

УДК 678.5.066:620

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНОЧНОЙ УПАКОВКИ

В. А. ГОЛЬДАДЕ

ГНУ «Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси», ул. Кирова, 32а, 246050 г. Гомель, Беларусь.

Приведены результаты исследований по разработке полимерных упаковочных пленок. На примере активных, газоселективных и информирующих пленок показаны основные тенденции развития упаковочной отрасли. Отдельный раздел статьи уделен экологически безопасным методам утилизации использованной полимерной упаковки.

Ключевые слова: активные полимерные пленки, газоселективность, модификаторы, пищевые продукты, окружающая среда, экологическая безопасность.

Введение

Упаковка – устройство, чаще всего емкость, в которую помещают сырьевые материалы, отходы их переработки или готовую продукцию. Упаковка выполняет три основные функции: 1) защищает материалы и продукцию от повреждения и потерь; 2) защищает окружающую среду от загрязнения содержимым упаковки; 3) осуществляет сопровождение продукции в процессе обращения, т.е. на этапах транспортирования, хранения и реализации [1]. Современная упаковка стала фактором повышения конкурентоспособности продукции, и поэтому число ее функций значительно возросло, что привело к повышению безопасности и надежности упакованного товара.

Многообразие взаимосвязанных функций современной упаковки обусловило тенденцию ее превращения в «умную» систему [2]. Первой проблемой, которую пришлось решать на этом пути, стал стремительный рост объема обязательной информации о продукции. Сейчас потребителю необходимы сведения об аллергенности, свежести, пользе для здоровья, этике производства пищевых продуктов, доказательства того, что упакованная продукция не является подделкой. Это стимулировало применение в упаковке новых форм информации: звуковых сигналов, аромата, изменений цвета как интегрального показателя порчи продукта во времени и под действием температуры. В некоторых видах упаковки физико-химическая чувствительность ее материала дополнена электронной обработкой данных и представлением результатов на одноразовых дисплеях, дистанционно предупреждающих пользователей о

нестабильности состояния упакованной продукции [3].

В современной упаковочной индустрии преобладающую роль играют полимерные материалы. Упаковочные материалы являются крупнейшей областью использования полимеров, опережающей строительство, автомобильную промышленность, а также электротехническую и электронную промышленность (табл. 1).

Таблица 1 – Удельный вес основных областей применения полимеров в Европе (2006 г.) [4]

Европейский рынок полимеров	Доля, %
Упаковка	38
Строительство	18
Автомобильная и транспортная промышленность	7
Электротехническая и электронная промышленность	7
Другие виды промышленности	5
Спорт и развлечения	5
Мебель и спальные принадлежности	4
Предметы и устройства для домашнего обихода	5
Сельское хозяйство	3
Медицина	1

Полимерные пленки, в частности многослойные или комбинированные, применяемые для упаковывания пищевых продуктов, сохраняют высокое качество продуктов в течение длительного времени, эффектно представляют товар при продаже, максимально облегчают доступ к продукту и его приготовлению, имеют низкие массу и стоимость, оказывают наименьшее воздействие на окружающую среду. В качестве упаковочного материала для пищевых продуктов, товаров широко-

го потребления, жидких и сыпучих химических и нефтехимических продуктов, а также для бытовых целей применяют полимерные пленки на основе полиэтилена (ПЭ), полипропилена, целлюлозы и ее эфиров, поливинилхлорида, полистирола, полиамидов, полиэфиров, гидрохлорида натурального каучука и других полимеров [5]. Одно из преимуществ полимерных пленок по отношению к металлам и стеклу заключается в том, что они могут быть избирательно проницаемы к газам и парам, а также гибко реагировать на различные внешние воздействия. Это существенно расширяет сферу использования полимерной упаковки и позволяет получать результаты, недостижимые при использовании других упаковочных материалов.

Одна из основных функций современной упаковки – уже не просто защита продуктов от внешних воздействий, а изменение характера взаимодействия продукта с окружающей средой. В практике упаковывания все чаще используется «активная» упаковка, которая способна менять свои свойства при внешнем воздействии и управлять средой внутри упаковки, оказывая целенаправленное физическое, химическое или биологическое действие на упакованный продукт.

1. Активные полимерные пленки

Активные упаковочные материалы оказывают на упакованную продукцию воздействия химической, физической или биологической природы, изменяя состав газовой среды внутри упаковки либо преобразуя структуру поверхностного слоя упакованных изделий или материалов.

Ингибированная полимерная пленка содержит микропористый слой, в котором находится комплекс контактных и летучих ингибиторов коррозии (ИК), и предназначена для антикоррозионной защиты металлических изделий [6]. Деталь, упакованная в чехол из такой пленки, на начальном этапе предохраняется от коррозии благодаря переносу контактного ингибитора с пленки на поверхность детали (рис. 1). Такой механизм защиты особенно эффективен при вакуумном упаковывании. По мере испарения летучего ИК в чехле дополнительно создается парциальное давление паров второго ингибитора, адсорбция которого на поверхности детали длительно (до нескольких лет) предотвращает коррозию. В герметичном чехле испарение прекращается после достижения критического давления. При разгерметизации чехла испарение продолжается, создавая внутри упаковки защитную атмосферу, пока не израсходуется весь запас ингибитора в пленке [7].

Кинетические кривые испарения ингибитора марки Г-2 из пленок (рис. 2) на начальном этапе представляют собой квазизэкспоненциальные зависимости (кривые 1–4), ход которых свидетельствует о том, что скорость испарения лимитируется диффузией ИК в пористой системе пленки. Ки-

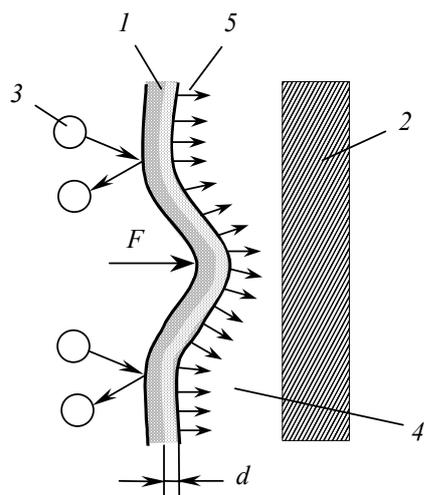


Рисунок 1 – Схема, иллюстрирующая принцип действия активной упаковочной пленки: 1 – пленка; 2 – упакованное изделие; 3 – частицы внешней среды (газовой или жидкой); 4 – свободный объем внутри упаковки; 5 – поток частиц активных компонентов, выделяющихся из пленки внутрь упаковки; F – внешняя механическая сила; d – толщина слоя пленки, содержащего активные компоненты

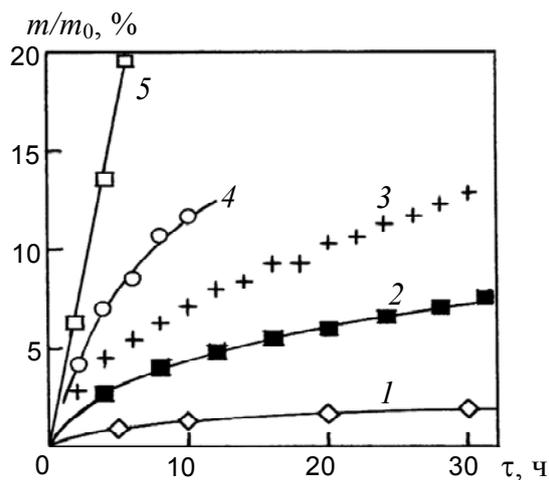


Рисунок 2 – Кинетические кривые испарения летучего ИК марки Г-2 из модифицированной полиэтиленовой пленки. Концентрация ИК в пленках: 1–3 – 0,9 мас.%; 4 – 1,4 мас.%; 5 – Г-2 в исходном состоянии. Температура 25 °C (1, 4, 5), 50 °C (2) и 60 °C (3)

нетика испарения исходного ингибитора линейна (кривая 5). Испарение летучего ИК зависит от его концентрации в пленке, способа ее изготовления и ускоряется с ростом температуры.

Упаковочные пленки с регулируемым коэффициентом трения f необходимы для решения двух противоположных задач. Первая состоит в увеличении коэффициента трения f для того, чтобы наполненная упаковка не скользила друг по другу при складировании. Пленки из ПЭ с добавкой 4% амидных соединений, выпускаемые американской фирмой Polyfil Corp., имеют $f \approx 0,5$ против исходного значения 0,15 [8]. Еще более высокое трение демонстрируют пленки с шероховатым наружным слоем из припеченных порош-

ковых частиц [9]. Противоположная задача решается в пленках, демонстрирующих антифрикционность при заполнении пленочных пакетов сыпучими продуктами. Такой материал востребован для формирования внутреннего слоя многослойной пленочной тары.

Антистатические упаковочные пленки удобны при эксплуатации тем, что снижают прилипание пыли к упаковке и ликвидируют вероятность возникновения искровых разрядов. Последнее обуславливает их основное назначение как материала для упаковывания порохов и взрывчатых порошков [10].

Пластики, поглощающие кислород, используются в упаковках для пищи и напитков. В объем связующего вводят дешевые технологические добавки на основе солей железа и активных веществ, которые «срабатывают» под действием УФ-излучения. Добавки должны быть «дружелюбными» к технологии переработки пластика. Бездобавочный подход предложен в Японии (фирма Ube Industries): к полимерной цепи прививают молекулярные центры захвата кислорода. Из таких пластиков изготавливают пивные бутылки, контейнеры для соков, соусов и приправ, пленки для упаковки хлеба [11]. Подобные материалы применяют в пластиковых пробках для вина и напитков. Пробки, получаемые экструзией вспененных композиций, не только надежно герметизируют бутылки, будучи менее чем натуральные пробки газопроницаемы и прочны, но помогают длительно сохранять вкус и аромат вина [12].

Пленки для упаковывания мясopодуKтов содержат природные и синтетические консерванты пищевой продукции. Предельные сроки хранения охлажденного ($T \approx 5-7^\circ\text{C}$) мяса свинины и говядины, упакованного в активную пленку, модифицированную горчичным или кориандровым маслом, в 2–3 раза выше, чем при упаковке в обычную пленку [13]. Такое хранение не приводит к изменению органолептических свойств мяса, его химический и микробный составы остаются соответствующими стандартам. Интенсивное развитие процессов микробиологической порчи мясopодуKтов обычно сопровождается резким скачком рН в щелочную область с увеличением содержания в мясе летучих жирных кислот – монокарбоновых кислот с длиной цепи до 8 атомов углерода. Введение в упаковочную пленку консервантов (аскорбиновая и никотиновая кислоты, глюкоза, комплексы типа «соль – сопряженная карбоновая кислота») стабилизирует рН продукции на начальном уровне в течение длительного срока хранения и благоприятно влияет на качество мясopодуKтов [14].

Поколение пластика с антимикробной активностью разрабатывается с конца 1990-х годов. Из них делают обшивки судов, покрытия стен и крыш, оболочки котлов, доски для резания продуктов, детские игрушки, сандалии, занавески для

ванн, канцелярские принадлежности, мусорные баки [15].

Биоцидные упаковочные пленки имеют преимущественно санитарно-гигиеническое и медицинское назначение. В них упаковывают медицинские инструменты, одноразовые лезвия, мази. Биоцидные липкие пленки наклеивают на участки кожи, подлежащие хирургическому рассечению. Такие пленки содержат добавки, подавляющие рост микробов, и производятся в «чистых» комнатах [16]. Пленки с антимикробной активностью являются типичными активными материалами.

Пленки для защиты непродовольственных товаров от поврежденных насекомыми содержат инсектициды (химические препараты, замедляющие рост и вызывающие гибель насекомых). Пары этих веществ выделяются из пленки в упаковочное пространство, создавая там защитную атмосферу. Использование синтетических репеллентов (перметрины и другие вещества II–III классов опасности) позволяет защитить текстиль, меховые и кожаные изделия не только от насекомых, но и от грызунов [17]. Введение в пленку безопасных для человека летучих репеллентов на основе трав и эфирных масел отпугивает насекомых без ущерба для потребительских свойств упакованного товара, здоровья обслуживающего персонала и пользователей продукции [18].

Таким образом, активные полимерные пленки защищают упакованную продукцию от повреждений благодаря совмещению барьерного эффекта с направленным изменением структуры поверхностного слоя упакованных товаров и/или состава среды внутри упаковки.

2. Газоселективные пленки

Газопроницаемость пленок – интегральная характеристика процесса, включающего стадии адсорбции частиц газа на поверхности пленки, диффузии газа в пленке, выделения частиц на противоположной стороне пленки и их десорбции с ее поверхности. Любая из стадий может сопровождаться диссоциацией и ионизацией молекул газа, химическими реакциями между ними и макромолекулами материала пленки. Селективность газопроницаемости – свойство пленки пропускать различные газы с разной скоростью. Коэффициенты проницаемости компонентов i и j газовой смеси $P_i = D_i\delta_i$ и $P_j = D_j\delta_j$, где D и δ – коэффициенты диффузии и растворимости. Фактор разделения смеси пленкой F_{ij} определяется соотношением $P_i/P_j = D_i\delta_i/D_j\delta_j$ [19].

В пищевой промышленности требования к газоселективности упаковочных пленок определяются химической природой упакованной продукции (наличие жиров, кислотность), ее физическим состоянием (жидкость, паста, хлопья, порошки, зерна, хлеб и т.д.), чувствительностью продукции к действию влаги, кислорода, света

или необходимостью полной изоляции продуктов от окружающей среды. 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. Наиболее информативными показателями работоспособности газоселективной упаковочной пленки являются константы ее проницаемости для трех газов – N_2 , O_2 , CO_2 [20].

Пленочные упаковки для созревания сыра служат типичным примером газоселективных пленок, обеспечивающих условия для его дозревания [21].

Такая пленка впервые разработана фирмой Стуовас (США), поставляющей на мировой рынок многослойные пленки для вызревания сыров, снабженные газоселективным слоем из ПВХ или его заменителей на основе ароматических сополимеров. Пленка сочетает низкую кислородопроницаемость [$\leq 400 \text{ см}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут} \cdot \text{атм})$] для предотвращения роста плесени, ограниченную влагопроницаемость [$\leq 0,02 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$] для предотвращения усушки продукта и высокую проницаемость для CO_2 , образующегося при созревании сыра [$500\text{--}2500 \text{ см}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут} \cdot \text{атм})$]. Такая упаковка позволяет избавиться от трудоемких процессов очистки сырных головок от плесени и существенно сократить потери продукции (рис. 3).

Разработанная в ИММС НАН Беларуси газоселективная пленка [23] состоит из трех слоев. Наружный барьерный слой ограничивает проникновение O_2 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 CO_2 , а также биоциды, предотвращающие плесне-

вание сыра.

Пленка «работает» следующим образом. Молочнокислые бактерии «поедают» частицы углеводного наполнителя в контактном слое пленки на границе с сырной головкой. Это ускоряет проникновение CO_2 , выделяющегося в большом количестве на начальной стадии созревания сыра, через дефекты контактного слоя в адгезионный слой. Здесь CO_2 частично поглощается адсорбентом – наполнителем адгезионного слоя, а избыток газа диффундирует через барьерный слой в атмосферу. Одновременно начинается массоперенос биоцидов через ставший более проницаемым контактный слой внутрь упаковки. На основной стадии созревания сыра концентрация биоцидов в упаковке мала и не влияет на жизнедеятельность молочнокислых бактерий. Критическая концентрация биоцидов на поверхности сырной головки создается через 20–25 сут после упаковывания на заключительной стадии созревания, когда на головке образуется плесень. Биоциды уничтожают плесень и все культуры, инициирующие микробную порчу созревшего сыра [22].

Газоселективные пленки, традиционно применяемые для хранения плодов и овощей, имеют постоянные параметры газопроницаемости [20] и поэтому соответствуют категории активных материалов.

3. Биоразлагаемые пленки

Рост производства полимеров и массовое использование упаковочных пленок обусловили в середине 20 в. проблему утилизации пленочных отходов. Синтетические полимеры очень медленно (десять лет) разлагаются в естественных условиях. Выброшенные упаковочные пленки составляют значительную часть (в разных странах от 10 до 60%) твердых бытовых отходов и стали постоянным источником загрязнения верхнего слоя почвы и прибрежных вод мирового океана [24].

Анализ применяемых в разных странах способов обезвреживания полимерного мусора свидетельствует, что в мире нет единой универсаль-

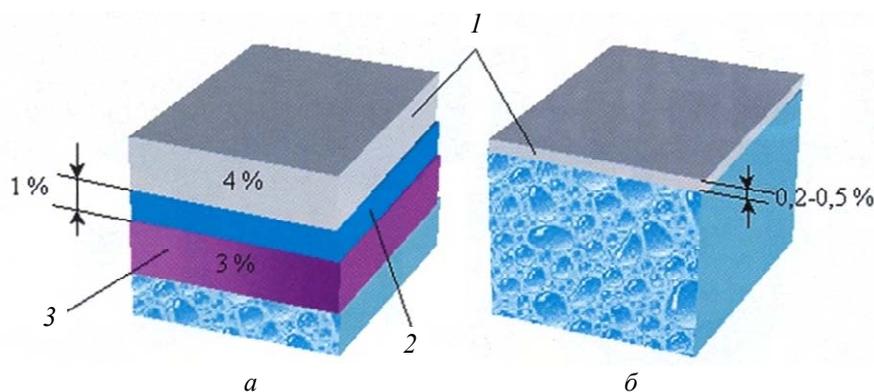


Рисунок 3 – Потери продукции при созревании сыров: а – традиционный метод; б – созревание в газоселективной упаковке. Цифрами обозначены потери сыра из-за: 1 – сушки и промывки; 2 – очистки сырных головок; 3 – удаления корочки [22]

ной стратегии решения этой проблемы. В технологиях обращения с отходами полимеров преобладают два направления. Первое состоит в утилизации (т.е. употреблении с пользой) отработанных полимерных материалов: многоразовое использование упаковки (если это возможно), сжигание, пиролиз (высокотемпературная деструкция в отсутствие кислорода), вторичная переработка (recycling) отходов с получением тепловой энергии и полезных веществ. Эти методы характеризуются технологической сложностью, низким КПД и высокой стоимостью [25]. Второе направление предусматривает уничтожение отходов упаковки путем воздействия на них факторов окружающей среды, например, захоронением в почву, где макромолекулы распадаются под действием микроорганизмов. Этот путь, обуславливающий рост площади свалок и мусорных полигонов, опасен экологически. Остроту проблемы снижает изготовление упаковок из полимерных материалов с регулируемым «временем жизни». Они сохраняют исходные свойства в течение срока эксплуатации упаковки, по окончании которого претерпевают ускоренные биофизические и биохимические превращения в природной среде и разрушаются. Продукты разрушения включаются в процессы метаболизма экосистем [26]. Такие пластики называют биоразлагаемыми.

В упаковочной индустрии применяют биоразлагаемые пластмассы на основе следующих классов материалов [27]:

- природные полимеры – крахмал, декстрины, пектины, хитин-хитозан, целлюлоза, лигнин, желатин, казеин и др., сырьевые ресурсы которых постоянно возобновляются [24];

- полимеры, подобные по структуре биополимерам, получаемые полимеризацией мономеров – производных нетрадиционной сырьевой базы или прививкой функционализированных олигомеров к цепи синтетических полимеров [28];

- высокомолекулярные соединения, микробиологически синтезированные из органического сырья и химических продуктов (бутиленгликоль, бутиролактон, масляная и хлормасляная кислоты) [29];

- композиционные материалы – синтетические полимеры, наполненные природными полимерами (крахмал, целлюлоза, хитин) или неорганическими веществами, содержащими привлекательные для микробов элементы – Ca, N, K, P и др. [14];

- электретные полимерные материалы – источники постоянного электрического поля, которое способствует иммобилизации и росту почвенных микробов на захороненной пленке и обуславливают ее ускоренное биоразрушение [30].

Биоразлагаемые пластики в идеале деструктируют под действием микроорганизмов до простых соединений (H_2O , CO_2), которые легко ассимилируются в окружающей среде. В композици-

онных пластиках микробы полностью уничтожают биополимеры и питательные соли. Остатки полимерного связующего продолжают ускоренно деградировать в почве, теряя прочность и массу. Крахмалонаполненная пленка превращается в перфорированную структуру, дисперсные частицы, а затем – в низкомолекулярные фракции, не представляющие опасности для окружающей среды. Такие пластики правильнее называть биоразрушаемыми [30].

Структура и свойства материалов этого класса, стабильные при эксплуатации, деградируют после ее окончания. Сигналом к окончанию «времени жизни» пластика служит экстремальное воздействие природной среды, например, озона, солнечного света, микробов. Если не существует инструмента, инициирующего коллапс структуры отслужившей пленки, желательно, чтобы сразу после окончания эксплуатации ее деградация происходила максимально быстро, превращая пленку в мелкие фрагменты, распад которых без вреда для окружающей среды может продолжаться еще некоторое время. Примером такого материала служит электретная биоразрушаемая пленка.

Биоразрушаемая пленка, несущая поляризационный заряд, была разработана в связи с тем, что химико-технологические резервы ускоренной биодеструкции пластиков оказались практически исчерпанными. Однако было обнаружено, что электретные пленки из термопластов с эффективной поверхностной плотностью зарядов $\sigma_{эфф} = 4-8$ нКл/см² стимулирует иммобилизацию почвенных микробов, рост их колоний и ускоренное биоразрушение макромолекул. Прочность электретных пленок, находящихся в почве, снижается в течение года на 60%, а масса уменьшается на 40% [31].

На рис. 4 приведены кинетические кривые изменения прочности крахмалонаполненных ПЭ пленок при экспозиции в почве.

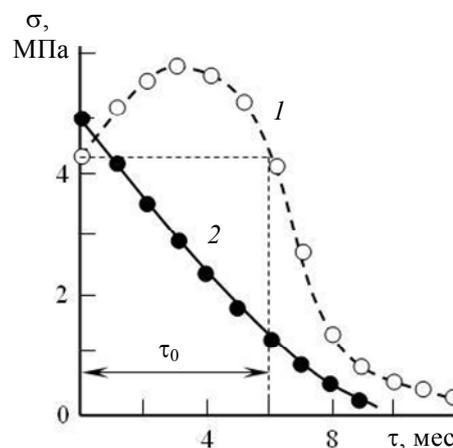


Рисунок 4 – Снижение предела прочности при растяжении пленок из ПЭ в зависимости от времени нахождения в почве: 1 – неэлектретная; 2 – электретная с $\sigma_{эфф} = 5$ нКл/см²

Прочность неэлектретных пленок (кривая 1) вначале возрастает из-за миграции стабилизаторов ПЭ и активного химического действия на ПЭ содержащихся в почве гуминовых кислот, которые инициируют вторичную кристаллизацию ПЭ и сшивку макромолекул. Затем прочность экспоненциально снижается по мере увеличения размеров и количества микробиальных повреждений. После 9–10 мес. нахождения в почве пленка представляет собой хрупкую перфорированную структуру с прочностью, приближающейся к нулю. Задачу, поставленную при создании биоразрушаемых пленок, на этом можно считать решенной, поскольку такая структура, проницаемая для воды и воздуха, не представляет опасности для живых существ и не влияет на экологическое равновесие. Заключительные стадии биодеструкции пленки – распад фрагментов пленки до конечных продуктов в виде H_2O и CO_2 .

Кинетика биологического разрушения электретных пленок существенно иная (кривая 2). Исходная прочность электретных пленок выше, чем неэлектретных, так как формирование поляризационного заряда сопровождается упорядочением структуры полимерного связующего. Потеря прочности начинается сразу же после захоронения пленок в почву. Это происходит вследствие активирующего влияния собственного поля пленки на кинетику адсорбционной иммобилизации микроорганизмов, интенсивность их метаболизма, на скорость роста и жизнедеятельность колоний микроорганизмов, выросших на пленке. Это не значит, что в пленке прекратились процессы старения, обуславливающие перестройку ее структуры. Однако конкурирующий процесс разрушения макромолекул микроорганизмами-деструкторами происходит интенсивнее процесса упрочнения пленки. В результате период биодеструкции пленок в почве сокращается на время τ_0 , в течение которого происходит упрочнение неэлектретных пленок и последующее снижение их прочности до исходной величины. Электретная пленка проявляет признаки «умного» материала, в котором функцию обратной связи выполняет поле электрета. Вначале оно привлекает микроорганизмы, а после их иммобилизации экспоненциально спадает, так как носители заряда в пленке, «поедаемой» микробами, служит для них источником энергии.

4. Информированные пленки

Информированная упаковка сообщает дистрибьютору, продавцу и потребителю продукции оперативные сведения о количестве, местонахождении и состоянии упакованного товара – прежде всего, свежести пищевых продуктов, температуре, составе среды внутри упаковки и др. В будущем упаковку планируют снабжать нанодатчиками, которые смогут реагировать на внешние воздействия: влажность, температуру, наличие газов и определенных химических веществ внутри упа-

ковки [32].

В настоящее время наиболее полную информацию об упакованной продукции дает технология радиочастотной идентификации RFID (radio frequency identification). Устройство RFID состоит из микрочипа размером <1 мм, присоединенного к антенне, передающей информацию при попадании в поле RFID-сканера. Метку с излучением 13,56 МГц, например, можно прочитать на расстоянии четверти метра, а 915-мегагерцевый значок «виден» за три метра. RFID-технология недорога и может быть с высокой эффективностью использована для контроля за упакованным товаром [33].

Данные, передаваемые RFID, базируются на сигналах, поступающих от элементов упаковки, которые выполняют функции сенсоров – термометрических, фотоэлектрохимических, жидкокристаллических и др. Конечно, «умные» упаковочные пленки уступают по точности и полноте информации традиционным сенсорам (термисторам, фотодетекторам, цифровым камерам и т.п.), но превосходят их по многофункциональности и технологичности применения в упаковках. В системе RFID реализована современная тенденция материаловедения, получившая название сенсорной революции [34]. Умные информирующие пленки являются результатом этой революции.

Развитие системы радиочастотной идентификации (RFID) позволяет ввести в Интернет сведения обо всех упакованных товарах без ограничений во времени и пространстве. Негативная реакция на это со стороны части пользователей вызвана мнением, что такая информация, представляемая RFID, может быть средством слежки и вмешательства в личную жизнь [33]. Это послужило причиной юридических разбирательств относительно допустимых пределов использования RFID. Тем не менее, решение о применении RFID-технологии для маркирования товаров принято Евросоюзом в 2004 г.

В рамках настоящей статьи невозможно описать все виды информирующих упаковочных пленок, число которых множится со временем в геометрической прогрессии. Ниже приведены самые типичные примеры таких пленок.

Термохромные пленки содержат наполнители – термохромы (кристаллы NaO_2 , KO_2 , RbO_2 , CsO_2). При повышении температуры происходит распад оксида $MO_2 \rightleftharpoons M_2O_2 + O_2$, сопровождающийся изменением окраски [35]: изменение окраски соответствует изменению температуры.

Пленки – индикаторы влажности состоят из нижнего окрашенного и верхнего просветляющего слоев. Последний выполнен из сополимера этилена с винилацетатом, наполненного силикагелем. Во влажной атмосфере он становится прозрачным и передает цвет окрашенного слоя [35].

Пленки – индикаторы свежести упакованных пищевых продуктов изменяют окраску под действием газов, выделяющихся при порче про-

дуктов. Пленки наполнены индикаторными веществами, цвет или люминесценция которых меняются при взаимодействии с газами по следующим механизмам: кислотно-основному (реакция на ионы H^+), адсорбционному, окислительно-восстановительному (реакция на изменение окислительно-восстановительного потенциала), комплексно-метрическому (реакция на ионы металлов) [36]. Разработаны упаковочные пленки, сигнализирующие изменением цвета о прокисании молока, микробной порче мяса и рыбы.

В заключение отметим, что упаковочная индустрия является одной из самых «продвинутых» отраслей производства в плане придания своей продукции признаков искусственного интеллекта. Современные упаковочные материалы надежно защищают изделия и продукты от вредных факторов окружающей среды (УФ-излучение, температура, влажность, кислород воздуха, механические и химические загрязнения). Наиболее перспективными с точки зрения технико-экономических показателей являются «активные» упаковочные материалы, способные регулировать физико-химические и биохимические процессы внутри упаковочного пространства. Активные полимерные пленки позволяют в широких пределах регулировать выделение функциональных компонентов и по-новому решать проблемы, связанные с сохранением упакованной продукции. Они составляют перспективную область инвестиционных вложений капитала с минимальным риском, поскольку мировой опыт развития упаковочной индустрии ясно определил тенденции развития полимерных пленочных материалов в направлении активного воздействия упаковки на стабильность структуры и свойств упакованной продукции.

Литература

- ГОСТ 17527–86. Упаковка. Термины и определения.
- Пинчук, Л.С. Введение в систематику умных материалов / Л.С. Пинчук, В.А. Гольдаде, С.В. Шилько, А.С. Неверов. – Минск: Беларуск. Навука, 2013. – 399 с.
- Butter, P. The whole package / P. Butter // *Materials Today*. – 2006. – Vol. 9, № 4. – P. 64.
- Полимеры для упаковки: http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=1249, Newchemistry.ru, 2006. – Аналитический портал химической промышленности.
- Ухарцева, И.Ю. Современные тенденции применения высокомолекулярных соединений в создании упаковочных материалов для пищевых продуктов / И.Ю. Ухарцева // *Пластические массы*. – 2014. – № 9–10. – С. 57–62.
- Пинчук, Л.С. Полимерные пленки, содержащие ингибиторы коррозии / Л.С. Пинчук, А.С. Неверов. – М.: Химия, 1993. – 176 с.
- Goldade, V.A. Plastics for corrosion inhibitions / V.A. Goldade, L.S. Pinchuk, A.V. Makarevich, V.N. Kestelman. – Berlin: Springer-Verlag, 2005. – 384 p.
- Processing aids and lubricants // *Modern Plastics Int.* – 2001. – Vol. 31, № 8. – P. 59–60.
- Довгяло, В.А. Композиционные материалы и покрытия на основе дисперсных полимеров. Технологические процессы / В.А. Довгяло, О.П. Юркевич. – Минск: Навука і тэхніка, 1992. – 256 с.
- Sparks conducted with special agents // *Modern Plastics Int.* – 2001. – Vol. 31, № 8. – P. 63.
- Food-approved // *Modern Plastics Int.* – 1999. – Vol. 29, № 11. – P. 89–90.
- Plastics cork finds its niche among world-class vintners // *Modern Plastics Int.* – 1999. – Vol. 29, № 11. – P. 22.
- Goldade, V.A. New polymeric packaging film for food products / V.A. Goldade, L.S. Pinchuk, A.V. Makarevich // In book «Modern book packaging». Ed. M.C. Dordi. – Mumbai: Indian Inst. of Packaging, 1998. – P. 234–242.
- Макаревич, А.В. Физико-химические и технологические принципы создания активных пленочных и волоконистых материалов на основе термопластов. – Автореф. дис. ... докт. хим. наук / А.В. Макаревич. – Мн., 2000.
- Grande, J.A. Biocides invade large consumer good market / J.A. Grande // *Modern Plastics Int.* – 1997. – Vol. 27, № 9. – P. 61.
- Leaversuch, R. Polyolefins find niche in IV bags / R. Leaversuch // *Modern Plastics Int.* – 2001. – Vol. 31, № 5. – P. 96–97.
- Пинчук, Л.С. Активные полимерные упаковочные пленки / Л.С. Пинчук, А.В. Макаревич, В.А. Гольдаде // *Технология переработки и упаковки*. – 2001. – № 4. – С. 30–33.
- Гончарова, Е.П. Репеллентная биоразрушаемая пленка для упаковки текстильных и меховых изделий / Е.П. Гончарова, В.Е. Сыцко, Л.С. Пинчук // *Материалы, технологии, инструменты*. – 2009. – Т. 14, № 2. – С. 51–54.
- Рейтлингер, С.А. Проницаемость полимерных материалов / С.А. Рейтлингер. – М.: Химия, 1974. – 272 с.
- Генель, С.В. Применение пленочных материалов для упаковки и хранения пищевых продуктов / С.В. Генель, Я.Г. Муравин, О.Н. Беляцка; под ред. В.Е. Гуля / В кн. «Полимерные пленочные материалы». – М.: Химия, 1976. – С. 44–60.
- Современное искусство сыроварения / Проспект фирмы CRYOVAC W.R. Grace & Co. – 1998. – 25 с.
- Пинчук, Л.С. Пленка для сыра / Л.С. Пинчук, И.Ю. Ухарцева, Е.И. Паркалова, О.И. Пашнин // *Упаковка*. – 2001. – № 4. – С. 19–21.
- Патент 2250831 РФ. Многослойная пленка для упаковки и созревания сыров / Л.С. Пинчук, О.И. Пашнин, В.А. Гольдаде [и др.]. МПК В23В27/30, А23С19/16. Оpubl. 2005.
- Ashby, M.F. Materials and the environment: Eco-informed material choice / M.F. Ashby. – Berlin: Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2009. – 400 p.
- Лоск, Ф. Упаковка и экология / Ф. Лоск. – М.: МГУП, 1999. – 220 с.
- Netravali, A.N. Composites get greener / A.N. Netravali, Sh. Chabba // *Materials Today*. – 2003. – Vol. 6, № 4. – P. 22–29.
- Гончарова, Е.П. Современные тенденции создания биоразлагаемых полимерных материалов / Е.П. Гончарова, О.А. Ермолович, Л.С. Пинчук, В.Е. Сыцко // *Материаловедение*. – 2006. – № 9. – С. 37–43.
- Васнев, В.А. Биоразлагаемые полимеры / В.А. Васнев // *Высокомолекулярные соединения*. – Сер. Б. – 1997. – Т. 39, № 12. – С. 2073–2086.
- Пхакадзе, Г.А. Биодеструктурируемые полимеры / Г.А. Пхакадзе. – Киев: Наукова думка, 1990. – 160 с.
- Гончарова, Е.П. Биоразрушаемые электрентные пленки на основе полиэтилена для упаковки товаров легкой промышленности. – Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.П. Гончарова. – Минск, 2010.
- Goldade, V.A. Formation and biodegradation of polyethylene-based electret films / V.A. Goldade, L.S. Pinchuk, O.A. Ermolovich [et al.] // *Intern. Polymer Processing*. – 2011. – Vol. 26, № 2. – P. 205–211.
- Баблюк, Е.Б. Наномодифицированные полимерные материалы (перспективы применения в современной упаковке) / Е.Б. Баблюк // *Тара и упаковка*. – 2011. – № 3. – С. 37–39.
- Тепляков, А. Защищайтесь, господа! / А. Тепляков // *Наука и инновации*. – 2006. – № 9. – С. 14–17.
- Byrne, R. Materials science and the sensor revolution / R. Byrne, F. Benito-Lopez, D. Diamond // *Materials Today*.

- 2010. – Vol. 13, № 7–8. – P. 16–23.
35. Барухин, С.Б. Композиционные материалы нового поколения / С.Б. Барухин, И.Ю. Бабкин // Химия высоких энергий. – 1995. – Т. 29, № 2. – С. 126–132.
36. Симонова, Л.Н. Индикаторы / Л.Н.Симонова // В кн. «Химическая энциклопедия»; гл. ред. И.Л. Кнунянц. В 5 т. – М.: «Большая рос. энцикл.». – Т. 5. – 1998. – С. 446–452.
-

Goldade V. A.

Modern tendencies in development of polymer film packing.

Results are presented on investigation of polymer packing films. The main tendencies of packing industry development are demonstrated with an example of active, gas-selective and informing films. A separate part of the article is devoted to ecological safe methods of utilization of spent polymer package.

Keywords: active polymer film, gas-selectivity, modifiers, food substances, environment, ecological safety.

Поступила в редакцию 28.08.2015.

© В. А. Гольдаде, 2015.