

## Методы изготовления полимерной упаковки для пищевых продуктов (обзор)

### Methods of manufacturing polymer packaging for foodstuffs (overview)

И.Ю. УХАРЦЕВА<sup>2</sup>, Е.А. ЦВЕТКОВА<sup>1</sup>, В.А. ГОЛЬДАДЕ<sup>1,3</sup>

I.YU. UKHARTSEVA<sup>2</sup>, E.A. TSVETKOVA<sup>1</sup>, V.A. GOLDADE<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> ГНУ Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Беларусь

<sup>2</sup> УО «Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации», Гомель, Беларусь

<sup>3</sup> УО «Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины», Гомель, Беларусь

<sup>1</sup> V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of NAS of Belarus, Gomel, Belarus

<sup>2</sup> Belarusian Trade and Economic University of Consumer Cooperation, Gomel, Belarus

<sup>3</sup> Francisk Scorina Gomel State University, Gomel, Belarus

tsvetkova@tut.by

Представлен краткий обзор основных методов, схем и оборудования для изготовления полимерной упаковки для пищевых продуктов, отмечены их преимущества и недостатки. Охарактеризованы материалы, используемые при производстве упаковок различного назначения, от однослойных до многослойных и комбинированных.

**Ключевые слова:** полимерная упаковка, экструзия, литье, ламинирование, многослойная пленка, комбинированная упаковка

A brief overview of the main methods, schemes and equipment for production of polymer packaging for food products is presented, their advantages and disadvantages are noted. The materials used in the production of packages for various purposes from single-layer to multi-layer and combined are described.

**Keywords:** polymer packaging, extrusion, casting, lamination, multi-layer film, combined packaging

DOI: 10.35164/0554-2901-2020-7-8-40-48

#### Введение

Полимерная упаковка прочно вошла в нашу жизнь как непреходящий атрибут высокотехнологичного уклада современного общества. Успешное развитие упаковочных полимерных материалов для длительного хранения продуктов питания в пищевой промышленности обусловлено доступностью полимеров, а их производство — сравнительно недорогими и высокоэффективными технологиями. По мере появления новейших разработок в области упаковывания продуктов питания пищевая промышленность выходит на новый качественный уровень.

Производство и потребление полимерной упаковки растет высокими темпами, и связано это с рядом ее серьезных преимуществ, таких как:

- прочность (тара, сделанная из пластмассы, ударопрочная, что обеспечивает надежное хранение и перевозку);
- влагостойкость (в отличие от бумаги и картона она не боится воды);
- легкость (что существенно снижает стоимость транспортировки грузов в полимерной упаковке);
- высокая технологичность (изготовление такой упаковки гораздо экономичнее, чем выпуск тары из других материалов).

Однако у этого вида упаковки имеются и некоторые недостатки:

- старение под действием кислорода воздуха, агрессивных сред, солнечного света (фотостарение);
- появление постороннего запаха у продукции от некоторых видов упаковок;
- возможность миграции органических соединений в продукт (например, из ПВХ, полистирола и др.).

Все эти недостатки достаточно легко преодолеваются путем использования специальных технологических приемов. Но одна проблема, возникшая в нынешнем столетии, требует особого внимания, это — экологическая безопасность.

Подсчитано, что 36% пластиков, производимых в мире, — одноразовая упаковка, и 96% такой упаковки отправляется на свалку уже в первый год своей жизни. На западе большая часть полимерных

отходов подвергается переработке, а полученное в ее результате сырье используется в процессе производства новых упаковочных материалов. Этот замкнутый цикл позволяет снизить загрязнение окружающей среды, существенно уменьшить площадь свалок. По своим свойствам качественно переработанные полимеры немногим уступают первичному сырью, при этом они существенно дешевле, что, соответственно, снижает и себестоимость выпускаемой продукции [1].

В Евросоюзе с 2021 года вводится запрет на использование одноразовой пластиковой посуды (тарелок, вилок, ножей, соломинок, контейнеров для еды), а также тонких пластиковых пакетов и мешков [2]. Однако, по оценке экспертов, полный запрет на использование гибкой полимерной упаковки (включая пакеты и пленки) не приведет к благоприятным экологическим, экономическим и социальным последствиям [3]. Так, например, введение в России запрета на полимерную упаковку приведет к росту цен на мясо и рыбу, молочные продукты, бакалею и хлебобулочные изделия [4].

В Беларуси на законодательном уровне планируется ввести ограничение на производство и использование одноразовой посуды и упаковки. Беларусь вышла с предложением при рассмотрении технических регламентов в Евразийском экономическом союзе запретить использование одноразовой упаковки из перерабатываемых материалов — полимерных пленок. Сейчас это предложение обсуждается [5]. Правительство Беларуси готовит пакет документов, нацеленных на замещение полимерной тары экологичной упаковкой. Однако процесс этот, судя по всему, по экономическим причинам затянется на годы, хотя по отдельным видам упаковки возможны и революционные изменения [6].

Все вышесказанное свидетельствует о том, что производство и потребление полимерной упаковки еще на многие годы сохранится в пищевой и перерабатывающей промышленности. Поэтому в настоящем обзоре рассмотрены основные современные методы, схемы и оборудование, применяемые при изготовлении полимерной упаковки для пищевых продуктов.

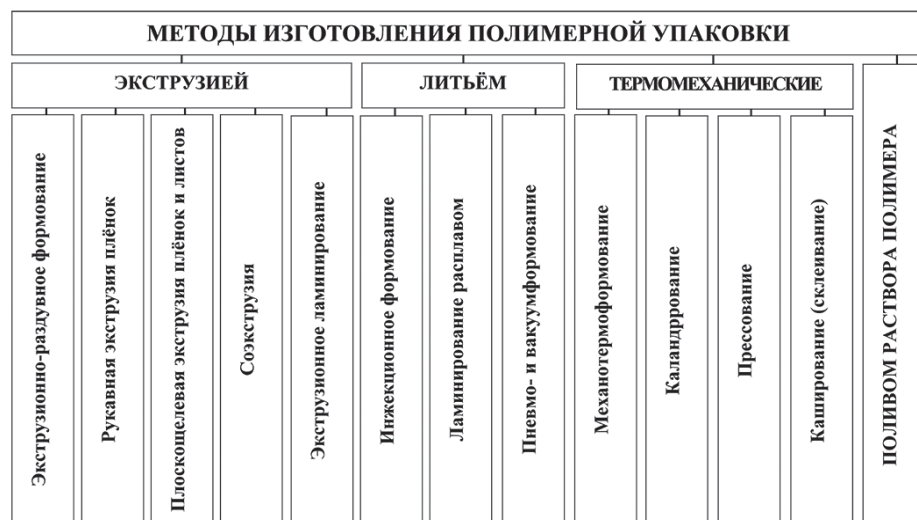


Рис. 1. Классификация методов изготовления полимерной тары и упаковки.

Широкая номенклатура полимерных (и композиционных на основе полимеров) материалов предполагает возможность реализации многочисленных технологических методов получения упаковочных материалов с различными структурой, свойствами и назначением. На рис. 1 представлена классификация основных технологических методов производства тары и упаковки для пищевых продуктов (данные для рисунка взяты из различных источников [7–9]).

#### Базовые технологии изготовления полимерных пленок

К традиционным промышленным способам изготовления полимерных пленок относятся: формование из расплавов – экструзия, каландрование, прессование, а также полив из растворов и латексов полимеров [10, 11].

Метод экструзии наиболее распространен в производстве пленок из термопластов. Условием его реализации является устойчивость полимерного материала к термоокислительной деструкции при переходе в вязко-текучее состояние. Пленки получают с помощью экструдеров, снабженных головками с кольцевой или плоской щелями.

Различают два основных метода экструзии пленки: экструзия с раздувом рукава (рукавная экструзия) и плоскощелевая экструзия. Первый метод позволяет получить пленочный рукав, который может быть сложен или разрезан, а по второму методу получают плоскую пленку. Агрегат для экструзии пленки включает в себя экструдер, снабженный соответствующей головкой (фильерой), узел охлаждения расплавленной пленки, тянущий механизм и наматывающее устройство. Для разных методов экструзии используют различные конструкции экструзионных головок и типы охлаждения пленки.

Метод рукавной экструзии состоит в выдавливании полимерного расплава в виде рукавной заготовки через кольцевую щель экструзионной головки, пневматическом раздуве рукава, его складывании и отводе в вертикальном или горизонтальном направлениях (рис. 2). Этот метод прост и экономичен, он позволяет получать двухосно-ориентированные пленки с хорошими физико-механическими характеристиками, а также пригоден для изготовления многослойных пленочных материалов созекструзией [12].

Экструзия рукавных пленок – весьма сложный процесс, с которым связано множество проблем при производстве пленки высокого качества. Производство пленки становится более экономичным при увеличении производительности процесса. Однако лимитирующим фактором здесь является скорость охлаждения рукава. При увеличении скорости экструзии линия стеклования полимера поднимается вверх, что ведет, в свою очередь, к нестабильности рукава. Увеличение потока охлаждающего воздуха позволяет снизить высоту линии стеклования, но и этот прием ограничен в своем применении, так как слишком высокая скорость потока воздуха, подаваемого на охлаждение, вызывает деформацию рукава. Среди возможных дефектов можно назвать, прежде всего, разнотолщинность (которая приводит к неравномерной вытяжке пленки тянущими валами), поверхностные дефекты (такие как огрубление поверхности экструдата, вызванное либо недостаточным прогревом материала, либо слишком интенсивным сдвиговым течением

полимера в зоне формирующей щели головки экструдера), а также мутность и складки. Пульсации при работе экструдера, сквозняки в области вытяжки, непараллельность тянущего и прижимного валов, неравномерное усилие прижима прижимного вала к тянущему валу также приводят к появлению нежелательных эффектов [13].

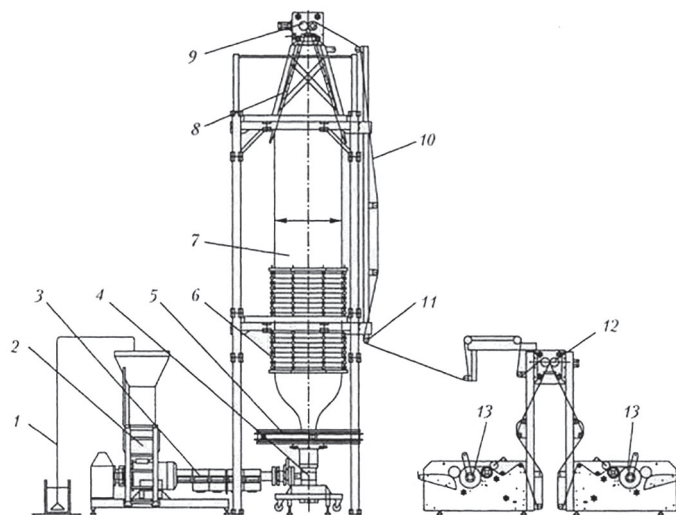


Рис. 2. Технологическая схема установки для производства пленки рукавным методом с приемкой рукава вверх: 1 – пневмозагрузчик; 2 – бункер; 3 – экструдер; 4 – формирующая головка; 5 – охлаждающее устройство; 6 – кольцевой бандаж; 7 – рукав пленки; 8 – складывающие щетки; 9 – тянущее устройство; 10 – полотно пленки; 11 – центрирующие валки; 12 – режущее устройство; 13 – намотчик [12].

Метод плоскощелевой экструзии предусматривает резкое охлаждение расплава, выходящего через отверстие головки, на холодных валках или с помощью водяной бани. Этим методом перерабатывают в пленки преимущественно кристаллические полимеры. Его применяют для получения с высокой производительностью изотропных высокопрозрачных и равнотолщинных пленок. Одно- и двухосное растяжение пленок требует применения специальных устройств. Плоскощелевая экструзия является удобным способом формирования многослойных и комбинированных пленочных материалов.

Процесс производства пленки щелевым методом состоит из следующих технологических операций: плавление гранул и гомогенизация расплава; формование полотна; охлаждение пленки; ориентация пленки; намотка и упаковка пленки. Кроме перечисленных операций, может проводиться также предварительная обработка сырья (сушка, окрашивание, подогрев гранул) перед загрузкой его в бункер экструдера [14, 15].

Существуют две основные технологические схемы плоскощелевой экструзии: с охлаждением пленки на воздухе (рис. 3) и с охлаждением пленки в воде (рис. 4).

Недостатками метода являются невозможность изготовления пленок большой ширины и наличие большого количества отходов из-за обрезки утолщенных краев полотна.

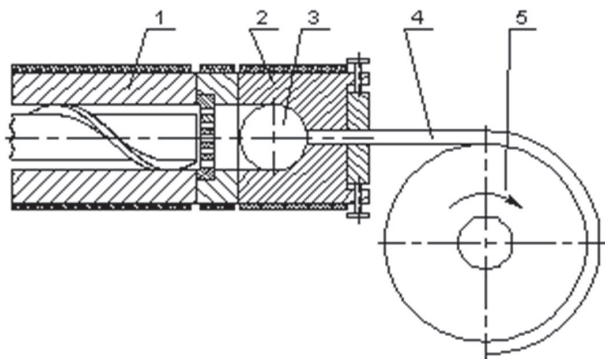


Рис. 3. Схема плоскощелевой экструзии с охлаждением пленки на воздухе: 1 – экструдер; 2 – плоскощелевая головка; 3 – коллектор расплава; 4 – пленочный лист; 5 – охлаждаемый барабан [14].

Плоскощелевая экструзия является удобным способом формирования многослойных и комбинированных пленочных материалов.

Развитие экструзионных методов идет по направлениям совершенствования оборудования и оснастки; разработки новых композиций с улучшенными технологическими и эксплуатационными свойствами; совершенствования методов контроля и управления.

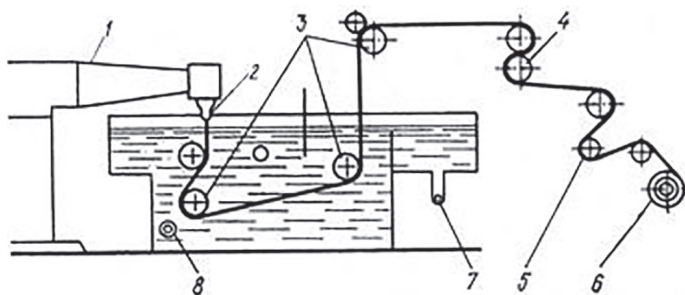


Рис. 4. Схема плоскощелевой экструзии с охлаждением пленки в воде: 1 – загрузочный бункер с гранулами ПЭТФ; 2 – экструдер с плоскощелевой головкой; 3, 4, 5 – система тянущих и направляющих валков; 6 – намоточное устройство; 7, 8 – патрубки подачи и отвода воды [14].

**Каландрование** – метод изготовления пленок путем непрерывного продавливания термопластичного материала через зазор между вальками каландра [16]. Пластичная масса поступает в щель между двумя «питающими» вальками и формируется в пленочную заготовку, которую затем калибруют, пропуская через остальные обогреваемые вальки каландра. Толщину пленки определяет зазор, характерный для последней пары валков, а качество ее поверхности (блестящая, матовая, структурированная) – контактирование с подвешенной соответствующей обработке поверхностью последнего валька. После выхода из каландра пленочный материал поступает на охлаждающие вальки и сматывающее устройство.

Формование на каландре протекает в переходной области между высокоэластическим и вязкотекучим состояниями полимера. Этим методом перерабатывают термопластичные материалы, обладающие широким температурным интервалом текучести и достаточной вязкостью расплава (например, ПВХ). В этом случае каландрование обеспечивает получение однородной, гладкой и равнотолщинной пленки, которая снимается с валков каландра без разрушения и растягивания [17].

Каландрование – энергоемкий процесс, требующий больших затрат энергии для продавливания пластической массы в зазор между вальками, а также для создания высоких температур и давлений. Тем не менее, каландрованные пленки по качеству лучше, чем экструзионные.

**Прессование** используют для получения однослойных и комбинированных пленок. Заготовки пленок из порошковых полимерных композиций прессуют или вальцуют без нагревания, а затем спекают в печи. Прессованием с нагревом формируют, главным образом, комбинированные пленочные материалы. Метод прессования имеет ограниченное применение в производстве упаковки для пищевых продуктов из-за его низкой производительности и невысокого качества получаемых пленочных материалов.

**Полив растворов полимеров на поверхность пленкообразующей подложки** – старейшая промышленная технология получения полимерных пленок. Она до сих пор не утратила своего значения для

полимеров, температура вязкого течения которых находится ниже температуры термодеструкции (эфир целлюлозы, поливиниловый спирт, некоторые полиамиды и др.). Основными операциями этой технологии являются приготовление раствора полимера, его фильтрование, полив на гладкую поверхность движущейся бесконечной ленты или вращающегося барабана, формование пленки, сушка и обрезка. Формование происходит в процессе испарения летучего растворителя, коагуляции или химического превращения пленкообразующего полимера. Этим способом получают большинство промышленных целлофановых листов и фотографических пленок.

Типовая схема технологического процесса изготовления однослойной пленки поливом раствора пленкообразующего полимера показана на рис. 5.

Раствор полимера подают из щелевой головки 1 на движущуюся с постоянной скоростью бесконечную ленту 2, поверхность которой характеризуется малой адгезией к полимеру. Сформованную на ленте пленку подсушивают с помощью инфракрасных излучателей 3. Окончательное отвердевание и высушивание пленки происходит при ее контактировании с охлаждающими барабанами 4. Затем пленочное полотно центруют, обрезают его кромки с помощью устройства 5 и сматывают готовую пленку в рулон 6.

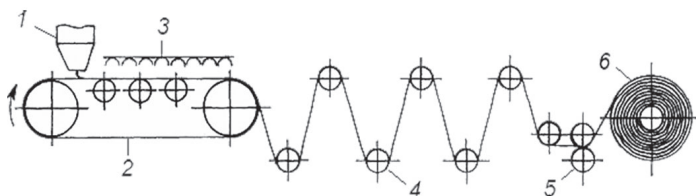


Рис. 5. Схема установки для изготовления полимерной пленки методом полива раствора полимера. Пояснения в тексте [17].

Метод изготовления пленок поливом из растворов полимеров достаточно производителен, но дорогостоящ и неэкологичен из-за необходимости использования огнеопасных и токсичных органических растворителей, рекуперация которых представляет собой отдельную технологическую операцию. Вместе с тем он обеспечивает «мягкий» температурный режим формования пленок и позволяет модифицировать их компонентами с низкой термической стойкостью.

Исходным материалом для получения пленок поливом могут служить полимерные пасты – пластизоли. Пленкообразование происходит в результате коагуляции золя и гелеобразования. Гель имеет значительные остаточные напряжения, которые уменьшают путем термообработки.

Технология получения пленок поливом полимерных латексов практически не отличается от описанной выше. Латексы – это водные коллоидные дисперсии полимеров. Размеры частиц дисперсной фазы могут изменяться от  $10-10^3$  нм (в тонкодисперсных) до 2–3 мкм – в грубодисперсных латексах [18]. С позиций экологии и ресурсосбережения использование латексов при формовании пленок методом полива предпочтительнее, чем растворов полимеров.

#### Специфические методы изготовления полимерной упаковки

**Метод литьевого (инжекционного) формования** заключается в том, что исходный полимерный материал в виде гранул или порошка загружают в бункер литьевой машины, где он захватывается шнеком и транспортируется им вдоль оси обогреваемого цилиндра в его сопловую часть, переходя при этом из твердого состояния в состояние расплава. По мере накопления необходимого объема расплава полимера он впрыскивается за счет поступательного перемещения шнека через специальное сопло в сомкнутую охлаждаемую литьевую форму. Заполнивший полость формы расплав полимера удерживается в ней какое-то время под давлением и остывает. Далее литьевая форма раскрывается, готовое изделие удаляется из ее полости, а цикл формования повторяется. Для данной группы методов формования изделий характерны признаки как прессования, так и литья под давлением.

Преимущество метода по сравнению с другими методами формования изделий из полимеров состоит в высокой производительности, высоком уровне механизации и автоматизации реализуемого процесса, отсутствии этапа получения заготовки для формования



изделий, небольшом количестве отходов, возможности 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.

При *экструзионно-раздувном формовании* осуществляют пластификацию исходного полимерного материала в виде гранул или порошка вращающимся шнеком экструдера в его обогреваемом цилиндре с продавливанием через кольцевую экструзионную головку. Затем материал в виде рукавной заготовки попадает в пространство между разомкнутыми половинами охлаждаемой раздувной формы. По достижении заготовкой определенной длины полуформы смыкаются с захватом заготовки и последующим раздуванием сжатим газом, подаваемым в полость заготовки через раздувной ниппель. После охлаждения раздувные формы размыкаются, и готовое полое изделие снимают с раздувного ниппеля.

Преимуществами метода являются простота технологии и возможность полной автоматизации процесса формования, высокая производительность в сочетании с возможностью совмещения производства упаковки в одном потоке с производством упаковываемой продукции, ее расфасовкой, укупоркой, этикетированием и т.п., относительно невысокая стоимость технологического оборудования и формирующего инструмента.

Реализация метода экструзионно-раздувного формования протекает в два этапа, что является его недостатком, поскольку требует наличия двух типов формирующего инструмента (экструзионной головки для получения заготовки и раздувной формы). К недостаткам также можно отнести значительную разнотолщинность получаемых изделий и наличие технологических отходов. Этот метод применяют для производства выдувных полых изделий (банки, бутылки, канистры) и т.п.

На первой стадии процесса *инжекционно-раздувного формования* методом литьевого формования получают трубчатую заготовку (преформу), которую затем раздувают в полое изделие. Процесс можно осуществлять по двум технологическим схемам. Первая предусматривает раздувное формование полученных заготовок сразу, после стадии литьевого формования, по второй схеме – стадии получения заготовок и их раздувного формования в изделия осуществляются отдельно друг от друга.

Преимущество метода состоит в высокой степени механизации, автоматизации и производительности оборудования. Линии для раздувного формования полых изделий из инъекционных заготовок, выпускаемые фирмами Sidel firms (France), Krupp-Kau-teks (Germany), позволяют производить от нескольких сотен до нескольких десятков тысяч изделий в час.

К недостаткам метода можно отнести высокую стоимость основного технологического оборудования и формирующего инструмента, разнотолщинность производимых изделий, а также промышленное использование лишь одного материала – полиэтилентерефталата [9].

*Метод пневмо- и вакуумформования* полимерных изделий состоит в том, что закрепленная по контуру в зажимном устройстве и установленная над формирующей матрицей листовая или пленочная заготовка разогревается нагревательным устройством до определенной температуры, а затем под действием перепада давления, создаваемого между поверхностями заготовки, происходит ее формирование в изделие. Известно много разновидностей данного метода, в которых перепад давлений обеспечивается различными способами. Наибольшее распространение получили два из них: создание избыточного пневматического давления над заготовкой и вакуумирование объема полости под ней. Метод реализуется на различных типах вакуумформовочных машин, установках для механо-пневмоформования и разного рода нестандартном оборудовании.

Преимущество метода состоит в возможности производства крупногабаритных изделий, простоте технологии, относительно невысокой стоимости основного оборудования и формирующего инструмента.

Недостатками являются невысокая производительность, наличие вспомогательных технологических операций (раскрой и вырезка заготовок для формования, механическая обработка готовых

изделий), зависимость от наличия исходных заготовок и достаточно большое количество технологических отходов [9].

Метод *механотермоформования* отличается от метода пневмо- и вакуумформования только тем, что формирование изделия из плоской заготовки осуществляется за счет поступательного перемещения формирующего пуансона, вытягивающего предварительно нагретую устройством заготовку, закрепленную в зажимном устройстве. В качестве оборудования применяют вакуумформовочные машины, специальное штамповочное оборудование и линии производства изделий из рулонных материалов, обладающие высокой производительностью, что обеспечивает конкурентоспособность этого метода по отношению к литьевому формованию.

Недостатки метода обусловлены зависимостью от наличия листового или рулонного материала, относительно большим количеством отходов и разнотолщинностью получаемых изделий. Метод применяют для производства коробок, стаканчиков, лотков, корексов и др.

Новейшие технологии упаковки пищевых продуктов, в том числе вакуумная упаковка в модифицированной атмосфере или асептическая упаковка, требуют разработки упаковочных материалов, обладающих высокой барьерностью, устойчивостью сварных швов к повышенной температуре при тепловой обработке продуктов, возможности нанесения печати, различных покрытий, ламинирования, металлизации, соэкструзии.

Улучшение свойств упаковочных материалов связано с требованиями обеспечения высокого качества упаковываемых продуктов, увеличения срока их годности, расширения ассортимента для повышения конкурентоспособности на рынке [19].

Для улучшения барьерных свойств материалов за счет образования сложной структуры и получения более красочной и информативной упаковки применяют *ламинирование*. Ламинирование заключается в соединении пленочных материалов на вальковом оборудовании, когда на первую пленку-основу наносят расплавленную пленку и дублируют со вторым пленочным материалом через вальцы или каландр [20]. На рис. 6 представлена принципиальная схема получения двухслойных упаковочных материалов методом экструзионного ламинирования. Например, путем ламинирования нескольких слоев пластика и фольги получают пакеты типа дой-пак.

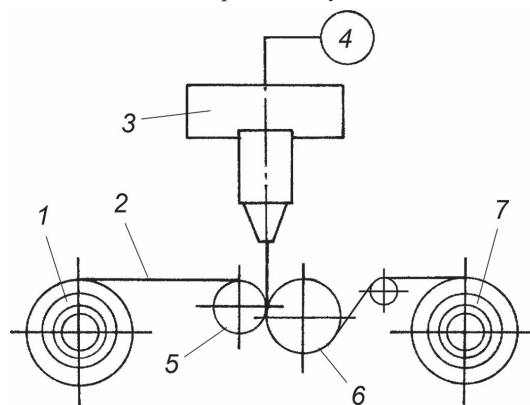


Рис. 6. Схема получения двухслойных пленочных материалов методом экструзионного ламинирования: 1 – размоточное устройство; 2 – пленка-основа; 3 – экструдер с шнековой головкой; 4 – полимерная композиция; 5 – прижимной валик; 6 – охлаждающий валик; 7 – намоточное устройство [20].

К основным способам ламинирования относят «сухую», «мокрую» и бессольвентную ламинацию [21]. В системе «сухого» ламинирования (рис. 7) чаще всего используют двухкомпонентные полиуретановые клеи с растворителем. Полимеризация полиуретана начинается после смешивания составных частей, например, полиэфирного с изоциановым, и усиливается во время испарения растворителя в туннельной сушилке. Ускорения полимеризации, а значит, увеличения стойкости соединения слоев ламината, добиваются путем подогрева ламинирующего цилиндра. Технология «сухого» ламинирования с растворителем традиционно используется в производстве ламинатов, являющихся соединением пластмассовых пленок, например: ПА/ПЭВД, ПЭТ/ПЭВД, в том числе в виде металлизированных пленок, а также полимерных пленок с алюминиевой фольгой.

Для упаковки пищевых продуктов метод используется ограниченно из-за возможного недостаточного испарения растворителя и его миграции, а также применения пористых материалов и высоких энергозатрат.

При «мокром» ламинировании (рис. 8) удаление растворителя, например, воды из клея, происходит в туннельной сушилке после соединения слоев. Необходимым условием является применение в качестве одного из слоев бумаги, образующей пористый слой, позволяющий воде испаряться. Для «мокрого» ламинирования используют как крахмальные, так и синтетические клеи. Эту систему применяют чаще всего для ламинирования алюминиевой фольги различными видами бумаги или картона. Двухслойные ламинаты алюминиевой фольги с бумагой обычно используют для последующего экструзионного покрытия ПЭ.

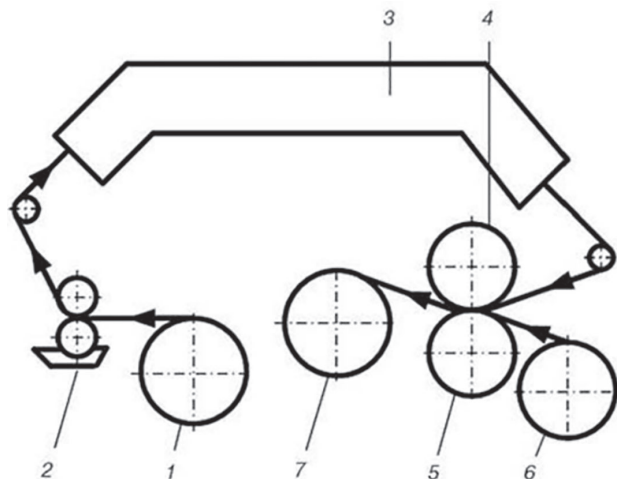


Рис. 7. Схема сухого ламинирования с растворителем: 1 – «несущая» пленка для нанесения клея; 2 – нанесение клея; 3 – туннельная сушилка; 4, 5 – ламинирующие цилиндры; 6 – комплементарная пленка; 7 – готовый ламинат [21].

Отсутствие токсических веществ позволяет использовать этот метод в производстве ламинированной упаковки для пищевой промышленности. К недостаткам метода относят его низкую универсальность и необходимость наличия дополнительной секции размотки фольги [19, 21].

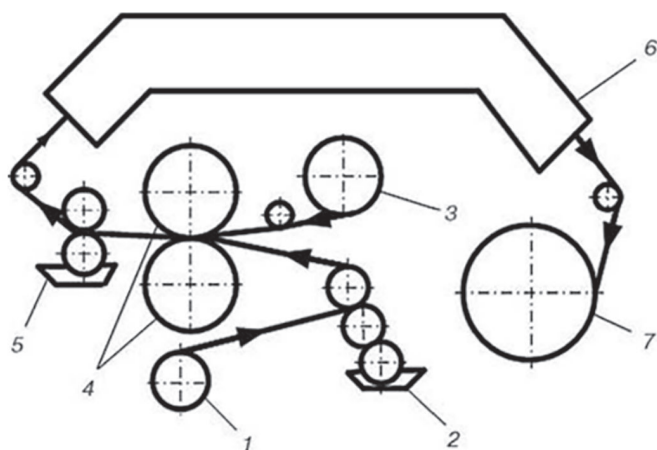


Рис. 8. Схема «мокрого» ламинирования: 1 – исходная пленка; 2 – ванна для нанесения клея; 3 – бумажная лента; 4 – ламинирующие цилиндры; 5 – ванна для нанесения защитного покрытия, например, на алюминиевую фольгу; 6 – туннельная сушилка; 7 – готовый ламинат [21].

**Бессольвентная ламинация**, или ламинирование без растворителя, это самый современный, универсальный и распространенный способ изготовления гибкой упаковки с ламинацией. При этой технологии (рис. 9) одно- или двухкомпонентный клей, чаще всего полиуретановый, наносят в слегка подогретом состоянии равномерно с граматурой слоя около 1 г/м<sup>2</sup>. Стальной вал 1 и обрешиненный вал 2 забирают клей из емкости 8. Вал 2 и стальной вал 3 устанавливают предварительную граматуру слоя клея, а затем вал 3 и обрешиненный вал 4 – точную граматуру. Пленка 9 с нанесенным на нее слоем клея попадает вместе с комплементарной пленкой 10 в систему валов 5–7, в которых происходит ее ламинирование и выход готового продукта 11.

Ламинирование без растворителя отличается высокой производительностью, низкими эксплуатационными расходами, отсутствием миграции растворителя, исключением туннельной сушилки, необходимой как при «мокром», так и при «сухом» способе ламинирования, и существенной экономией энергии. Однако присутствуют необходимость в длительной сушке (до 36 часов) и ограничения по использованию упаковки в условиях высоких температур, например, при стерилизации.

Бессольвентную ламинацию широко применяют при взаимном ламинировании пленки ориентированного полипропилена, в том числе с участием металлизированных пленок. Развитие этой технологии усовершенствовало межслойную печать, отличающуюся эстетическими (видимая сквозь слой пленки печать обладает значительным блеском), функциональными (печатный текст не стирается), а также гигиеническими (отсутствует угроза непосредственного контакта упаковываемого продукта с типографской краской) свойствами [21].

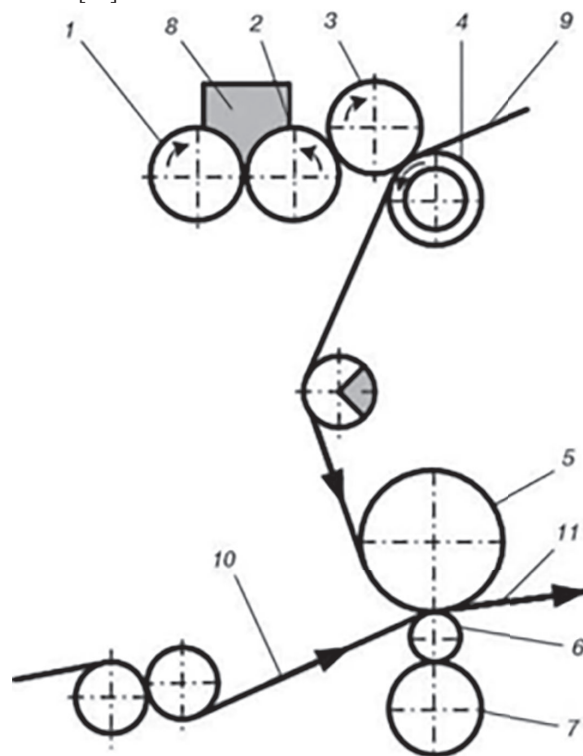


Рис. 9. Схема ламинирования без растворителя (пояснения в тексте) [21].

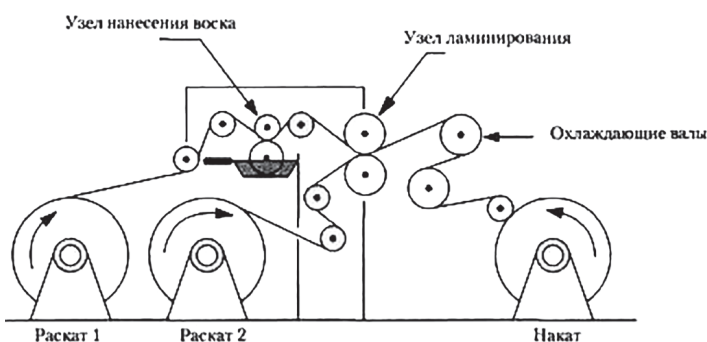


Рис. 10. Схема ламинирования воском [22].

Ламинирование с использованием расплавов осуществляют путем нанесения между соединяемыми слоями расплавленных смесей воска и полимера, обычно сополимера этилена с винилацетатом или соответствующего воска (рис. 10) [22]. Воск используют как адгезивный слой с барьерными свойствами по отношению к воде, водяному пару, газам и запахам. Расплавленную массу с помощью вала наносят на один из слоев, который соединяется с другой лентой материала при использовании сжимающих валов. Эту систему ламинирования применяют, главным образом, для соединения алюминиевой фольги с различными видами бумаги. Например, алюминиевая фольга/воск/жиронепроницаемая бумага (в качестве упаковки для сливочного масла с возможностью нанесения печати и рельефного

тиснения) или алюминиевая фольга/воск/тонкая бумага. Стойкость слоев к отрыву в этой системе значительно ниже по сравнению с прочими системами ламинирования. Этим методом можно получать двух- или трехслойные пленки с использованием одного или двух экструдеров, либо специальных наносных головок.

Ниже приведены примеры ламинатов, используемых для изготовления упаковки [22]: ВОРР + РЕ – для упаковки крупы; ВОРРмет. + ВОРР – для упаковки чипсов, орехов, шоколада; РЕТ + РЕ – для упаковки майонеза, горчицы; ВОРР + РР – для упаковки специй, макарон,пельменей; А1 + бумага – для упаковки маслосодержащих продуктов; РЕ + А1 + РЕ – для упаковки сухого молока, кофе; бумага + А1 + РЕ – для упаковки специй, чая, кофе; РЕ + бумага – для упаковки семян, где ВОРРмет. – металлизированный двухосноориентированный полипропилен; РР – неориентированный полипропилен, РЕ – полиэтилен; РЕТ – полиэтилентерефталат (лавсан); А1 – алюминиевая фольга.

Дублирование пленок между собой и с другими материалами производят также на вальцекаландровых линиях и в прессах.

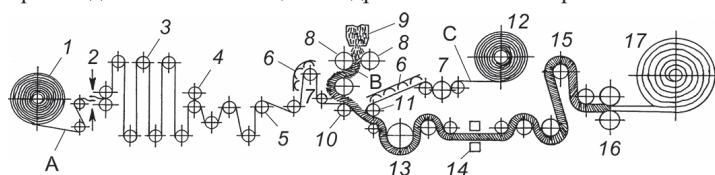


Рис. 11. Схема кашировальной установки для изготовления многослойных и комбинированных пленочных материалов: 1 и 12 – разматывающие устройства; 2 – узел соединения обрывов; 3 – компенсатор; 4 – узел контроля натяжения; 5 – узел центрирования; 6 – инфракрасный нагреватель; 7 – ролик предварительного нагрева; 8 – обогреваемые валы; 9 – дозирующее устройство или экструдер; 10 – обрезающий прессующий ролик; 11 – ролик с нарезной текстурой; 13 – охлаждаемый ролик; 14 – датчик толщины; 15 – узел охлаждения; 16 – устройство для обрезания краев; 17 – узел намотки; А, В и С – слой-компоненты материала [23].

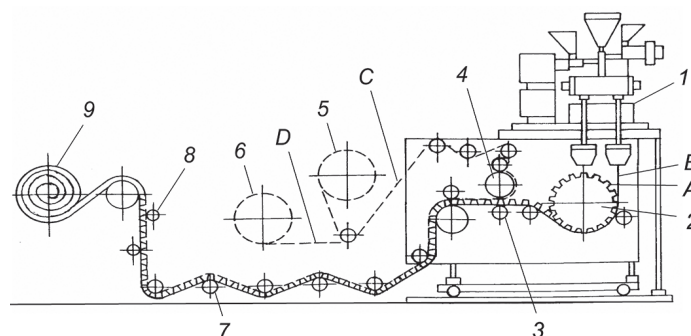


Рис. 12. Схема линии для изготовления air-bubble пленки. Пояснения в тексте.

Методом *каширования* пленки соединяют при помощи клея-раствора или клея-расплава, обычно термопласта, который наносят (намазывают) через специальный наносной валик на поверхность основы (ткани, фольги, бумаги и т.п.) за счет прижимания вальками. Каширование осуществляют на кашировальных установках «мокрым» или «сухим» способом. При «мокрым» способе после нанесения клеевого слоя пленки сразу соединяют, не дожидаясь высыхания клея. Его используют в том случае, если один из слоев является пористым и газопроницаемым, тогда часть растворителя легко испаряется путем диффузии и проницаемости в камере

сушки. В качестве клеев используют водные растворы, латексы, эмульсии. Использование метода нанесения растворов полимеров на основу с последующей сушкой применяют для тех полимеров, которые не могут быть получены в виде пленок через расплав по обычным технологиям. При «сухом» способе после нанесения слоя клея его сначала сушат в ламинаторах, а затем склеиваемые поверхности соединяют. В качестве клея в этом способе используют растворы каучуков или полимерных смол в органических растворителях.

Схема кашировальной установки ВЕМА швейцарской фирмы Interplastica S.A. представлена на рис. 11 [23]. В узле каландрования пленочные материалы А и С, поступающие с разматывающих устройств, соединяются друг с другом. Соединение происходит посредством адгезионного слоя В, который формируют из расплава или раствора с помощью устройства 9 и обогреваемых валов 8. Таким образом можно также получать пленочные материалы, содержащие полимерные слои с функциональными добавками.

Линия итальянской фирмы Colines для изготовления air-bubble пленки (рис. 12) основана на каландровании [23]. Пленка-основа формируется из расплава А, поступающего из экструзионного агрегата 1. Углубления в пленке выполняют методом вакуумного формования с помощью узла 2. Одновременно к основе приклеивается пленка-покрытие, формируемая из расплава В. При прохождении между валами 3 и 4 air-bubble пленка может быть армирована рулонными материалами С и D, поступающими с разматывающих устройств 5 и 6. Затем пленку направляют в охлаждающее устройство 7, центруют с помощью приспособления 8 и сматывают в рулон 9. Линия предусматривает подключение устройства (не показано на рис. 11) для заправки паров функциональной добавки (например, бактерицидной, фунгицидной и др.) в полости, заключенные между слоями пленки А и В.

*Металлизация* – более современный вариант фольгирования пленок. Слой алюминиевой фольги зачастую имеет микротрещины, поры и другие дефекты, которые ухудшают барьерные свойства комбинированных пленок. Металлизированные пленки получают термическим распылением алюминия или его сплавов на поверхность полимерной пленки в вакуумной камере. Наиболее высоким качеством (прочность, низкая усадка) обладают пленки, полученные при нанесении металлизированного слоя на двухосно-ориентированные пленки.

Одним из наиболее современных методов в упаковочной технологии является *соэкструзия*. При соэкструзии расплав различных по природе полимеров из нескольких экструдеров направляют в одну общую формирующую головку. Соэкструзия относится к системам обогащения упаковочных материалов, которые имеют особое значение в современной упаковочной технологии. В зависимости от применяемой технологической схемы и устройства головки соединение слоев происходит перед входом в формирующую головку, в самой головке или при выходе из нее (рис. 13).

Одним из основных преимуществ производства многослойных пленок методом соэкструзии является экономия, обусловленная тем, что готовый материал получают непосредственно из гранулятов пластических масс в ходе единого технологического процесса. Кроме того, соэкструзионная технология предусматривает безотходное производство, поскольку отходы производства могут быть использованы для создания срединного слоя, в том числе в пленках, предназначенных для непосредственного контакта с пищевыми продуктами. Существенным преимуществом является возможность

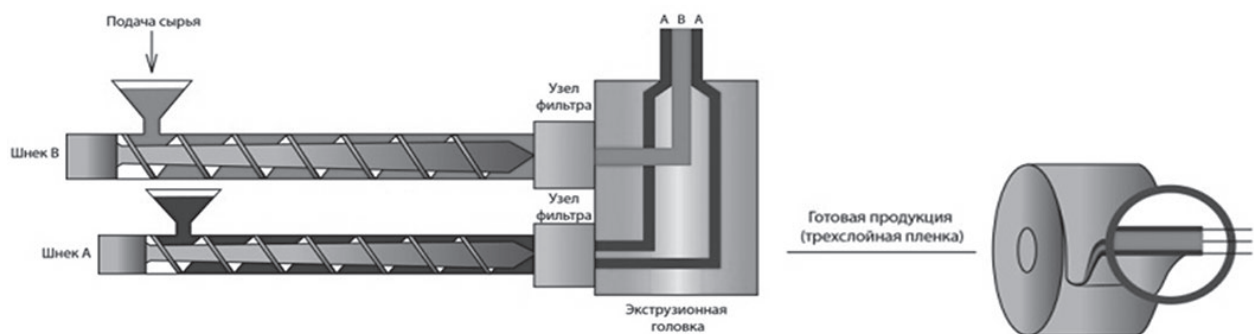


Рис. 13. Схема изготовления трехслойной пленки АВА методом соэкструзии.



достижения высокой барьерности при значительно меньшей толщине по сравнению с многослойными пленками, получаемыми путем ламинирования. Гибкие соэкструзионные пленки чаще всего производят в виде трех-, пяти- и семислойных структур. Как и в случае однослойных пленок, соэкструзионные пленки производят как по технологии экструзии с раздуванием, так и путем экструзии плоских пленок. Схемы обеих технологий представлены соответственно на рис. 14 и рис. 15 [24].

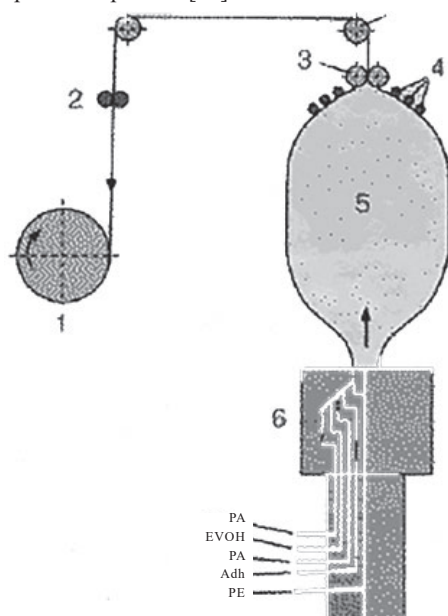


Рис. 14. Схема метода соэкструзии пятислойной пленки с раздувом: 1 – узел намотки готовой пленки; 2 – обрезка краев рукава; 3 – прижимные ролики; 4 – направляющие ролики; 5 – рукав с постоянно поддерживаемым внутри давлением; 6 – вращающаяся головка раздува [24].

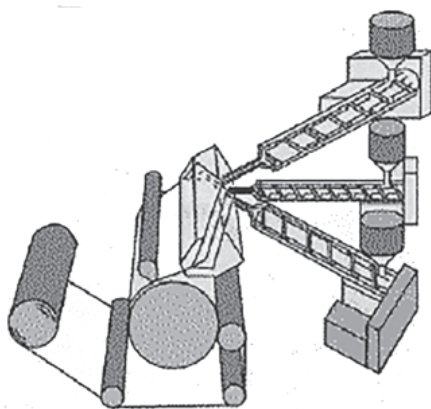


Рис. 15. Схема линии для соэкструзии плоской трехслойной пленки [24].

Метод соэкструзии чаще всего используют при изготовлении многослойных (в том числе газоселективных) пленок для упаковки мясопродуктов, сыров, хлебобулочных изделий, фруктов и овощей. В пищевой промышленности требования к газоселективности упаковочных пленок определяются химической природой упакованной продукции (наличие жиров, кислотность), её физическим состоянием (жидкость, паста, хлопья, хлеб и т.д.), чувствительностью продукции к действию влаги, кислорода, света или необходимостью полной изоляции продуктов от окружающей среды [25]. Селективную газопроницаемость пленок регулируют, формируя их из полимеров с разной гибкостью макромолекул, применяя наполнение и пластификацию, используя многослойные пленочные системы. Это позволяет защитить продукцию от увлажнения, охлаждения, действия УФ света, предотвратить улетучивание ароматических веществ, заражение продуктов микробами, обеспечить оптимальные параметры газообмена между объемом упаковки и окружающей средой.

Типичным примером газоселективных пленок являются пленочные упаковки для созревания сыра. Такая пленка впервые разработана фирмой Cryovac (США), поставляющей на мировой рынок

многослойные пленки для вызревания сыров, снабженные газоселективным слоем из ПВХ или его заменителей на основе ароматических сополимеров [26]. Пленка сочетает низкую кислородопроницаемость для предотвращения роста плесени, ограниченную влагопроницаемость для предотвращения усушки продукта и высокую проницаемость для  $\text{CO}_2$ , образующегося при созревании сыра. Такая упаковка позволяет избавиться от трудоёмких процессов очистки сырных головок от плесени и существенно сократить потери продукции.

Разработанная в ИММС НАН Беларуси газоселективная пленка [27] состоит из трёх слоёв. Наружный барьерный слой ограничивает проникновение кислорода внутрь упаковки. Контактный слой, с которым соприкасается сыр, выполнен из химически инертного полимера и наполнен углеводами, являющимися источником энергии для молочнокислых бактерий. Адгезионный слой, склеивающий эти слои, содержит вещества-поглотители  $\text{CO}_2$ , а также биоциды, предотвращающие плесневение сыра [28].

Одной из перспективных областей применения метода соэкструзии является изготовление съедобных полимерных пленок. Съедобные пленки и покрытия – единственный вид биоразлагаемой полимерной упаковки, которая не нуждается в индивидуальном сборе и особых условиях утилизации. Съедобные пленки и покрытия из пищевых полимеров, как правило, получают формированием из их растворов в воде, ее смеси с этиловым спиртом, в чистом этиловом спирте или в разбавленной уксусной кислоте, например, если в составе пленкообразующей композиции присутствует хитозан [29]. В производственных условиях метод формирования пленки из раствора может быть непрерывным, когда слой раствора через фильеру наносится на бесконечную движущуюся ленту или барабан и затем высушивается. В качестве альтернативы методу формирования из раствора через фильеру предлагается получение съедобных пленок методом экструзии. Он позволяет получать пленки со значительно большей скоростью и с меньшими затратами энергии, поскольку в этом случае используют более концентрированные растворы, подача которых осуществляется одним или двумя шнеками [30].

Термоусадочная пленка – удобная, надежная и эстетичная упаковка для различных видов товаров. Ее особенность заключается в способности принимать форму содержимого и создавать прочную оболочку под воздействием высокой температуры (от 130 до 180°C). В процессе получения термоусадочной пленки реализуется структура вытянутой конформации макромолекулярной цепи. Принцип, на котором основана упаковка продукции в термоусадочную пленку, иногда называют памятью полимера. В этом случае пленка, которая ориентирована при температуре выше температуры стеклования и затем охлаждена для фиксации полученного ориентированного состояния, при повторном нагревании будет стремиться вернуться к своим прежним размерам в неориентированном состоянии.

Получают термоусадочную пленку на экструзионно-выдувных линиях путем продавливания расплава полимерного материала через круглощелевую головку с последующим его раздувом и ориентацией [31]. Для изготовления таких пленок используют полиэтилен высокой и низкой плотности, сополимеры этилена с винилацетатом, полипропилен, ПВХ, сополимеры винилиденхлорида с винилхлоридом и др.

Производство термоусадочной пленки из ПЭВД имеет хорошие перспективы роста объемов производства, так как она является упаковочным материалом, допущенным к контакту с пищевыми продуктами. Термоусадочную пленку широко используют для групповой упаковки алкогольных и прохладительных напитков, молочных продуктов, замороженной птицы, колбас и сыров, а также целого ряда других продовольственных товаров.

Достоинство такого рода упаковки заключается в относительной простоте самого процесса упаковки, ее прочности, эстетичности при относительно небольшой стоимости, доступной сырьевой базе, простоте и экологичности утилизации использованной пленки и отходов ее производства. Однако для упаковки продукции в термоусадочную пленку, особенно поддонов (паллет), требуются термошкафы или промышленные фены, что является недостатком по сравнению с упаковкой в стретч-пленку.

Термоусадочную пленку классифицируют как пленку для: легких упаковок – толщиной от 15 до 50 мкм; средних упаковок – толщиной от 50 до 120 мкм и тяжелых упаковок – толщиной от 100 до 200 мкм.

Для производства растягивающихся (стретч) пленок применяются методы экструзии с раздувом рукава, экструзии и созэкструзии плоской пленки. Стретч-пленки – материал, обладающий способностью обратимо растягиваться с удлинением 200–300%. По сравнению с обычными полиэтиленовыми пленками стретч-пленки имеют лучшие эксплуатационные свойства как при низких, так и при высоких температурах, что позволяет использовать их для упаковки не только горячих, но и охлажденных и замороженных продуктов.

Они отличаются более высокой химической стойкостью, блестящей поверхностью, устойчивостью к растрескиванию, высокой стойкостью к механическим повреждениям, большей прочностью, а также способностью пленки прилипать к самой себе и не прилипать к упаковываемому продукту. Появление стретч-пленок стало возможно благодаря разработке в конце XX-го века новых технологий и материалов, в частности, линейного полиэтилена низкой плотности (ЛПЭНП). Стретч-пленки изготавливают из полимеров, содержащих эластомерный компонент, например, сополимеры этилена с каучуками, пластифицированный ПВХ, ЛПЭНП и др. Природа пленок обеспечивает хорошую адгезию между слоями [32].

При экструзии с раздувом рукава расплавленный ЛПЭНП из экструдера поступает в экструзионную головку, где он обтекает мундштук и выходит через кольцевое отверстие головки в форме трубы. ЛПЭНП имеет большую вязкость при скоростях сдвига, поэтому мощность экструдера больше, чем при экструзии ПЭНП, а во избежание разрушения расплава делают более широкий зазор в экструзионной головке. Трубу раздувают до необходимого диаметра давлением воздуха, подаваемого через центр мундштука. Экструдирование рукава осуществляется вверх, при этом раздув рукава сопровождается соответствующим уменьшением толщины пленки. Давление в рукаве поддерживается зажимными вальками с одной стороны и экструзионной головкой с другой. Охлаждение рукава производят обдувочным кольцом снаружи рукава.

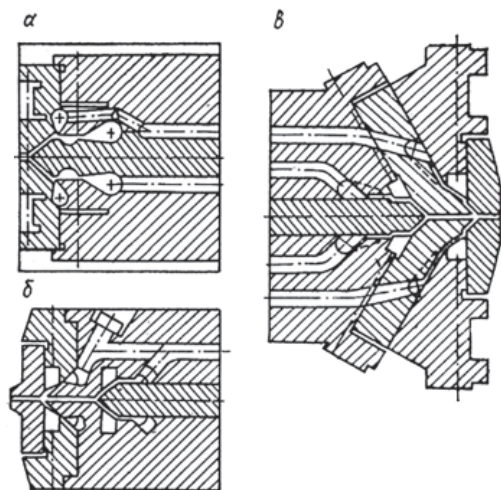


Рис. 16. Конструкции головок для экструзии четырехслойной плоской пленки с прямолинейными каналами и гибкими губками (а) и с прямолинейными каналами уменьшающего сечения и подпорными призмами (б, в) [33].

При экструзии и созэкструзии плоской стретч-пленки расплавленный ЛПЭНП продавливают сквозь плоскощелевую экструзионную головку, затем он направляется для быстрого охлаждения на охлаждающий полый хромированный барабан с водяным охлаждением, что позволяет получить более прозрачную пленку. Экструзионные головки для формования плоской пленки имеют большую ширину в сравнении с диаметром экструдера, поэтому путь, который проходит расплав до краев головки, длиннее, чем путь до ее середины. Компенсация потока достигается за счет головки с коллектором. Внутренняя поверхность щелевой головки тщательно обработана, так как даже небольшой дефект поверхности может привести к появлению шероховатости на пленке или разнотолщинности. Плоскощелевые головки позволяют изготавливать

стретч-пленку шириной до 1,5 м и варьировать толщину от 10 до 35 мкм, а также изготавливать многослойные пленки. На рис. 16 представлены конструкции плоскощелевых головок для экструзии четырехслойной плоской пленки.

К преимуществам рукавных стретч-пленок перед плоскими относят более высокие механические свойства, возможность регулировки ширины сложенного рукава и превращения его в мешок, а также низкую себестоимость. В то же время плоские стретч-пленки имеют меньшую разнотолщинность, обладают великолепными оптическими свойствами, прозрачностью и высокой производительностью оборудования.

Стретч-пленки подразделяются на паллетные и пищевые (cling-пленки, продающиеся в коробках с ножом household, т.е. пленки для домашнего применения). В свою очередь, паллетные пленки в зависимости от способа применения делятся на ручные и машинные (с использованием паллетайзеров).

Использование стретч-пленки вместо термоусаживаемой позволило снизить расход полиэтилена примерно на 50% [34]. Уникальные свойства стретч-пленки позволили ей занять ведущие позиции в области транспортной и пищевой упаковки, потеснив при этом в некоторых областях термоусадочную пленку.

#### Заключение

В мировой практике известны разнообразные методы производства упаковочных материалов для пищевых продуктов, обладающие определенными преимуществами и недостатками. Широко используются традиционные (базовые) методы изготовления упаковки, однако все большее применение находят специфические инновационные технологии, позволяющие удовлетворить растущие потребности потребителя пищевой продукции. Постоянное совершенствование промышленного оборудования и технологии производства позволяет изготавливать упаковочные материалы с заданными эксплуатационными, потребительскими и экологическими свойствами.

#### Литература

1. Производство пластиковой упаковки из вторсырья: виды изделий, преимущества и выгоды [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rcycle.net/plastmassy/izdeliya-iz-vtorichnogo-plastika/proizvodstvo-upakovki-iz-vtorsyrya>.
2. Directive 94/62/ EC as regards reducing the consumption of lightweight plastic carrier bags // Directive (EU) 2015/ 720 of the European Parliament and of the council [Electronic resource] – 2015. – Mode of access: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32015L0720>.
3. Исследование Высшей школы государственного администрирования (ВШГА) МГУ им. М.В. Ломоносова [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.rupec.ru/news/43460/>.
4. Исследование ВШГА МГУ им. М.В. Ломоносова [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://plus-one.ru/news/2020/02/19/zapret-na-ispolzovanie-plastikovoy-upakovki-priveden-k-rostuscen-na-produkty>.
5. Турчина, И. В Беларуси хотят запретить одноразовую посуду и упаковку [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://naviny.by/article/20190418/1555585842-v-belarusi-hotyat-zapretit-odnorazovuyu-posudu-i-upakovku> / Naviny.by.
6. Заяц, Д. Власти склоняются к эволюционному переходу на экоупаковку, но возможны и революционные шаги [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://naviny.by/article/20191119/1574161185-kogda-belorusskiy-biznes-pereydet-na-ekologichnuyu-taru-i-upakovku> / Naviny.by.
7. Методы и оборудование для производства полимерной тары и упаковки [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ref.unipack.ru/103/>.
8. Методы производства полимерной тары и упаковки [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://znaytovar.ru/s/Metody\\_proizvodstva\\_polimernoj.html](https://znaytovar.ru/s/Metody_proizvodstva_polimernoj.html).
9. Чуешов, В.И. Технология лекарств промышленного производства. Учеб. для студ. высш. учеб. завед. / В.И. Чуешов, Е.В. Гладух [и др.]. – Винница: Нова Книга, 2014. – 696 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [pdf/https://studfile.net/preview/6761345/page:8](https://studfile.net/preview/6761345/page:8).
10. Jenkins, W.A. Plastic Films: Technology and Packaging Applications / W.A. Jenkins, K.R. Osborn // Lancaster, PA, Technomic Publ. Co., Inc., 1992. – 272 p.



11. Шварц, О. Переработка пластмасс / О. Шварц, Ф. Эбелинг, Б. Фурт / Под ред. А.Д. Паниматченко. – Изд. Профессия, СПб, 2005. – 320 с.
12. Технология получения рукавной пленки [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://polymerbranch.com/termoplast/view/5/4.html#v4>.
13. Производство пленок экструзией [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.himhelp.ru/section30/section12cdew2/section155bytr/565.html>].
14. Панов, Ю.Т. Современные методы переработки полимерных материалов. Экструзия. Литье под давлением: учеб. пособие / Ю.Т. Панов, Л.А. Чижова, Е.В. Ермолаева; Владим. гос. ун-т имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2013. – 128 с.
15. Экструзионная технология производства полимерных листов и пленок [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.plastikpr.ru/stati/?ELEMENT\\_ID=963](http://www.plastikpr.ru/stati/?ELEMENT_ID=963).
16. Корнев, А.Е. Технология эластомерных материалов. Учебник для ВУЗов, издание 3-е, переработанное и дополненное / А.Е. Корнев, А.М. Буканов, О.Н. Шевердяев / Под ред. А.Е. Корнева. – М.: НППА «Истек», 2009, – 504 с.
17. Пинчук, Л.С. Ингибированные пластики / Л.С. Пинчук, В.А. Гольдаде, А.В. Макарович. – Гомель: ИММС НАНБ, 2004. – 491 с.
18. Химическая энциклопедия. В 5-ти т. / Гл.ред. И.Л. Кнунянц. – Москва, Советская энциклопедия. Большая Российская Энциклопедия, 1988–1998. – 3400 с.
19. Чернявски, Богдан Многослойные ламинированные пленки / Богдан Чернявски (Исследовательский центр по таре и упаковке, COBRO), Йоахим Стасек (Институт переработки пластмасс, Торун). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.himhelp.ru/section30/section12cdew2/section153gyum/560.html>.
20. Каган, Д.Ф. Многослойные и комбинированные пленочные материалы / Д.Ф. Каган, В.Е. Гуль, Л.Д. Самарина // Москва: Химия, 1989. – 287 с.
21. Ламинирование упаковки [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://packsoftplastic.ru/laminirovanaya-upackovka>.
22. Виды ламинирования, припрессовки, каширования [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://msd.com.ua/fleksografiya/vidy-laminirovaniya-pripressovki-keshirovaniya>.
23. Colines представляет новую линию для производства пленок CPP [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://plastinfo.ru/information/news/9080>.
24. Производство многослойных пленок методом соэкструзии [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.himhelp.ru/section30/polymer\\_market/section164/595.html](https://www.himhelp.ru/section30/polymer_market/section164/595.html).
25. Гольдаде, В.А. Современные тенденции развития полимерной пленочной упаковки // Полимерные материалы и технологии. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 63–71.
26. Современное искусство сыроварения / Проспект фирмы CRYOVAC W.R. Grace&Co., 1998. – 25 с.
27. Патент 2250831 РФ. Многослойная плёнка для упаковывания и созревания сыров / Л.С. Пинчук, О.И. Пашнин, В.А. Гольдаде и др. МПК B23B27/30, A23C19/16. Оpubл. 2005.
28. Пинчук, Л.С. Плёнка для сыра / Л.С. Пинчук, И.Ю. Ухарцева [и др.] // Упаковка – 2001. – № 4. – С. 19–21.
29. Савицкая, Т.А. Съедобные полимерные пленки и покрытия: история вопроса и современное состояние (обзор) / Т.А. Савицкая // Полимерные материалы и технологии, 2016. – Т. 2, №2. – С. 6–36.
30. Danganan, K. Structure and Function of Protein-Based Edible Films and Coatings / K. Danganan, P.M. Tomasula, P.Qi. // Edible Films and Coatings for Food Applications / ed. M.E. Embuscado, K.C. Huber. – New-York: Springer, 2009. – Ch. 2. – P. 25–52.
31. Производство термоусадочной пленки. Многослойные пленки. Классификация и способы применения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.polymerbranch.com/publ/view/14.html>.
32. Прогрессивные технологии и оборудование для производства пленочной тары и упаковки из линейного полиэтилена низкой плотности (ЛПЭНП) / Тара и упаковка, 2003, Т5. // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.magpark.ru/win/2003/5/5-03-2.html>.
33. Технология переработки полимеров: изделия из полимерных листов и пленок. Часть 1. // [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://studme.org/320572/tehnika/metody\\_polucheniya\\_listov\\_plenok](https://studme.org/320572/tehnika/metody_polucheniya_listov_plenok).
34. Пинчук, Л.С. Полимерные пленки, содержащие ингибиторы коррозии / Л.С. Пинчук, А.С. Неверов // Москва: Химия, 1993. – 176 с.