЭВП	HDPE
Поливинилхлорид	3	ПВХ	PVC
Полиэтилен низкой плотности	4	ПЭНП	LDPE
Полипропилен	5	ПП	PP
Полистирол	6	ПС	PS

Идентификация вида полимерного материала, из которого изготовлены тароупаковочные средства, является неотъемлемым этапом решения экологических проблем, связанных с рециклингом полимерного сырья или многократным использованием полимерной упаковки для пищевых или иных видов продуктов.

## **6.2. Идентификация полимерных пленок**

Если на жестких видах полимерной упаковки для ее идентификации указано цифровое или буквенное обозначение материала, из которого эта упаковка изготовлена, то на полимерные пленки такое обозначение не наносится. Это в значительной степени затрудняет практическую идентификацию пленочных материалов с целью их дальнейшего рециклинга.

Основные свойства полимерных материалов, как хорошо известно, определяются составом и структурой их макро-

молекулярных цепей. Органические и элементоорганические полимеры в соответствии с принятой в органической химии классификацией [15] разделяют на определённые классы. Даже весьма поверхностное знакомство с упомянутой классификацией указывает на то, что различные классы полимеров в строении звеньев своих макромолекулярных цепей содержат различные химические элементы или функциональные группы таких элементов, содержащие азот, кислород, галогены, серу, кремний, гидроксильные и бензольные группы и т. д. Отсюда следует, что для идентификации полимерных плёнок в первом приближении может быть уже достаточной оценка наличия таких специфических элементов, входящих в состав макромолекул. Наличие таких элементов может быть установлено путём различного рода воздействий на полимер. Например, реализуя процесс химической деструкции полимера путём гидролиза, по его результатам легко определяются те полимеры, в которых содержатся ацетальные, амидные или эфирные связи. Это объясняет высокую гигроскопичность, например, полиамидных и целлюлозных плёнок. Отсутствие указанных связей в других полимерах (полиэтилентерефталат, полиэтилены, полипропилен и т. п.) объясняет их достаточно хорошую водостойкость.

Следует отметить, что наличие тех или иных специфических элементов в полимере может быть определено только на основе существующих научно обоснованных инструментальных методов исследования. Однако практическая реализация этих методов всегда сопряжена с относительно большими временными затратами и обусловлена наличием соответствующих видов достаточно дорогостоящей испытательной аппаратуры, требующей соответствующей квалификации для её использования. Вместе с тем существуют достаточно простые и «быстрые» практические способы распознавания природы полимерных плёнок, которые основаны на том, что полимерные плёнки из различных полимерных материалов отличаются друг от друга по своим внешним признакам, физико-механическим свойствам, а также по отношению к

нагреванию, характеру их горения и растворимости в органических и неорганических растворителях.

Во многих случаях природу полимерных материалов, из которых изготовлены полимерные плёнки, можно установить по внешним признакам, при изучении которых особое внимание следует обратить на следующие особенности: состояние поверхности, цвет, блеск, прозрачность, жёсткость и эластичность, стойкость к различного рода механическим воздействиям и др. Например, неориентированные плёнки из полиэтиленов, полипропилена, сэвилена и поливинилхлорида легко растягиваются. Плёнки из полиамида, ацетата целлюлозы, полистирола, ориентированных полиэтиленов, полипропилена, поливинилхлорида растягиваются плохо. Нестойки к раздиру плёнки из ацетата целлюлозы. Они легко расщепляются в направлении, перпендикулярном их ориентации, а также шуршат при их сминании. Также шуршат при сминании полиамидные и лавсановые (полиэтилентерефталатные) плёнки, но они имеют большую стойкость к раздиру. Плёнки из сэвилена, полиэтилена низкой плотности, пластифицированного поливинилхлорида и ряда других полимеров не шуршат при сминании, а некоторые из них обладают ещё и высокой стойкостью к раздиру. Результаты изучения внешних признаков исследуемой полимерной плёнки следует сравнить с характерными признаками плёнок из известных материалов, которые приводятся в различных литературных источниках [6, 7], после чего уже можно сделать некоторые предварительные выводы. Для примера в табл. 4 приведены внешние признаки некоторых немодифицированных и неокрашенных плёнок.

Однако, как нетрудно уяснить из анализа данных, приведённых в табл. 4, не всегда по внешним признакам можно однозначно установить природу полимера, из которого изготовлена плёнка. В этом случае необходимо попытаться количественно оценить какие-нибудь физико-механические характеристики имеющегося образца полимерной плёнки. Как показывают данные, приведённые в табл. 5, плотность некоторых полимерных материалов (ПЭНП, ПЭВП, ПП) меньше



единицы, а следовательно, должна наблюдаться «плавучесть» образцов этих плёнок в дистилляте. Для уточнения вида полимерного материала, из которого изготовлена плёнка, следует определить плотность имеющегося образца путём измерения его веса и вычисления или измерения его объёма. Уточнению природы полимерных материалов способствуют и экспериментальные данные по таким их физико-механическим характеристикам, как предел прочности и кратность удлинения при одноосном растяжении, а также температура плавления. Наиболее полно такие сведения приведены в работе [8], а для некоторых видов полимеров — в табл. 5.

Таблица 4

Вид полимера	Внешние признаки немодифицированных и неокрашенных плёнок			
	Механические	Состояние поверхности	Цвет	Прозрачность
ПЭТФ	Жесткая, слабо стойкая к раздиру	Сухая, гладкая, сильно шуршащая	Бесцветная или с голубоватым оттенком	Прозрачная
ПЭНП	Мягкая, эластичная, стойкая к раздиру	Маслянистая, гладкая	Бесцветная	Прозрачная
ПЭВП	Жестковатая, стойкая к раздиру	Слегка маслянистая, гладкая, слабо шуршащая	Бесцветная	Полупрозрачная
ПП	Жестковатая, слегка эластичная, стойкая к раздиру	Сухая, гладкая	Бесцветная	Прозрачная или полупрозрачная
ПВХ	Жестковатая, стойкая к раздиру	Сухая, гладкая	Бесцветная	Прозрачная
ПВДХ	Мягкая, стойкая к раздиру	Сухая, гладкая	Бесцветная	Прозрачная

Вид полимера	Внешние признаки немодифицированных и неокрашенных плёнок			
	Механические	Состояние поверхности на ощупь	Цвет	Прозрачность
ПА	Жёсткая, слабо стойкая к раздиру	Сухая, гладкая	Бесцветная или светло-жёлтая	Полупрозрачная
ПС, ориен.	Жёсткая, стойкая к раздиру	Сухая, гладкая, сильно шуршащая	Бесцветная	Прозрачная
ПК	Жёсткая, слабо стойкая к раздиру	Сухая, гладкая, сильно шуршащая	Бесцветная, с жёлтоватым или голубоватым оттенком	Высокопрозрачная
АЦ	Жёсткая, не стойкая к раздиру	Сухая, гладкая	Бесцветная	Высокопрозрачная
Целлофан	Жёсткая, не стойкая к раздиру	Сухая, гладкая	Бесцветная	Высокопрозрачная

Таблица 5

Вид полимера	Физико-механические характеристики <sup>1</sup> при $t = 20^{\circ}\text{C}$					
	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность при разрыве, МПа	Кратность удлинения при разрыве	Проницаемость по водяным парам, г/м <sup>2</sup> за 24 часа	Проницаемость по кислороду, см <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·атм) за 24 часа	Проницаемость по СО <sub>2</sub> , см <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·атм) за 24 часа
ПЭНП	0,91–0,93	10–16	2,5–7	15–20	6500–8500	30 000–40 000
ПЭВП	0,94–0,96	20–32	5–9	4–6	1600–2000	8000–10 000
ПП	0,90–0,92	30–35	3–9	10–20	300–400	9000–11 000
ПВХ, жест.	1,37–1,42	47–53	1,30–2	30–40	150–350	450–1000
ПВДХ	1,80–1,90	50–80	1,2–1,5	1,5–5,0	8–25	40–60
ПС, ориен.	1,05–1,10	60–70	1,18–1,22	50–150	4500–6000	12 000–14 000
ПА	1,10–1,15	50–70	3–4	40–80	400–600	1600–2000
ПЭТФ	1,36–1,40	60–80	1,50–1,75	25–30	40–50	300–350
ПК	1,2	62–74	1,2–1,8	70–100	4000–5000	25 000–30 000
АЦ	1,32–1,35	50–80	1,15–1,50	100–300	2000–3000	15 000–16 000
Целлофан	1,4	50–70	1,15–1,30	5–15	650–700	950–1000

<sup>1</sup> Проницаемость плёнок определена при толщине 25±2 мкм.

Таблица 6

Вид полимера	Характеристики горения			Химическая стойкость к	
	Горючесть	Окраска пламени	Запах продуктов горения	кислотам	щелочам
ПЭНП	Горит в пламени и при удалении	Внутри синеватая, без копоти	Плавающего парафина	Отличная	Хорошая
ПЭВП	Горит в пламени и при удалении	Внутри синеватая, без копоти	Плавающего парафина	Отличная	Хорошая
ПП	Горит в пламени и при удалении	Внутри синеватая, без копоти	Плавающего парафина	Отличная	Хорошая
ПВХ, жёст.	Трудно воспламеняется и гаснет	Зеленоватая с копотью	Хлористого водорода	Хорошая	Хорошая
ПВДХ	Трудно воспламеняется и гаснет	Зеленоватая с копотью	Хлористого водорода	Отличная	Отличная
ПС	Загорается и горит вне пламени	Желтоватая с сильной копотью	Сладковатый, неприятный	Отличная	Хорошая
ПА	Горит и самозатухает	Голубая, желтоватая по краям	Жжёного рога или пера	Плохая	Хорошая
ПЭТФ	Трудно воспламеняется и гаснет	Светящаяся	Сладковатый	Отличная	Отличная
ПК	Трудно воспламеняется и гаснет	Желтоватая с копотью	Жжёной бумаги	Хорошая	Плохая
АЦ	Горит в пламени	Искрящаяся	Уксусной кислоты	Плохая	Хорошая
Целлофан	Горит в пламени	Белая	Жжёной бумаги	Плохая	Плохая

Кроме того, как видно из анализа данных, приведенных в табл. 5, проницаемость полимерных плёнок по отношению к различным средам также существенно зависит от вида материала, из которого они изготовлены.

Помимо отличительных особенностей, в физико-механических характеристиках следует отметить и существующие различия в характерных признаках различных полимеров при их горении. Этот факт позволяет использовать на практике так называемый термический метод идентификации полимерных плёнок. Он заключается в том, что образец плёнки поджигают и выдерживают в открытом пламени в течение нескольких секунд, фиксируя при этом следующие характерные признаки горения, которые наиболее отчётливо проявляются в момент поджигания образцов: способность к горению и его характер, цвет и характер пламени, запах продуктов горения и др. Для установления вида полимерного материала, из которого изготовлена плёнка, необходимо сравнить результаты проведённого испытания с данными о характерных особенностях поведения полимеров при горении. Например, в табл. 6 приведены данные о характеристиках горения некоторых видов полимеров. Как видно из данных, приведённых в табл. 6, по характеру горения и запаху продуктов горения полиолефины (полиэтилены и полипропилен) напоминают парафин. Это вполне понятно, поскольку элементарный химический состав этих веществ один и тот же. Отсюда возникает сложность в различении полиэтиленов и полипропилена. Однако при определённом опыте можно отличить полипропилен по более резким запахам продуктов горения.

Данные, представленные в табл. 6, и результаты которых хорошо коррелируются со сведениями, приводимыми в других литературных источниках [6], свидетельствуют о том, что дополнительные сведения при идентификации полимерных материалов можно получить и при анализе их химической стойкости по отношению к кислотам и щелочам. Кроме того, следует отметить, что различные полимеры по-разному ведут себя при воздействии на них различными органическими растворителями [6, 7], что также позволяет получать дополнительную информа-

цию об их природе. Таким образом, результаты комплексной оценки отдельных свойств полимерных плёнок в соответствии с изложенными ранее методами позволяют в большинстве случаев достаточно надёжно установить вид полимерного материала, из которого изготовлены исследованные образцы. Вместе с тем изложенные выше практические методы определения вида полимерных материалов, из которых изготовлены плёнки, носят в известной степени субъективный характер, а следовательно, не могут гарантировать их стопроцентной идентификации. Если такая необходимость всё же возникает, то следует воспользоваться услугами специальных испытательных лабораторий, компетентность которых подтверждена соответствующими аттестационными документами.

## **7. Экологические аспекты использования полимерной упаковки**

### **7.1. Способы решения экологической проблемы использования полимерной упаковки**

Обладея целым рядом преимуществ по отношению к другим материалам, используемым для производства тароупаковочных средств, полимеры обладают недостатком, связанным с экологическими аспектами их применения. Основная проблема заключается в очень медленных темпах их естественной ассимиляции в окружающую среду после использования. При огромных объемах производства изделий из полимерных материалов вообще и тароупаковочных средств в частности происходит их чрезмерно быстрое накопление в окружающей среде, что существенно ухудшает ее экологию. Эта важнейшая проблема может решаться различными способами:

— утилизацией использованных тароупаковочных средств путем, например, их сжигания;

— рециклингом полимерных материалов путем производства вторичного сырья из использованных тароупаковочных средств:

— многократным использованием полимерной тары и упаковки, материалы которых позволяют проводить их стерилизацию.

Следует отметить, что первый способ, хотя и является самым простым и дешевым, но в то же время и самый нерациональный. Во-первых, при сжигании полимеров в атмосферу выделяется достаточно много вредных летучих веществ: двуокись углерода, хлор, диоксин, стирол, аммиак, бензол и др. Во-вторых, полимерные материалы синтезируют из углеводородов, которые относятся к практически невозобновляемым источникам сырья.

Два других способа более рациональны, чем первый, но требуют значительных затрат для их практической реализации. Одна из существенных проблем состоит в том, что реализация



обоих способов невозможна без предварительной идентификации полимерного сырья, из которого изготовлены те или иные виды использованных тароупаковочных средств. Необходимость проведения идентификации обусловлена тем, что различные полимерные материалы имеют разные реологические свойства, что делает невозможным совместную переработку различных видов полимеров во вторичное сырье. Нельзя, например, совместно переработать поликарбонат с поливинилхлоридом или полиэтилентерефталат с сэвиленом, поскольку они имеют существенно разные температуры их переработки.

Без проведения этапа идентификации невозможно осуществить процесс повторного использования полимерных тароупаковочных средств. Это связано с тем, что повторное их использование предусматривает стерилизацию последних при достаточно жестких температурных условиях. Не все полимерные материалы способны выдержать такие условия без потери формоустойчивости стерилизуемых изделий, например тара из поликарбоната выдерживает 150 циклов стерилизации при температуре 150°C, а тара из ПЭНП — ни одного. Таким образом, упаковку не из всех полимерных материалов можно использовать многократно. Это обстоятельство и приводит к необходимости идентификации вида полимера, из которого изготовлено тароупаковочное средство.

## **7.2. Способы обращения с отходами производства и использования полимерной упаковки**

Все отходы из полимерных материалов вообще, а отходы тароупаковочных полимерных средств в частности, которые образуются в результате жизнедеятельности человека, условно можно классифицировать по способу их образования: промышленные, технологические и бытовые. Промышленные отходы образуются в процессе эксплуатации человеком промышленных изделий, которые со временем изнашиваются и теряют свои функциональные свойства. Технологические отходы образуются непосредственно при реализации технологических процессов производства тех или иных видов полимерной продукции в виде

литников, облоя, обрезков, бракованных изделий, образующихся при нарушении технологических процессов производства или проведении пусконаладочных работ. Бытовые отходы образуются в жилых домах, различных учреждениях, пунктах питания и ресторанах, больницах, местах проведения спортивных и развлекательных мероприятий и т. д. Технологические отходы используются либо в том же технологическом процессе, где они образуются (рециклинг сырья), путем их добавления к первичному сырью (после измельчения и грануляции) в количествах примерно до 25%, либо после грануляции продаются на рынке вторичного полимерного сырья. Бытовые отходы из полимерных материалов, которые после их использования попадают на свалки, представляют самую большую и сложную проблему, при этом большую их часть составляют использованные тароупаковочные средства.

В настоящее время для изготовления полимерных упаковок все шире используются самые разнообразные по своей химической природе и физической структуре полимерные материалы, которые выбирают в зависимости от вида конкретного упаковываемого продукта [12]. В состав отходов полимерной упаковки входят различные марки следующих материалов: полиэтилен (ПЭ) ~ 30%; полипропилен (ПП) — ~ 20%; полистирол (ПС) — ~ 10%; поливинилхлорид (ПВХ) — ~ 5%; комбинированные материалы — ~ 20%; другие полимерные материалы — ~ 15%.

В мировой практике используют следующие основные способы обращения с отходами:

- сжигание;
- создание саморазлагающихся под влиянием факторов окружающей среды (солнечного света, влаги, кислорода воздуха и микроорганизмов почвы) видов упаковок после завершения их жизненного цикла;
- захоронение в землю, моря и океаны;
- депонирование (складирование и передача на хранение) на специально отведенных полигонах;

— полезное использование, включающее несколько направлений, главными из которых являются: вторичная переработка; повторное использование после соответствующей подготовки (стерилизации); сжигание в целях получения энергии.

Следует отметить, что первый способ, хотя и является самым простым и относительно дешевым, но в то же время и самый нерациональный. Во-первых, при сжигании полимеров в атмосферу выделяется достаточно много вредных летучих веществ: двуокись углерода, хлор, диоксины, стирол, аммиак, бензол и др. Во-вторых, полимерные материалы синтезируют из углеводородов, которые относятся к практически невозобновляемым источникам сырья. Другие способы более рациональны, чем первый, но требуют значительных затрат для их практической реализации.

### ***Сжигание***

Сжигание является наиболее распространенным и отработанным в мировой практике способом уничтожения полимерных отходов. Одним из основных его преимуществ является быстрое уменьшение массы отходов, которая резко сокращается по объему в процессе сжигания. Однако, как уже отмечалось ранее, при сжигании некоторых видов полимерных отходов образуются канцерогенные и высокотоксичные вещества типа диоксинов и фуранов, а также и другие ядовитые и вредные соединения, выбрасываемые в атмосферу. Для решения этой проблемы были разработаны качественно новые и безопасные способы сжигания отходов без выброса вредных веществ [12]: в барботажных печах; печах с газоочистителями дымовых газов; с использованием биотермического метода переработки в органические удобрения (компост) и др.

### ***Создание саморазлагающихся видов полимерной упаковки***

Реализация такого способа обращения с полимерными отходами основана на способности полимеров деструктировать и значительно снижать свою молекулярную массу под влиянием различного рода воздействий: ультрафиолетового спектра солнечного излучения, воды, температуры воздуха, микроорга-

низмов почвы. Саморазлагающиеся полимеры в зависимости от основного фактора, воздействующего на них, разделяют на: фоторазлагаемые, деструктирующие с образованием низкомолекулярных фрагментов под воздействием ультрафиолета, и биоразлагаемые, деструктирующие под влиянием микроорганизмов почвы.

Основой создания саморазлагающихся видов полимеров служит теория химического старения высокомолекулярных соединений, согласно которой этот процесс рассматривается как совокупность его химических и физических превращений при переработке, хранении и эксплуатации изделий. Главную роль в процессе старения высокомолекулярных соединений играют свободные радикалы (атомы) — возбужденные частицы с высокой энергией и непродолжительным сроком жизни. Благодаря наличию свободной связи (из-за ненасыщенной валентности) свободные радикалы легко взаимодействуют с молекулами вещества, приводя, в свою очередь, к разрыву связи в них, а следовательно, к образованию новых свободных радикалов и продолжению процесса деградациии структуры полимера, т. е. к его саморазложению. С целью ускорения процесса деструкции полимеров, из которых изготавливают полимерную упаковку, в них можно вводить специальные добавки. Однако следует отметить, что создание подобного типа упаковки представляется весьма сложной и дорогостоящей задачей, так как требует значительных усилий, затрат и оборудования на производство необходимых добавок. Во многих странах мира такой способ обращения с полимерными отходами нашел свою нишу, но в довольно ограниченном объеме (не более нескольких процентов).

### ***Захоронение***

Захоронение любых видов отходов, в том числе и отходов из полимеров, связано с отведением под свалки значительных территорий и земельных участков и отторжением их от полезного использования. В РФ 80–90% отходов вывозится на свалки, которые уже сегодня занимают несколько десятков тысяч гектар, при этом являются источником загрязнения атмосферы, почвы, грунтовых вод, рек и водоемов различными вредными и

ядовитыми веществами, такими как метан, сернистый газ, соли тяжелых металлов, канцерогенные вещества, диоксины и др. Помимо этого, свалки представляют собой благоприятную среду для размножения грызунов и насекомых, являющихся источниками и переносчиками весьма опасных для человека вирусов, что создает значительную эпидемиологическую угрозу населению. Более того, вследствие высокомолекулярной структуры полимеров изготовленные из них упаковки, закопанные в землю, не гниют и не разлагаются очень длительное время (порядка сотни лет и более). Это означает, что свалки на значительные сроки отторгают занимаемые ими территории от полезного их использования.

### ***Депонирование***

Депонирование (складирование и передача на хранение) отходов на специально отведенных полигонах является распространенным методом избавления не только от макулатуры, но и разнообразной пленочной полимерной упаковки. Для реализации данного процесса отходы превращают в компактные однородные кипы определенной массы, удобные для обработки, складирования, погрузки и транспортировки таких отходов. Такие кипы производятся на специальных гидравлических киповых прессах (рис. 21, [12]), оборудованных устройствами подпрессовки и обвязки кип. Формируемые таким способом кипы характеризуются надежностью и высокой прочностью обвязки, а их компактность обеспечивает их доставку в любой пункт назначения.



*Рис. 21. Общий вид гидравлического пресса  
и формируемой им кипы отходов*

### ***Вторичная переработка и повторное использование упаковки***

Вторичная переработка полимерных материалов является наиболее перспективным направлением утилизации отходов упаковки. Вторичное полимерное сырье, безусловно, является дополнительной сырьевой базой ценных материальных ресурсов, месторождения которых с течением времени истощаются. Это особенно важно в условиях глобального экономического кризиса. Кроме того, вторичная переработка весьма предпочтительна с точки зрения значительного улучшения экологической обстановки.

## **8. Компьютерные технологии в производстве полимерной тары и упаковки**

Сегодня, видимо, уже ни у кого не возникает сомнений в том, что дальнейшее совершенствование технологий производства полимерной тары, начиная от разработки дизайна и конструкции будущего изделия и заканчивая выходом готовой продукции, невозможно без использования современной компьютерной техники. В первую очередь это определяется теми экономическими выгодами, которые приносит использование компьютерных технологий вообще: сокращение сроков подготовки к запуску того или иного технологического процесса; существенное снижение трудоемкости работ расчетно-проектировочного цикла; оптимизация технологических процессов по сырью, энерго- и теплоносителям и т. д. Вместе с тем совершенно очевидно, что реализация компьютерных технологий возможна лишь при наличии специального программного обеспечения: прикладных компьютерных программ, позволяющих решать конкретные технические задачи.

В настоящее время рынок программного обеспечения предлагает достаточное число продуктов для компьютерного конструирования технических объектов вообще (CAD-системные продукты), которые, в частности, используются и при конструировании оборудования и формирующего инструмента для производства полимерной тары и упаковки (бутылок, флаконов, банок, канистр, бочек, лотков, поддонов, посуды разового пользования и т. п.). Однако сам процесс конструирования предполагает наличие необходимой базы исходных данных, являющихся результатом решения достаточно сложных инженерных задач как конструкторского, так и технологического уровней. Решение таких сложных задач может быть реализовано только на базе современной компьютерной техники и при наличии специального программного обеспечения. Ранее было показано, что полимерная тара и упаковка могут производиться самыми

разнообразными технологическими методами на различных типах перерабатывающего оборудования. Отсюда возникает и известное разнообразие решаемых инженерных задач, что приводит, в конечном итоге, к необходимости наличия определённого числа компьютерных программ специального назначения.

В отличие от рынка САЕ-системных продуктов, рынок программного обеспечения для компьютерного инжиниринга (САЕ) технологических процессов переработки полимерных материалов в изделия и детали, в том числе в тару и упаковку, находится пока ещё только в стадии формирования. Это объясняется двумя основными причинами: относительной «молодостью» науки о полимерных материалах и сложным их поведением в процессах переработки в товарную продукцию. Последнее обстоятельство делает весьма наукоёмким и длительным процесс разработки САЕ-системных программных продуктов, используемых для реализации технологических процессов производства изделий из полимеров, что, естественно, отражается на цене программных продуктов, ограничивающей их доступность даже для потребителей среднего уровня. В качестве примера можно привести стоимость пакета прикладных программ Moldflow компании Autodesk, предназначенных для моделирования разнообразных процессов, протекающих в формирующем инструменте при литьевом формовании полимеров, которая составляет порядка 100 тыс. долларов. Отсюда ясно, что концепция создания мощных интегрированных САЕ-системных продуктов, ориентированных на технологии переработки полимеров вообще и на технологии производства полимерной тары и упаковки в частности, не является оптимальной ни для производителей, ни для потребителей рынка этой продукции.

Альтернативная концепция может заключаться в создании отдельных, специализированных компьютерных программ, направленных на решение частных инженерных задач в конкретных технологиях производства полимерной тары и упаковки. В настоящее время отечественный рынок уже



предлагает разработчикам оборудования для литьевого и раздувного формования полой полимерной тары, а также предприятиям, производящим ее, ряд различных программных продуктов, разработанных российскими специалистами. Программные продукты «Пластик-2D, 3D» позволяют реализовать автоматизированное проектирование литьевой тары из термопластичных полимеров на базе двух- и трёхмерного моделирования процесса формования. Видимо, одним из первых в мире программных продуктов, целенаправленно разработанных для технологий раздувного формования полимерной тары (бутылки, флаконы, бочки, канистры и т. п.), следует считать пакет прикладных программ Blow moulding, который впервые демонстрировался ещё на московской Международной выставке «Химия-92». Данный программный продукт предназначен для компьютерного моделирования технологических процессов формования полимерной тары при экструзионно-раздувном методе её производства. Его использование позволяет еще на стадии разработки конструкции изделия оценить его «технологичность», соответствие параметров изделия техническим или эксплуатационным требованиям, например по разнотолщинности, максимальной или минимальной толщине стенки и т. д.; определять необходимые параметры экструзионной заготовки, используемой для формования изделия; оценивать необходимость «программирования» толщины стенки используемой заготовки и т. п. Программный продукт Blow moulding весьма удобен в эксплуатации и имеет целую систему сервисной поддержки (основное и вспомогательные меню, систему подсказок и т. п.), что обеспечивает достаточно быструю адаптацию к работе с ним даже неподготовленного пользователя.

На рис. 22 для примера приведены результаты моделирования процесса вакуумного формования полимерной упаковки из предварительно вытянутой пуансоном плоской листовой заготовки. Моделирование проведено с помощью специально разработанной прикладной компьютерной программы. Результаты такого моделирования позволяют

определять профили поверхности заготовки в различных фазах формообразования изделия. Такое наглядное представление о протекании процесса формообразования изделия является весьма важным, поскольку позволяет установить те участки на поверхности формирующего инструмента (матрицы), на которых формообразование изделия происходит в последнюю очередь. С тем, чтобы обеспечить проформовку изделия, именно эти участки формирующего инструмента должны эффективно обеспечивать эвакуацию воздуха, находящегося в полости между поверхностями матрицы и деформируемой заготовкой, т. е. при конструировании формирующего инструмента на этих участках необходимо предусмотреть эффективную систему эвакуационных отверстий.



**Рис. 22.** Результаты моделирования процесса вакуумного формования полимерной упаковки из предварительно вытянутой пуансоном листовой заготовки: профили заготовки ( — ) в различных фазах процесса формообразования изделия; ( - - - ) — исходный профиль вытянутой пуансоном заготовки.

Кроме того, результаты моделирования этого процесса позволяют прогнозировать качество формуемого изделия по критерию разнотолщинности (см. рис. 15).

Другой программный продукт — Extrusion heads — также ориентирован на экструзионно-раздувные технологии производства полимерной тары и упаковки, в том числе и на технологии производства рукавных плёнок, и позволяет в автоматизированном режиме рассчитывать геометрические параметры дорнов и мундштуков кольцевых экструзионных головок, обеспечивающих экструзию рукавных заготовок необходимых геометрических размеров. На рис. 23 и 24 для примера показаны интерфейсы блока ввода исходных данных и итоговых результатов работы этого программного продукта.

```

* РАСЧЕТ ДИАМЕТРОВ МУНДШТУКА И ДОРНА КОЛЬЦЕВОЙ ЭКСТРУЗИОННОЙ *
* ГОЛОВКИ ПО ЗАДАННЫМ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ ЭКСТРУДИРУЕ- *
* * МОЯ ТРУБЧАТОЙ ЗАГОТОВКИ И ОБЪЕМНОМУ РАСХОДУ МАТЕРИАЛА * *

ВВЕДИТЕ ЗНАЧЕНИЯ СЛЕДУЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ:

РАСХОД МАТЕРИАЛА В ФОРМУЮЩЕМ КАНАЛЕ:          Q[см^3/с]=? 3
БЕЗРАЗМЕРНАЯ ДЛИНА ФОРМУЮЩЕГО КАНАЛА:          (L/Dm)=? 3
НАРУЖНИЙ ДИАМЕТР ЭКСТРУДИРУЕМОЙ ЗАГОТОВКИ:     Dn[мм]=? 20
ВНУТРЕННИЙ ДИАМЕТР ЭКСТРУДИРУЕМОЙ ЗАГОТОВКИ:   Dv[мм]=? 18
ВРЕМЯ РЕЛАКСАЦИИ РАСПЛАВА ЭКСТРУДИРУЕМОГО МАТЕРИАЛА: Te[с]=? .05
ТОЧНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ РАЗМЕРОВ ЭКСТРУДИРУЕМОЙ ЗАГОТОВКИ: Pr[%]=? 1
-----

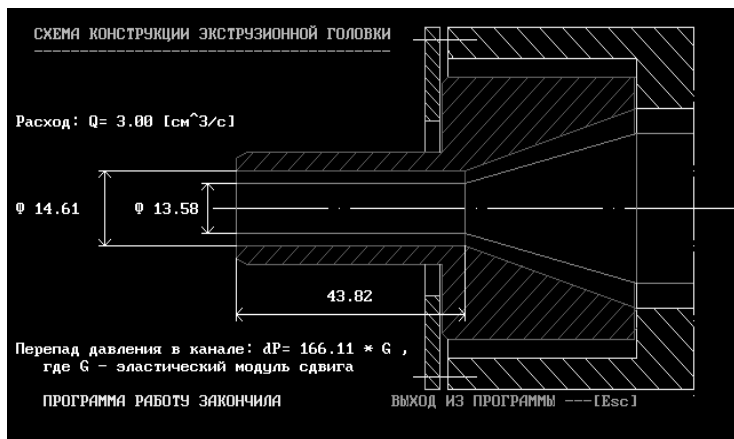
      РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

    ДИАМЕТР МУНДШТУКА:          Dm[мм] = 14.61
    ДИАМЕТР ДОРНА:              Dd[мм] = 13.58
    НАРУЖНИЙ ДИАМЕТР ЗАГОТОВКИ: Dn[мм] = 19.99
    ВНУТРЕННИЙ ДИАМЕТР ЗАГОТОВКИ: Dv[мм] = 17.95

СХЕМА ГОЛОВКИ ---[Enter]          ВЫХОД ИЗ ПРОГРАММЫ ---[Esc]

```

*Рис. 23. Интерфейс блока ввода исходных данных программного продукта Extrusion heads*



*Рис. 24. Интерфейс итогового протокола работы программного продукта Extrusion heads*

Особое внимание следует обратить на уникальный программный продукт REOCON. Суть в том, что ни один технологический процесс переработки полимеров не может быть оптимально реализован без знания реологических характеристик перерабатываемого полимерного сырья, равно как и ни один вид перерабатывающего оборудования не может быть рационально сконструирован без их учета. Более того, появляющиеся на отечественном рынке различные программные продукты, в том числе и перечисленные ранее, как инструмент реализации компьютерных технологий в различных процессах переработки полимеров также предполагают наличие (известность) этих характеристик. Однако общеизвестно, что производители сырья не сертифицируют его по этим характеристикам, что создает значительные трудности и заставляет потребителей сырья при необходимости проводить реологические испытания. Полезность и уникальность программного продукта REOCON как раз и состоит в том, что он позволяет производить автоматизированную обработку результатов любых видов вискозиметрических испытаний с

определением таких фундаментальных реологических характеристик, как ньютоновская вязкость, высокоэластический модуль сдвига, характерное время релаксации, а кроме того, позволяет рассчитывать и динамическую вязкость испытуемых материалов. На рис. 25 и 26 для примера приведены интерфейсы блока ввода исходных данных и итогового протокола работы программного продукта REOCON.

Другим программным продуктом, обеспечивающим автоматизированную обработку результатов вискозиметрических испытаний, является программный продукт PARSTU. В отличие от предыдущего, этот программный продукт позволяет по результатам вискозиметрических испытаний в автоматизированном режиме находить значения параметров степенного реологического уравнения. На рис. 27 и 28 приведены интерфейсы блока ввода исходных данных и итогового протокола работы программного продукта PARSTU.

```

ВВЕДИТЕ ПО НАРАСТАЮЩЕЙ ЗАДАНИЕ КОординат 6-и ТОЧЕК, ВЗЯТЫХ С КРИВОЙ
ТЕЧЕНИЯ ИСПЫТУЕМОГО МАТЕРИАЛА:

Напряжение сдвига для 1 точки ..... Тау [Па] = 50000
Соответствующая ему скорость сдвига..... Гамма [1/с] = 4.5

Напряжение сдвига для 2 точки ..... Тау [Па] = 70000
Соответствующая ему скорость сдвига..... Гамма [1/с] = 10

Напряжение сдвига для 3 точки ..... Тау [Па] = 100000
Соответствующая ему скорость сдвига..... Гамма [1/с] = 33

Напряжение сдвига для 4 точки ..... Тау [Па] = 130000
Соответствующая ему скорость сдвига..... Гамма [1/с] = 100

Напряжение сдвига для 5 точки ..... Тау [Па] = 160000
Соответствующая ему скорость сдвига..... Гамма [1/с] = 400

Напряжение сдвига для 6 точки ..... Тау [Па] = 200000
Соответствующая ему скорость сдвига..... Гамма [1/с] = 1000
Укажите, построен ли используемый график кривой течения испытуе-
мого материала в истинных [1] или консистентных [2] переменных...2
Повторный ввод -- <Ctrl>+<C>      Расчетный модуль -- <Enter>

```

*Рис. 25. Интерфейс блока ввода исходных данных программного продукта REOCON*



*Рис. 26. Интерфейс итогового протокола работы программного продукта REOCON*

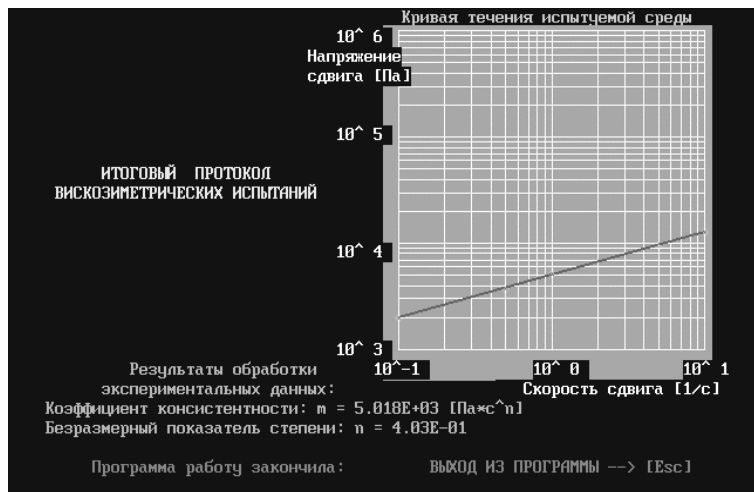
Прикладная программа для автоматизированного расчета параметров степенного реологического уравнения по результатам вискозиметрических испытаний расплава полимерного материала

Введите количество экспериментальных точек на снятой кривой течения испытуемой полимерной среды n=? 5

Введите полученные экспериментальные данные:

Скорость сдвига для 1 -й точки [1/с] =? 0,1  
 Напряжение сдвига для 1 -й точки [Па] =? 2000  
 Скорость сдвига для 2 -й точки [1/с] =? 0,5  
 Напряжение сдвига для 2 -й точки [Па] =? 3770  
 Скорость сдвига для 3 -й точки [1/с] =? 1  
 Напряжение сдвига для 3 -й точки [Па] =? 5100  
 Скорость сдвига для 4 -й точки [1/с] =? 5  
 Напряжение сдвига для 4 -й точки [Па] =? 9500  
 Скорость сдвига для 5 -й точки [1/с] =? 10  
 Напряжение сдвига для 5 -й точки [Па] =? 12600

*Рис. 27. Интерфейс блока ввода исходных данных программного продукта PARSTU*



**Рис. 28.** Интерфейс итогового протокола работы программного продукта PARSTU

В заключение следует отметить, что практика использования вышеперечисленных САЕ-системных программных продуктов применительно к технологиям производства полимерной тары и упаковки, конструированию соответствующих видов оборудования и формующего инструмента подтверждает их высокую эффективность и соответствие уровню современного производства.

## **9. Санитарно-гигиенические требования, предъявляемые к полимерным упаковкам**

К упаковочным материалам, которые применяются для контакта с продуктами питания, предъявляются самые жесткие требования. При выборе упаковочного материала для подобного рода продукции необходимо в первую очередь обеспечить определенный уровень санитарных и гигиенических характеристик. Среди обязательных условий, позволяющих использовать упаковочные материалы для продуктов питания, — наличие специального сертификата, который подтверждает безвредность упаковки для человека с физиологической точки зрения.

Для предотвращения потерь массы товаров, снижения нежелательных изменений в химическом составе, сохранения качества и органолептических свойств для разных продуктов применяют различные виды упаковок. Упаковка должна создавать определенные санитарные условия, которые будут предупреждать загрязнение продукции, поражение вредителями, а также обсеменение микрофлорой. Тароупаковочные средства должны создавать все удобства для хранения, реализации и транспортировки. Это говорит о том, что упаковки должны быть прочными и легкими, соответствовать специфическим требованиям свойств пищевых продуктов, а также защищать их от деформации.

Для тары, используемой в длительных перевозках автомобильным или железнодорожным транспортом, прочность имеет очень важное значение. Если это качество будет отсутствовать, то продукт может существенно потерять в массе либо его качество снизится. Используемые в упаковочной индустрии материалы ни в коем случае не должны вызывать падение показателей качества упакованной продукции из-за приобретения несвойственных для нее запаха, вкуса, увлажнения и окраса, а также попадания полимерных соединений или металлов.



Упаковка продуктов питания разделяется на внутреннюю и внешнюю. Каждая из них имеет свое индивидуальное предназначение. Внешняя тара используется для перевозки и хранения продукции, т. е. это контейнеры, мешки и ящики. Внутренние — это коробки для расфасовки сахара, кофе, чая, бутылки для разнообразных напитков и т. д. К вспомогательным материалам принято относить бумагу, бумажную и древесную стружку, гофрированный картон. В зависимости от используемого при изготовлении тары материала, она может быть стеклянной, деревянной, картонной, металлической и полимерной.

Поскольку торговля расфасованными продуктами постоянно расширяется, с каждым годом все более широко используется и полимерная упаковка. К подобной упаковке можно отнести ящики и пленки, толщина стенок которых не превышает 250 мкм. Для них обязательным условием выступает устойчивость к воздействию химических факторов, а также безвредность для человеческого организма. Связано это с тем, что данная упаковка непосредственно контактирует с продуктами. Самое главное — добиться отсутствия в составе веществ, вредных здоровью человека. В первую очередь материалы должны подвергаться проверке на токсичность.

Часто микроорганизмы, пыль и некоторые другие факторы негативного воздействия наносят продукции непоправимый вред. Использование упаковочной полимерной пленки, например, не только способствует сохранению качества продуктов, но и существенно продлевает срок годности. Такая упаковка отличается своим высоким уровнем газонепроницаемости и водостойкости, а поэтому создает надежный барьер от вредных микробов, что придает пленке дополнительные преимущества по сравнению с другими видами упаковочных материалов.

Санитарно-гигиенические требования к упаковке включают в себя следующие положения:

- упаковочный материал не должен изменять физиологические или органолептические свойства упакованной продукции или выделять в них вредные вещества в тех количествах,

которые превышают допустимые нормы миграции с точки зрения гигиены;

- в состав упаковочного материала не должны входить вещества с высокой токсичностью, которые обладают кумулятивными свойствами, а также специфическим действием на организм.

Во время санитарно-гигиенического исследования, которое проводится специальными сертифицированными организациями, определяют, какие соединения и в каком количестве из упаковочного материала переходят на упакованный продукт. Для того чтобы упростить испытания, как правило, исследуют не пищевые продукты, а модельные среды, которые имитируют свойства определенного реального продукта питания. Соответствующие данные приведены в табл. 7.

Таблица 7

Наименование продукта	Модельные растворы
Свежая рыба и мясо	Дистиллированная вода, 0,3%-ный раствор молочной кислоты
Рыба копченая и соленая и мясо	0,5%-ный раствор молочной кислоты и дистиллированная вода
Молоко, молочные консервы и продукты	Дистиллированная вода, 0,3%-ный раствор молочной кислоты, 3%-ный раствор молочной кислоты
Овощные, рыбные и мясные консервы, вареные колбасы, квашеные и маринованные овощи и др.	Нерафинированное подсолнечное масло, дистиллированная вода, 2%-ный раствор уксусной кислоты с 2%-ной поваренной солью
Ягоды, фрукты, соки, пиво и безалкогольные напитки	2%-ный раствор лимонной кислоты или дистиллированная вода
Напитки из алкоголя	Дистиллированная вода, 2%-ный раствор лимонной кислоты и 20%-ный раствор этилового спирта
Коньяк и водка	40%-ный раствор этилового спирта и дистиллированная вода
Пищевой спирт, ром и ликеры	96%-ный раствор этилового спирта и дистиллированная вода

Органами здравоохранения Российской Федерации устанавливаются как нормативы миграции определенных токсичных соединений, среди которых тяжелые металлы, органические растворители, мономеры и т. д., так и предельно допустимое количество суммарной миграции в модельных средах. В комплексе гигиенической оценки материалов для упаковок находятся токсикологическое, санитарно-химическое и органолептическое исследования. Последнее проводит специальная комиссия на закрытой дегустации. Система оценок насчитывает три балла. Оценка 0 — это наиболее высокий показатель допустимости, 1 — допускается, а 2 и 3 — либо вовсе не допускаются, либо при использовании таких упаковочных материалов имеются определенные ограничения. Если материал упаковки располагает ярко выраженными дефектами и, кроме того, обладает посторонним запахом, то это вполне может послужить причиной отказа от использования данной упаковки для непосредственного контакта с продуктами.

Санитарно-химические исследования проводятся посредством определения в вытяжках компонентов материалов. Эти вытяжки получают при выдержке образцов материала, подлежащего исследованию, при определенных условиях времени и температуры в модельной среде. В полученных вытяжках, используя химические методы, определяют количество веществ, которые находятся в составе упаковочного материала, а также наличие в нём тяжелых металлов.

Что же касается токсикологического исследования, то проводится оно на объектах животного мира, т. е. насекомых, крысах, морских свинках, кроликах и т. д. Такой вид исследования заключается в скармливании этим животным вытяжек из упаковочных материалов или введение экстрактов компонентов под кожу или в желудок. После этих действий изучают биологическое действие исследуемых материалов на организм.

В зависимости от результатов проводимых исследований устанавливается основной гигиенический критерий упаковочных материалов — допустимое количество миграции.

То есть допустимый уровень попадания веществ в модельную среду или продукты питания из упаковки. Если материал будет соответствовать нормам, то это является гарантией безвредности упаковок для организма человека при неограниченной длительности использования продукции, находящейся в таких упаковках. Соответствие упаковочного материала санитарно-гигиеническим требованиям подтверждается соответствующим сертификатом. В этом документе указывается наименование товара с товарными кодами производителя, название фирмы, которая занимается изготовлением упаковки, и держателя сертификата, документы, подтверждающие качество товара, а также заключение органа здравоохранения, который выдает сертификат, дата выдачи и срок действия. В упомянутом выше заключении должны перечисляться условия использования и область применения товара, которые подтвердились в ходе испытаний. Особенно важно это в случае, когда упаковочные материалы применяются при наличии прямого контакта с продуктами питания, температура которого превышает показатели комнатной или который имеет жировую природу.

Необходимо отметить, что при получении готовой продукции, а также в процессе ее хранения, т. е. когда продукт достаточно длительное время непосредственно контактирует с упаковочным материалом, могут проявляться сложнейшие химические, биохимические и физико-химические процессы, в результате которых образуются вредные для человека соединения. Таким образом, упаковки, материалом для которых служит полиэтилен низкой плотности, не пригодны для жиросодержащей продукции, поскольку окислительные фракции в этом материале ускоряют процесс прогоркания жиров, проникая в упакованный продукт. В результате этого образуются продукты окисления триглицеридов, которые существенно ухудшают процесс протекания обмена веществ в живых организмах. Следовательно, наряду с оценкой свойств упаковочного материала нужно проводить независимый контроль изделий санитарно-гигиенического плана, а также

прогнозировать поведение упаковочного материала в контакте с определенным видом продукции. Это свидетельствует о том, что необходимо хорошо знать состав и свойства продуктов и отчетливо представлять все изменения, которые могут произойти в процессе их хранения или переработки.

Определенные пищевые продукты очень чувствительны к воздействию водяного пара, воды и воздуха. Очень важным требованием в этом случае, которое предъявляется к подобным упаковочным материалам, является паро-, газо-, жиро-, арома- и водонепроницаемость. В случае упаковки свежего мяса должна обеспечиваться низкая паропроницаемость и одновременно заданный уровень газопроницаемости, поскольку соблюдение этих условий сохраняет окраску мяса. Жирные продукты питания должны упаковываться в жиростойкие материалы, которые способны защитить продукт от света и кислорода, являющихся факторами окисления жиров.

Обертки для колбасной продукции должны иметь достаточную паро- и газопроницаемость для проникновения копильных газов и паров воды, а вместе с этим, располагать достаточной механической прочностью в среде с повышенной температурой и влажностью воздуха.

Материалы, применяемые для вакуумных упаковок продукции, должны обладать минимально возможной проницаемостью для газов. Особенно сложной является продукция для свежих овощей и фруктов. Вакуумная упаковка позволяет сохранять определенный газовый состав внутри упаковки, который сможет обеспечить длительное хранение этой продукции, которая обычно очень быстро приходит в негодность. Паропроницаемость отображает количество водяного пара, который проходит через единицу поверхности материала за определенный промежуток времени при заданной температуре и разности давлений. Проницаемость упаковки для ароматов проверяется хроматографическим или органолептическим методами. Последний представляет собой способность человека ощущать даже в ничтожной концентрации ароматы вещества при помощи своих органов обоняния. Для этого

эталонное вещество, в роли которого может выступать черный перец или гвоздика, помещают в пакет, сделанный из исследуемого упаковочного материала, и далее производят герметизацию упаковки. После этого при определенной температуре и влажности помещают в эксикатор. Спустя определенное время производят оценку газовой ситуации в аппарате. Испытания продолжаются до того момента, пока в воздухе не появится запах помещенного в пакет вещества. Если проводить испытания при помощи газового хроматографа, то используются более летучие вещества, которые легко идентифицировать. Их количество определяется газохроматографическим методом.

Жиропроницаемость упаковочного материала показывает длительность проникновения жира или масла при заданной температуре через образец. Для многих материалов данный показатель определяется через промежуток времени, которое проходит с момента нанесения жировой композиции с определенным цветом на материал и до того, как с обратной стороны упаковочного материала образуются цветные пятна. Материалы с высокой жиростойкостью способны удерживать образование пятна за временной промежуток свыше получаса. Те упаковочные материалы, которые пропускают пятно спустя 30 секунд, не могут считаться жиропроницаемыми, поэтому они противопоказаны для использования с жирными продуктами.

Функциональное назначение тароупаковочных материалов определяет требования к ним, что обусловлено определенными условиями эксплуатации. Факторы воздействия на материал могут быть разделены на внешние и внутренние. Внешние могут располагать самой разной природой, среди которых:

- климатические — влажность, температура и резкое колебание этих показателей;
- биологические — действие грибков, грызунов, микроорганизмов и насекомых;
- механические — вибрация, а также ударные и статические нагрузки.

Внутренние факторы включают в себя:

- внутреннее давление;
- химическая устойчивость материала;
- износ упаковочного материала под воздействием продукции, упакованной в него.

Существуют общие требования, которые предъявляются к любому упаковочному материалу, а также специальные требования, применимые только к определенным их видам. Разница в них существенна. К примеру, потребительская упаковка, используемая для пищевого продукта, кроме комплекса общих требований, должна удовлетворять гигиеническим. Но ей вовсе не обязательно располагать большим запасом прочности, который обязательно должен присутствовать в транспортной таре, используемой для транспортировки машиностроительного оборудования.

Для того чтобы полимерные материалы могли обеспечивать свою основную функцию, т. е. защищать упакованные продукты от воздействия разрушающих факторов, упаковка должна обладать высокими барьерными свойствами. Иными словами, она должна располагать хорошей герметичностью, механической прочностью, химической прочностью, а также оптимальными показателями проницаемости паров, влаги, жиров и т. д.

Стойкость упаковок к механическому воздействию характеризуется сохранением формы при статических нагрузках, стойкостью к ударным нагрузкам, вибростойкостью, а также оптимальными показателями физико-механических свойств, отдельные из которых приведены в табл. 5. Формоустойчивость необходима для длительного хранения продукции в штабелях, когда на нижние ряды ложится серьезная нагрузка при воздействии летучих и жидких веществ, которые находятся внутри упаковки, а также при наличии острых граней в таре и т. д.

Транспортная тара работает в условиях возникновения постоянных колебаний и ударов, часто носящих случайный характер. Для нее требования стойкости к деформации и

механической прочности являются доминирующими. При выборе материала всегда нужно учитывать появление поверхностных трещин, характер деформации, а также изменение структуры материала, особенно в случаях контакта с агрессивной средой, которые зависят от условий среды и напряжения. Механическую устойчивость транспортной тары определяют вполне стандартными методами. Определенные требования необходимо соблюдать при выборе конструкции и формы тары. Нужно избегать очень резких переходов, углов и граней, а также участков, где может собираться внутреннее напряжение, способное снижать устойчивость тары к ударному воздействию.

Химическая стойкость упаковочного материала по отношению к конкретной среде гарантирует отсутствие набухания материала при контакте с ней, сохранение стабильности свойств материала, а также отсутствие потерь продуктов через стенки транспортной тары. Изменение механических и физико-химических свойств материалов под действием агрессивной среды может стать причиной разрушения тары, т. е. приводить к более быстрому износу. В процессе оценки химической стойкости полимерных упаковочных материалов, которые представляют собой многокомпонентную систему, нужно определить устойчивость к средам наполнителей, пластификаторов, антиоксидантов, красителей и прочих добавок, которые вводятся в полимерную композицию. Качественные характеристики по химической стойкости некоторых видов полимеров по отношению к кислотам и щелочам приведены в табл. 6.

Герметичность представляет собой отсутствие процессов обмена между внешней средой и содержимым упаковки. Данный признак позволяет различить плотную, абсолютно и хорошо укупоренную тару. Абсолютно укупоренная тара не позволяет проникать через свои стенки газам, плотно укупоренная — воде, в то время как хорошо укупоренная сэкономит продукцию от случайного высыпания или проливания. При изготовлении упаковок из комбинированных и полимерных



материалов наиболее целесообразная герметизация достигается за счет использования сварки. При этом неперенным требованием является плотность и прочность сварочного шва.

Проницаемостью называется процесс перехода через стенки упаковочного материала содержимого или компонентов. Для большей части товаров общим требованием является минимальная проницаемость для водяных паров и воды, агрессивных газов и кислорода и т. д. Отсутствие перемещения микроорганизмов и продуктов жизнедеятельности, защита от радионуклидов, а также непроницаемость для ультрафиолетовых лучей являются весьма распространенными требованиями. Проницаемостью называется перенос вещества, который обуславливается наличием концентрации, перепада давления, а также определенного уровня температуры по обе стороны упаковочного материала. Данный показатель определяется прежде всего плотностью структуры материала, поэтому в зависимости от этих свойств проницаемость может изменяться в весьма широких пределах.

Технологичность упаковочных материалов позволяет изготавливать тару, заполнять ее продуктами, а также герметизировать при помощи высокопроизводительных методов с малыми затратами труда и использованием специального фасовочного упаковочного оборудования. Материал, который для этого пригоден, должен иметь высокие показатели механической прочности, жесткости или эластичности. Также на него должно быть легко и удобно наносить полиграфические изображения. Способность к образованию прочного и герметичного сварного шва, однородность по цвету, структуре, толщине и прозрачности являются также обязательными.

# Приложения

## П1. Классификация тары и упаковки

Основные термины и определения в области тары и упаковки регламентированы стандартами: ГОСТ 17527-86, ГОСТ 18338-73, ГОСТ 20071-74, ГОСТ 20185-74, ГОСТ 21391-75, ГОСТ 16299-78.

В соответствии с ГОСТ 17527-86 упаковкой принято называть средство или комплекс средств, обеспечивающих защиту продукции и окружающей среды от повреждений и потерь, а также облегчающих транспортирование, хранение и реализацию продукции. Важнейшим, а иногда и единственным элементом упаковки является тара, представляющая собой изделие для размещения продукции, выполненное в виде открытого или замкнутого полого корпуса. С целью придания упаковке новых свойств и качеств используют вспомогательные упаковочные средства: крышки, пробки, этикетки, прокладки, решетки, вкладыши, стяжные и липкие ленты, покрытия, обертки и т. д.

Основными признаками, по которым классифицируют тару и упаковку, являются их назначение, материал, состав, конструкция, технология производства. По назначению тару и упаковку можно разделить на производственную, транспортную, потребительскую, специальную (консервирующую). Потребительская тара и упаковка предназначены для продажи населению товара, являются частью товара и входят в его стоимость, а после реализации переходят в полную собственность потребителя. Они, как правило, не предназначены для самостоятельного транспортирования и перевозятся в транспортной упаковке. Потребительская тара имеет ограниченную массу, вместимость и размеры. В большинстве случаев ее суммарный периметр не должен быть больше 600 мм, т. е.  $L + B + H \leq 600$  мм ( $L$  — длина,  $B$  — ширина,  $H$  — высота упаковки).

В зависимости от применяемого материала полимерная тара и упаковка могут быть полиэтиленовой, полистирольной,

поливинилхлоридной и т. д. Если для изготовления тары или упаковки применяют несколько видов упаковочных материалов, то такую тару или упаковку относят к комбинированной. Использование упаковочного материала в качестве одного из основных признаков классификации позволяет выбирать его, исходя из физических, химических, гигиенических, биологических и других свойств продукции. Упаковку классифицируют по составу (тара и вспомогательные упаковочные средства), а также по различным конструктивным признакам: форме, размерам, способам соединения, соотношению между отдельными элементами. По конструкции потребительскую тару делят на коробки, бутылки, банки, флаконы, тубы, стаканчики, ампулы, пакеты, пеналы, пробирки.

Дополнительными конструктивными признаками являются стабильность размеров (жесткая, полужесткая и мягкая тара и упаковка), форма (прямоугольная, цилиндрическая, плоская, конусная и т. д.), плотность укупоривания (открытая, негерметичная, герметичная изобарическая упаковка), компактность (неразборная, разборная, складная упаковка).

В зависимости от технологии изготовления различают раздувную, литьевую, прессованную, термоформованную, сварную тару и упаковку. Пользуются также более узкими признаками классификации тары и упаковки: цвет, масса, прозрачность, вместимость, физическое и агрегатное состояние продукции, габаритные размеры, особенности оформления.

Последовательное использование приведенных классификационных признаков при подборе упаковки и тары, необходимой для каждого конкретного продукта, позволяет определить материал, конструктивное исполнение и технологию изготовления, выработать необходимые требования и условия.

## **П2. Раздувная потребительская тара и упаковка**

Раздувная потребительская тара по объемам производства занимает третье место после тары и упаковки из листовых и пленочных материалов. По разнообразию и функциональному назначению она удовлетворяет практически любым требова-

ниям потребителей, поэтому ее применяют для самых различных продуктов: жидких, сыпучих, пастообразных и твердых; газированных напитков, горюче-смазочных материалов, пищевых и химических продуктов, косметических и фармацевтических товаров.

У раздувной тары отношение площади сечения горловины к площади ее поперечного сечения изменяется в широких пределах (от 3 до 90%). Для ее изготовления применяют практически все виды термопластов. Эстетичность, удобство применения, использование функциональных приспособлений и сравнительно низкая стоимость обусловили ее широкое применение. Раздувная тара отличается разнообразием форм и объемов (0,001–250 л); высокой прочностью и формоустойчивостью; широкой цветовой гаммой, высокой прозрачностью; вытянутой формой тары (отношение высоты к характерному поперечному размеру много больше единицы); тонкими стенками. Надежность герметизации достигается всеми возможными способами с применением различных укупорочных элементов. Преимуществом следует считать также легкость сбора и утилизации использованной тары.

Раздувную потребительскую тару классифицируют следующим образом:

— *по конструкции*: бутылки, флаконы, банки, тюбики, ампулы, канистры, пробирки;

— *по способу изготовления*: методами экструзии с раздувом; инъекции с раздувом; раздувом из трубчатых заготовок без ориентации и с двухосной ориентацией; литья и экструзии с последующей сваркой;

— *по диаметру горловины*: узкогорлая — у которой площадь поперечного сечения горловины ( $S_{\Gamma}$ ) менее 20% площади поперечного сечения тары ( $S_T$ ); со средним диаметром горловины —  $S_{\Gamma} / S_T = 20\text{--}50\%$ ; широкогорлая —  $S_{\Gamma} / S_T$  более 50%;

— *по конструкции горловины*: с резьбовой горловиной, гладкой горловиной, с выступами или впадинами для закрепления укупорки на горловине, с элементами байонетных соединений, с юбками и носиками под сварку;

— *по цвету*: белая, полупрозрачная; высокопрозрачная; цветная.

### **ПЗ. Потребительская упаковка из пленочных материалов**

Потребительская упаковка из пленочных материалов позволяет надежно защитить продукцию от внешних воздействий, полностью автоматизировать процесс упаковывания. При этом автомат выполняет фасовку продукции, герметизацию упакованной продукции и укладку в транспортную тару. Упаковка из красочно оформленных полимерных пленок эстетична, имеет привлекательный внешний вид, содержит информацию о назначении продукции, способе ее использования. Пленочная потребительская упаковка имеет небольшую удельную массу и самую низкую стоимость, поэтому ее часто выполняют разовой, т. е. для однократного использования.

Наиболее распространенной потребительской упаковкой из пленочных материалов является пакет — мягкая упаковка с корпусом в форме рукава, с дном различной конфигурации, цельный или со швом, с открытой горловиной, с клапанами или без них (рис. 29). Отличительные признаки различных пакетов — оформление дна, наличие боковых сгибов или складок, затворы, элементы для переноски пакетов. Обычно вместимость пакетов не превышает  $3000 \text{ см}^3$ . Пакеты могут быть выполнены плоскими, с боковыми складками или без них, с формованным или плоским дном. Закрывают пакеты различными затворами. Основной способ изготовления полимерных пакетов — сваривание, реже применяют склеивание, сшивание скобами, крепление липкой лентой, скрепками и зажимами.

Разновидностью упаковки из пленочных материалов являются хозяйственные сумки (рис. 30). Они могут быть плоскими или со складками и снабжаться разнообразными

ручками. Кроме пакетов и сумок используют упаковку из пленок: пузырчатую для таблеток, термоусадочную единичную и групповую для штучных изделий и т. п.

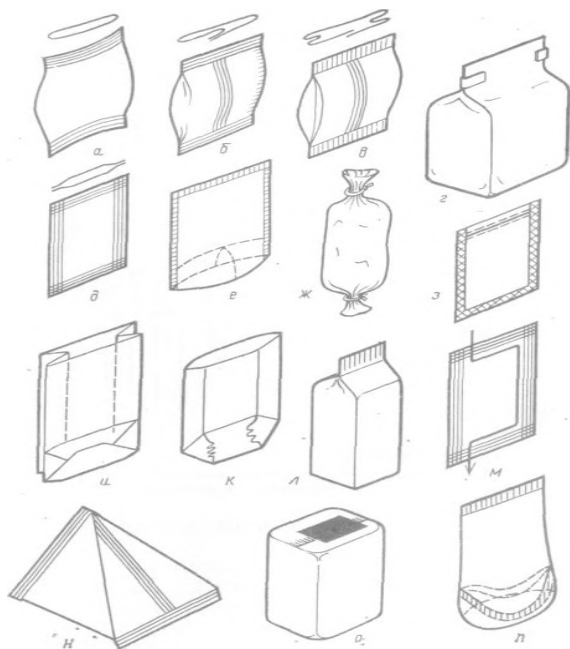
#### **П4. Основные типы литьевой потребительской тары и упаковки**

Среди основных типов литьевых потребительских тароупаковочных средств широкое распространение нашли: банки, коробки, стаканчики, пеналы, пробирки и др. (рис. 31). Банки — потребительская тара вместимостью 50–5000 см<sup>3</sup> с плоским или выпуклым дном, размеры горловины которой равны или близки к размерам поперечного сечения корпуса, и закрываемая крышкой с затвором.

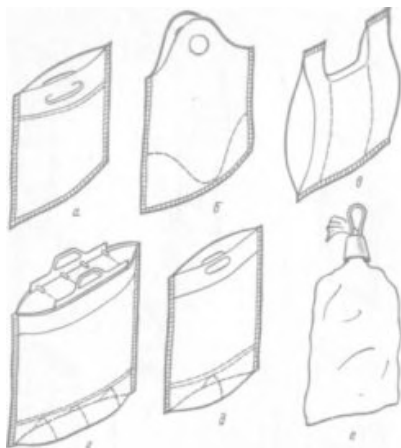
Стаканчики представляют собой потребительскую тару, изготовленную в виде усеченного конуса или пирамиды с плоским дном и открытой горловиной. Вместимость стаканчиков, используемых в качестве разовой тары, обычно не превышает 200 см<sup>3</sup>. Для укупоривания их применяют комбинированный пленочный материал (фольгу), привариваемую к корпусу банки, или пластмассовые крышки, снабженные безрезьбовыми затворами.

Пробирки вместимостью 1–50 см<sup>3</sup>, выполняемые литьем и прессованием в форме трубки с плоским или выпуклым дном, являются разовой тарой. Для укупоривания пробирок используют пробки и крышки.

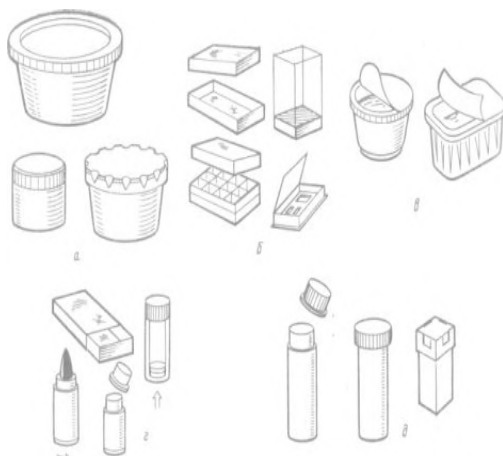
Коробки — наиболее часто применяемый тип литьевой и прессованной тары. Форма их может быть разнообразной, однако все их разновидности имеют плоское дно, состоят из корпуса и надеваемой или закрываемой на шарнирах крышки. Разновидностью коробки является пенал — небольшая коробка, преимущественно цилиндрической формы, закрываемая крышкой в виде обечайки. В некоторых случаях применяют выдвижные пеналы. Продукт из такой упаковки выдвигается поршнем или встроенным винтом.



**Рис. 29.** Пакеты из полимерных пленочных материалов: а — рукавный («подушечка») с двумя поперечными швами; б — плоский с одним продольным и двумя поперечными швами; в — плоский с боковыми складками; г — объемный с плоским дном и зажимами для повторного закрывания; д — плоский с четырьмя швами; е — со складкой у дна; ж — шланговый (оболочечный), закрытый проволочными зажимами; з — плоский с профильной застежкой; и — с прямоугольным дном и боковыми складками; к — с шестиугольным дном; л — прямоугольный объемный; м — плоский с нитью для вскрытия; н — тетраэдр; о — прямоугольный объемный складной; п — пакет с устойчивым дном.



**Рис. 30.** Хозяйственные сумки: а, б — с просеченными ручками; в — со сварными ручками; г, д — с пластмассовыми ручками и дном в виде складки; е — со стягивающим зажимом.



**Рис. 31.** Основные типы тароупаковочных средств, изготавливаемых литьем под давлением: а — банки; б — коробки; в — стаканчики; г — пеналы; д — пробирки.



## П5. Укупорочные средства для полимерной тары и упаковки

Большинство пластмассовых укупорочных средств как для полимерной тары, так и для тары из стекла и металла изготовляют методами прессования и литья под давлением. Укупорочное средство в результате операции укупоривания образует с горловиной упаковки затвор, который обеспечивает сохранность упакованной продукции.

Условно укупорочные средства классифицируют следующим образом:

— *по назначению и кратности использования* — обычные или фирменные, многократного или однократного использования;

— *по используемому материалу* — полиэтиленовые, полипропиленовые, полистирольные, поливинилхлоридные, комбинированные;

— *по способу открывания* — нажим с поворотом; сжатие с поворотом; нажим и подъем; поворот; нажим (для защелки);

— *по методу закрепления на горловине* — пробки, крышки, комбинированные (пробки-крышки);

— *по конструктивным элементам закрепления на горловине*.

Обычные укупорочные средства можно использовать многократно, без каких-либо необратимых изменений в упаковке. Вскрытие фирменной укупорки и употребление продукции может последовать лишь после разрушения или необратимого изменения упаковки. Фирменные оригинальные укупорочные средства надежно защищают тару от вскрытия. Они предназначены для однократного использования.

По конструкции укупорочные средства разделяют также на крышки и пробки. Крышки закрывают наполнительное отверстие по наружному периметру; пробки вдавливаются или ввинчиваются в горловину тары. Разновидностями крышек являются бушоны, навинчиваемые на тубы, и колпачки, применяемые для укупоривания флаконов и бутылок.

Основные конструктивные элементы укупорочных средств предназначены для закрепления на горловине тары; герметизации и уплотнения; облегчения вскрытия; предохранения от случайного вскрытия, а также выполнения специальных операций.

Укупорочное средство можно закреплять с помощью одно- и многозаходных резьб; растягивающихся эластичных элементов типа «выступ — впадина»; байонетных соединений; гладких или выступающих эластичных элементов, надеваемых с натягом; сваркой или склеиванием; стяжными кольцами, карабинными, клиновыми и рычажными затворами. Часто перечисленные методы применяют в различных комбинациях. Герметизирующие и уплотняющие элементы укупорочных средств могут выполняться на таре и укупорочных средствах или в виде отдельных деталей, например прокладок.

Наиболее распространены уплотнительные элементы в виде колец, конусов, дисков, сфер, губок, пластин, внешних и внутренних стаканов. Современная упаковка может выполнять ряд дополнительных функций, к которым относят ее открывание и извлечение содержимого, надежную защиту от случайного вскрытия, обеспечение безопасности при пользовании, повышение эффективности использования продукта. Эти функции осуществляют с помощью специальных (функциональных) элементов и приспособлений.

## **П6. Дополнительные сведения о полимерных материалах, используемых при производстве тароупаковочных средств**

Для производства полимерной тары используются следующие термопласты: полиэтилен низкой плотности (ПЭНП), полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), полипропилен (ПП), поливинилхлорид (ПВХ), полистирол (ПС), полиамид (ПА), поликарбонат (ПК), полиэтилентерефталат (ПЭТФ) или лавсан.

Полиэтилен низкой плотности — ПЭНП или ПЭВД (ГОСТ 16337-81) является во всех странах наиболее многотон-

нажным продуктом. ПЭНП легко формуется, химически стоек, нетоксичен, имеет довольно высокую проницаемость по отношению к маслам и топливам. Изделия из ПЭНП обладают высокой эластичностью, морозостойкостью (до  $-70^{\circ}\text{C}$ ), стойкостью к кислотам, щелочам и многим органическим растворителям (до  $60^{\circ}\text{C}$ ), хорошей водостойкостью, газо- и паропроницаемостью, легко термосвариваются. Достоинством их также является умеренная стоимость. Плотность ПЭНП — до  $940 \text{ кг/м}^3$ . Недостатки ПЭНП — невысокие механическая прочность (до 20 МПа) и модуль упругости, низкие теплостойкость и стойкость к растягиванию. В некоторых странах находят широкое применение двухслойные и двухцветные полиэтиленовые мешки с термосварными швами, внутренний слой которых имеет черный цвет, а наружный — белый. ПЭНП применяется в основном для производства мелкой раздувной и термоформованной тары одноразового использования. Для производства крупногабаритной транспортной тары ПЭНП непригоден, о чем свидетельствуют результаты прогнозирования его поведения в условиях длительной эксплуатации под нагрузкой при разных температурах. При эксплуатации тары в условиях статической нагрузки (особенно в режиме хранения) лимитирующим фактором, ограничивающим ее работоспособность, является не длительная прочность, а ползучесть; деформация к моменту разрыва значительно превышает допустимый предел для ПЭНП. По этой причине ПЭНП не рекомендуется использовать для производства транспортной тары, работающей в условиях статической нагрузки. Для изделий, работающих в условиях релаксации напряжений (потребительская тара), сочетание значительной длительной прочности с малой жесткостью является благоприятным. Поэтому ПЭНП в основном используют для получения потребительской тары. Основные способы изготовления тары из ПЭНП: литье под давлением, экструзия, экструзия с раздувом (раздувное формование), ротационное формование, термоформование.

Полиэтилен высокой плотности — ПЭВП или ПЭНД (ГОСТ 16338-81). К ПЭВП относятся ПЭ низкого и среднего давления (ПЭНД и ПЭСД). ПЭВП наиболее широко использует-

ся для получения тары. Его мировое производство составляет около 10 млн т в год. Этот полимер является линейным, в отличие от ПЭНП, который имеет разветвленную структуру. ПЭВП применяется в тех случаях, когда требуется высокая стойкость к растрескиванию и короблению, глянцевая поверхность изделий, высокая теплостойкость и хорошие прочностные показатели. Он обладает значительной жесткостью, высокой ударной прочностью, стойкостью к растрескиванию под напряжением, имеет более высокие прочностные и теплофизические характеристики, чем ПЭНП, низкие характеристики водопоглощения и газопроницаемости. Его плотность — до  $960 \text{ кг/м}^3$ . ПЭСД также пригоден для производства транспортной тары. ПЭВП перерабатывается экструзией, литьем под давлением, экструзией с раздувом, ротационным формованием.

Полипропилен — ПП (ТУ 6-05-1105-78). В последние годы значительно расширено производство отечественного ПП, который наряду с ПЭВП является одним из наиболее перспективных полимеров для производства транспортной тары. ПП занимает в настоящее время первое место по темпам роста производства и применения во всем мире. Он является одним из наиболее легких полимеров (плотность его составляет  $910 \text{ кг/м}^3$ ), поэтому основным его потребителем являются пищевые отрасли промышленности, где он используется не только в производстве пленок, но и для получения флаконов, ящиков; а также транспортной тары. Полипропилен обладает по сравнению с другими полимерами более высокой теплостойкостью, в связи с чем получаемые из него изделия можно подвергать стерилизации. Недостатками ПП являются: низкая светостойкость, а также малая деформируемость при минусовых температурах (низкая морозостойкость). Эти недостатки можно устранить модификацией при создании и переработке композиций на основе ПП. Перерабатывается ПП теми же методами, что и ПЭВП.

Поливинилхлорид — ПВХ (ТУ 6-01-997-79). ПВХ широко используется для изготовления потребительской тары. Такие свойства непластифицированного ПВХ, как прозрачность, жесткость, высокая статическая и ударная прочность, хорошая фор-

муемость, жиростойкость, а также доступная сырьевая база для получения способствуют его применению в производстве бутылок для расфасовки пищевых масел, дешевых столовых вин, минеральных вод и некоторых других напитков. Непластифицированный ПВХ характеризуется и высокими деформационно-прочностными показателями при обычных и повышенных температурах, что имеет существенное значение для транспортной тары. По сравнению с полиолефинами он имеет большую плотность — более  $1000 \text{ кг/м}^3$ . Однако низкий уровень термостабильности ПВХ вследствие его химической нестойкости и повышенной склонности к деструкции, высокая вязкость расплава требуют введения различных стабилизаторов, наполнителей, пластификаторов, смазок и других функциональных добавок. Это приводит к необходимости приготовления многокомпонентной композиции из ПВХ для переработки. Подготовку таких композиций проводят в две стадии: 1) «сухое» смешение компонентов; 2) смешение в расплаве. Целью «сухого» смешения является распределение добавок, частичное их диспергирование и взаимное растворение ПВХ и вводимых пластификаторов. Существенным недостатком ПВХ как материала для изготовления тары является его токсичность и канцерогенность мономера — винилхлорида. В настоящее время во всем мире уделяется большое внимание проблеме получения ПВХ с минимальным остаточным содержанием мономера. В ПВХ идентифицировано 88 органических соединений, из которых наибольшую опасность представляют стирол и винилхлорид. Их токсичность составляет 86,8 и 74,5% соответственно по отношению к токсичности HCl, принятой за 100%. Поэтому при переработке ПВХ на всех его стадиях необходимо предусматривать дополнительные мероприятия по удалению остаточного мономера и других токсичных продуктов деструкции ПВХ. Помимо перечисленных свойств, ПВХ обладает высокой влаго- и кислородонепроницаемостью, стойкостью ко многим химикатам, что делает его весьма перспективным материалом для создания композиций, используемых в производстве транспортной тары.

Полистирол — ПС (ОСТ 6-05-406-80). Для упаковывания большей части молочных продуктов (простокваши, сливок, творога) используется в основном ПС. Он не обладает такими высокими защитными характеристиками, как полиолефины или ПВХ, однако является жестким материалом, поэтому получаемые из него изделия отличаются достаточно высокой механической прочностью и точностью размеров. ПС из всех термопластов обладает самой малой усадкой, плотность его составляет около  $1100 \text{ кг/м}^3$ . Для повышения непроницаемости упаковки из ПС его покрывают защитными слоями из других полимеров. Основными методами производства упаковки из ПС, как и для ПВХ, являются термоформование из листовых заготовок и раздувное формование. В последние годы было доказано отсутствие канцерогенных свойств как у мономера — стирола, так и у самого полимера. При обеспечении содержания мономера в полимере в концентрациях, не превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК), определяемые санитарными нормами, полистирол не представляет опасности для здоровья человека и может использоваться для изготовления тары. Для продовольственных упаковок из полимерных материалов установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) миграции остаточного мономера в пищевые продукты. Для стирола общая миграция не должна превышать  $60 \text{ мг/кг}$  продукта, что соответствует значению ПДК, равному  $10 \text{ мг/дм}^2$  поверхности упаковки. На практике величина миграции стирола при  $40^\circ\text{C}$  за время контакта, равное 10 суткам, составляет  $0,05\text{--}2 \text{ мг/кг}$  продукта, что значительно меньше допустимой нормы. Существуют нормы и для остаточного содержания стирола в материале упаковки, которое не должно превышать  $0,1\%$ . При переработке ПС в экстремальных условиях возможна деполимеризация и образование мономера, содержание которого в таких случаях также не должно превышать допустимого предела, т. е.  $0,1\%$ . Существенным недостатком ПС является его повышенная хрупкость и низкая ударная прочность, что не позволяет использовать этот полимер в чистом виде для производства тары. Различные приемы модификации позволяют в значительной мере устранять его недос-

татки и получать композиции на основе ПС с комплексом свойств, отвечающим требованиям к тароупаковочным материалам (например, ударопрочный полистирол).

Полиамиды — ПА (ГОСТ 10589-73, ТУ 6-05-988-78, ОСТ 6-06-369-74). Благодаря своим свойствам — высокой механической прочности, хорошим антифрикционным характеристикам, виброустойчивости, стойкости к ударным нагрузкам — полиамиды вошли в число традиционных конструкционных материалов. ПА обладают прекрасной стойкостью к действию органических растворителей, масел, легко перерабатываются в детали сложной конфигурации современными высокопроизводительными способами, главным образом литьем под давлением. В отличие от полиолефинов, ПВХ и ПС, полиамиды получают методом поликонденсации. Они являются кристаллическими полимерами, в которых соотношение кристаллической и аморфной фаз зависит от условий переработки, режима термообработки, содержания влаги и специальных добавок, способствующих кристаллизации. Степень кристалличности ПА колеблется от 40 до 80%. В России наиболее распространенными марками полиамидов являются П-6, П-610, П-66, П-12, капролон, а также фенилон. Из всех ПА наибольшей твердостью, жесткостью и стойкостью к истиранию обладает алифатический полиамид П-66 и ароматический полиамид — фенилон; П-610 по сравнению с П-6 и П-66 обладает пониженным водопоглощением и применяется для изготовления изделий с высокой термостабильностью; П-12 характеризуется наименьшим водопоглощением среди алифатических ПА, по ударной прочности и эластичности он превосходит П-6 и П-66, однако несколько уступает фенилону по водопоглощению и значительно — по прочностным показателям. Существенным недостатком ПА является их способность к водопоглощению, вследствие чего требуется тщательная подсушка гранул перед переработкой; подсушка осуществляется в бункере литьевой машины горячим воздухом. Другим существенным недостатком полиамидов, особенно таких широко используемых марок, как П-6 и П-66, является

высокая текучесть и низкая вязкость расплава. Поэтому при литье ПА применяются самозапирающиеся сопла с пружиной, использование которых повышает надежность работы литьевой машины и обеспечивает хорошее качество изделий при литье низковязких расплавов. Изделия для полиамидов характеризуются невысокой износостойкостью. Для производства тары применяются в основном марки П-610 и П-66, которые перерабатываются литьем под давлением.

Поликарбонаты — ПК (ТУ 6-05-1668-80, ТУ 6-05-211-75). Поликарбонаты, как и полиамиды, относятся к поликонденсационным термопластам. В промышленном масштабе находит применение ПК на основе дифенилолпропана (дифлон) вследствие ценности его свойств и сравнительной доступности исходного сырья. Поликарбонаты обладают рядом ценных для изготовления тары и упаковки свойств: высокой механической прочностью и износостойкостью при большой относительной влажности воздуха, высокой степенью прозрачности и гладкости поверхности. Светопропускание ПК составляет 90% и оно не изменяется под воздействием погодных условий. Это свойство ПК очень важно для упаковки продуктов в потребительскую тару, а также в крупногабаритную тару при ее транспортировке. Полимер коррозионно-стоек и нетоксичен. Он допущен для контакта с пищевыми продуктами и изготовления медицинского инструментария. По горючести ПК классифицируется как «негорючий» или «самозатухающий». Дифлон довольно стоек к действию некоторых неорганических и органических продуктов: солей, кислот, растворителей (гептана, керосина, бензина, масла МС-20), а также поверхностно-активных веществ при обычной температуре. При повышенных температурах снижаются его деформационно-прочностные характеристики. В бензоле и дихлорэтаноле полимер растворяется, а в четыреххлористом углероде и ацетоне он набухает и резко снижаются его эксплуатационные показатели. Поликарбонат сохраняет свои эксплуатационные характеристики в диапазоне температур от  $-70$  до  $+120^{\circ}\text{C}$ . Однако он характеризуется относительно высокой проницаемостью по



отношению к влаге и водяному пару. Заметный гидролиз дифлона в воде наблюдается при температуре выше 70°C. При температурах ниже 50°C гидролиз практически отсутствует, однако и при этих условиях в результате анизотропного набухания, характерного для литевых изделий из ПК, долговечность дифлона значительно ниже, чем на воздухе. В сильнощелочной среде дифлон вообще нельзя использовать. Качество изделий из ПК определяется наличием в нем влаги. Максимальное водопоглощение поликарбоната, погруженного в воду, не превышает 0,4%, при выдержке на воздухе — 0,2%. Однако уже малейшие следы влаги (более 0,01%) вызывают деструкцию полимеров в расплаве, поэтому для получения высококачественных и надежных в эксплуатации изделий требуется тщательная сушка материала перед его переработкой (от 2 до 20 часов при 120°C в зависимости от влажности материала). Поскольку сухой полимер быстро адсорбирует влагу из воздуха, содержание которой перед переработкой не должно превышать 0,02%, рекомендуется сохранять его перед загрузкой в горячем состоянии. Загрузку желательно производить в обогреваемый бункер экструдера или литевой машины. В расплавленном состоянии при температурах до 300°C в отсутствие влаги поликарбонат стабилен в течение длительного времени. Прекрасные технологические и эксплуатационные свойства ПК обуславливают его широкое применение во многих отраслях народного хозяйства. До недавнего времени использование ПК как тароупаковочного материала сдерживалось стоимостью полимера. Однако в последнее время была показана целесообразность его использования для изготовления литьем под давлением хладообменников вместимостью 22 л для чистой воды, молочных бутылок и другой тары. Литевые изделия из ПК характеризуются многократностью использования, при этом стоимость единицы упаковки становится сопоставимой со стоимостью единицы упаковки из наиболее распространенных полимерных материалов. По этой причине в последние годы наблюдается рост использования ПК для изготовления тары и

упаковки, особенно в США, где его потребление для этих целей составляет уже 15%.

Полиэтилентерефталат — ПЭТФ (ТУ 6-05-830-76). ПЭТФ, называемый лавсаном, нерастворим в обычных органических растворителях и является химически стойким полимером. Основной способ переработки ПЭТФ — экструзия. Этим способом получают главным образом пленки. Полиэтилентерефталатные пленки характеризуются высокой механической прочностью (в 10 раз выше прочности полиэтиленовой пленки), стойкостью к действию влаги, малой разнотолщинностью и хорошими диэлектрическими свойствами в широком интервале температур (от  $-20$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ ). Пленку можно использовать до  $175^{\circ}\text{C}$ . Благодаря высокой прозрачности (пропускают до 90% видимого спектра) пленки из ПЭТФ применяют в парниках, оранжереях и промышленных сооружениях взамен стекла. Сравнительно недавно лавсан стали применять для производства бутылочной тары методом раздува и термоформования. Основным преимуществом лавсановых бутылок перед стеклянными является значительное снижение массы при сохранении защитных свойств (ПЭТФ практически непроницаем для газов —  $\text{CO}_2$  и др.). Масса бутылки емкостью 1,5 л из ПЭТФ составляет 62–65 г, а стеклянной бутылки емкостью 1 л — 650 г. В настоящее время промышленностью осуществляется массовый выпуск лавсановых бутылок емкостью от 0,2 до 3 л литьем под давлением преформ с их последующим раздувом в изделие. Перспективным направлением является производство крупногабаритной тары из ПЭТФ, например бочек для рыбной продукции, раздувным формованием. Ограничением при переработке ПЭТФ является относительно низкая вязкость расплава. Сдерживающим фактором для массового внедрения лавсановых упаковок является довольно высокая стоимость полимерного сырья и значительные капиталовложения на перерабатывающее оборудование.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зелке, С.* Пластиковая упаковка: производство, применение, свойства / С. Зелке, Д. Кутлер, Р. Харнандес. — СПб. : Профессия, 2011. — 560 с.
2. *Брукс, Д.* Производство упаковки из ПЭТ / Д. Брукс, Д. А. Джайлс. — СПб. : Профессия, 2010. — 400 с.
3. *Кирван, М.* Упаковка на основе бумаги и картона. — СПб. : Профессия, 2008. — 480 с.
4. *Ханлон, Дж. Ф.* Упаковка и тара: проектирование, технологии, применение / Дж. Ф. Ханлон, Р. Дж. Келси, Х. Е. Форсино. — СПб. : Профессия, 2004. — 630 с.
5. *Натти, С.* Технологические расчеты в переработке пластмасс. Практические расчеты и обучение / С. Натти, Р. Скотт Ник. — СПб. : Профессия, 2013. — 280 с.
6. *Шварц, О.* Переработка пластмасс / О. Шварц, Ф. В. Эбеллинг, Б. Фурт. — СПб. : Профессия, 2008. — 320 с.
7. *Абдель-Бари, Е. М.* Полимерные пленки / Е. М. Абдель-Бари. — СПб. : Профессия, 2010. — 352 с.
8. *Солтыс, Е. С.* Выдувное формование. — СПб. : Профессия, 2011. — 336 с.
9. *Шерышев, М. А.* Пневмо-вакуумформование. — СПб. : Профессия, 2010. — 192 с.
10. *Шварцманн, П.* Термоформование. Практическое руководство / П. Шварцманн, А. Иллиг. — СПб. : Профессия, 2006. — 288 с.
11. *Крыжановский, В. К.* Инженерный выбор и идентификация пластмасс. — СПб. : НОТ, 2009. — 204 с.
12. *Шерышев, М. А.* Производство изделий из полимерных листов и пленок. — СПб. : НОТ, 2011. — 556 с.
13. *Гуль, В. Е.* Упаковка продуктов питания : учеб. пособие / сост. В. Е. Гуль, Е. Г. Любешкина, Т. И. Аксенова [и др.]. — М. : МГАПБ, 1996. — 84 с.
14. *Бристон, Дж. Х.* Полимерные плёнки / Дж. Х. Бристон, Л. Л. Катан ; пер. с англ. — М. : Химия, 1993.

15. *Калинчев, Э. Л.* Выбор пластмасс для изготовления и эксплуатации изделий : справочник / Э. Л. Калинчев, М. Б. Саковцева. — Л. : Химия, 1987. — 416 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
РАЗДЕЛ I. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНОЙ УПАКОВКИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ .....	5
1. Литьевое (инжекционное) формование. ....	5
2. Экструзионно-раздувное формование. ....	7
3. Инжекционно-раздувное формование. ....	15
4. Термоформование изделий из плоских заготовок. ....	20
4.1. Основные методы термоформования. ....	20
4.2. Оборудование, используемое для процессов термоформования. ....	23
4.3. Основные технологические параметры процессов термоформования. ....	26
5. Производство полимерных пленок. ....	40
5.1. Линии для производства рукавных плёнок. ....	40
5.2. Линии для производства плоских пленок. ....	48
РАЗДЕЛ II. МАТЕРИАЛЫ, ЭКОЛОГИЯ И ДРУГИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ТАРЫ И УПАКОВКИ. ....	50
6. Материалы, используемые для производства полимерной упаковки .....	50
6.1. Идентификация полимерного сырья, из которого изготовлены жесткие виды тары и упаковки. ....	52
6.2. Идентификация полимерных пленок. ....	53
7. Экологические аспекты использования полимерной упаковки. ....	63
7.1. Способы решения экологической проблемы использования полимерной упаковки. ....	63
7.2. Способы обращения с отходами производства и использования полимерной упаковки. ....	64
8. Компьютерные технологии в производстве полимерной тары и упаковки .....	70
9. Санитарно-гигиенические требования, предъявляемые к полимерным упаковкам. ....	79

Приложения .....	89
П1. Классификация тары и упаковки .....	89
П2. Раздувная потребительская тара и упаковка .....	90
П3. Потребительская упаковка из пленочных материалов .....	92
П4. Основные типы литевой потребительской тары и упаковки.....	93
П5. Укупорочные средства для полимерной тары и упаковки.....	96
П6. Дополнительные сведения о полимерных материалах, используемых при производстве тароупаковочных средств.	97
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	106

*Игорь Викторович СКОПИНЦЕВ*  
**ПРОИЗВОДСТВО ТАРЫ И УПАКОВКИ  
ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Учебное пособие*

Зав. редакцией  
естественнонаучной литературы *М. В. Рудкевич*  
Ответственный редактор *С. В. Макаров*  
Корректор *Т. А. Кошелева*  
Выпускающий *О. В. Шилкова*

ЛР № 065466 от 21.10.97  
Гигиенический сертификат 78.01.10.953.П.1028  
от 14.04.2016 г., выдан ЦГСЭН в СПб

**Издательство «ЛАНЬ»**  
lan@lanbook.ru; www.lanbook.com;  
196105, Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, 1, лит. А.  
Тел.: (812) 412-92-72, 336-25-09.  
Бесплатный звонок по России: 8-800-700-40-71

Подписано в печать 07.05.18.  
Бумага офсетная. Гарнитура Школьная. Формат 84×108<sup>1/32</sup>.  
Печать офсетная. Усл. п. л. 5,88. Тираж 100 экз.

Заказ № 310-18.

Отпечатано в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета  
в АО «Т8 Издательские технологии».  
109316, г. Москва, Волгоградский пр., д. 42, к. 5.