

разрабатываемых метаматериалов состоит в том, предложенные решения позволяют реализовать предельно высокую акустическую эффективность при недостижимых для традиционных материалов (вспененные полиуретаны, ячеистые резины, нетканые и др.) соотношениях толщины к длине поглощаемых звуковых волн. Акустические метаматериалы крайне востребованы авиационной промышленностью.

Литература

1. Acoustic composites and noise-reducing structures. Part I. Environmentally friendly components and nanofillers (a review) / S. N. Bukharov, V. P. Sergienko, V. V. Kozhushko [et al.] // Polymer Materials and Technologies. – 2021. – Vol. 7, N 1. – P. 6–22.
2. Hopkins, C. Sound Insulation. Elsevier / C. Hopkins. – London : Butterworth-Heinemann, 2007. – 622 p.
3. Promper, E. Natural fibre and wood fibre reinforced compounds for automotive interiors – A success story / E. Promper // International congress of raw Material Shift & biomaterials, 3rd–4th December 2008, Maritim Hotel Cologne. – Germany, 2008.
4. Buckwheat husk and epoxy resin based composites for noise abating / V. V. Kozhushko, S. N. Bukharov, A. Alexiev, R. Iankov // Journal Akustika. – 2021. – Vol. 40. – P. 17–20.
5. Development of new environmental safety sound-absorbing materials and layered sound-proofing structures for transport taking into account the spectral characteristics of the noise / V. P. Sergienko, S. N. Bukharov, V. V. Kozhushko [et al.] // Scientific proceedings NTD days. – 2015. – Vol. 150, N 1. – P. 469–473.

УДК 628.477.6:658.567.1

ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ «АКТИВНЫХ» УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

И. Ю. Ухарцева, С. Н. Бобрышева

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Представлены результаты исследований по изучению способов утилизации «активных» упаковочных материалов, содержащих различные добавки природного и синтетического происхождения. Приведены данные о влиянии факторов окружающей среды на деформационно-прочностные характеристики пленочных образцов и их деструкцию при экспозиции в различных средах. Полученные данные позволяют предложить наиболее рациональные способы утилизации таких материалов и дифференцировать наполнители по их стойкости к фото- и биodeградации.

Ключевые слова: «активные» упаковочные материалы, утилизация, фото- и биodeградация.

PROBLEMS OF DISPOSAL OF “ACTIVE” PACKAGING MATERIALS

I. Yu. Ukhartseva, S. N. Bobrysheva

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The results of research on the methods of disposal of “active” packaging materials containing various additives of natural and synthetic origin are presented. Data on the influence of environmental factors on the deformation and strength characteristics of film samples and their destruction during exposure in various media are presented. The obtained data allow us to propose the most rational ways of recycling such materials and differentiate fillers according to their resistance to photo- and biodegradation.

Keywords: “active” packaging materials, recycling, photo- and biodegradation.

Сегодня не осталось практически ни одной отрасли экономики, где бы не использовались полимерные материалы. Благодаря комплексу полезных свойств и своему многообразию, полимерные материалы являются важнейшим сегментом мирового упаковочного рынка и используются для создания потребительской, промежуточной и транспортной упаковки. Из всех выпускаемых полимерных материалов 41 % используется в упаковке, из этого количества 47 % расходуется на упаковку пищевых продуктов.

Упаковочные материалы на основе высокомолекулярных соединений эффективно защищают продукты от микробного поражения и влияния вредных факторов окружающей среды (свет, повышенные температура и влажность, кислород воздуха, механические и химические загрязнения и т. д.), что увеличивает сроки хранения изделий, сокращает количество отходов из-за порчи, особенно при транспортировке и реализации. Анализ технологических особенностей получения упаковок, условий их эксплуатации, основных потребительских характеристик позволяет среди основных классов полимерных упаковочных материалов выделить «активные» материалы, способные регулировать в упаковочном пространстве химический и биологический состав среды. Срок хранения продуктов в таких упаковках увеличивается от 1,5 до 4 раз [1, 2].

С каждым годом объемы производства и потребления упаковочных материалов увеличиваются, а значит, постоянно увеличивается количество образующихся при этом отходов. Утилизация их отходов в основном осуществляется двумя основными способами – захоронением и сжиганием, которые нерациональны и неэкономичны. При захоронении из полезного использования изымаются участки земли, а сжигание требует предварительной обработки отходов и при этом часто происходит выделение ядовитых продуктов, опасных для человека. Известно, что наиболее экономически целесообразным и экологически безопасным способом утилизации использованной полимерной упаковки является рециклинг, хотя в настоящее время высокие требования к защите окружающей среды диктуют появление новых видов ее переработки путем самодеструкции [3].

Цель настоящего исследования заключалась в оценке влияния различных добавок синтетического и природного происхождения на степень деструкции «активных» упаковочных материалов и определении способов их утилизации.

В качестве исследуемых образцов были отобраны пленочные образцы из традиционного используемого в упаковочной отрасли полиэтилена высокого давления (ПЭВД) и образцы экспериментальных «активных» упаковочных материалов, содержащих в своем составе различные добавки.

Известно, что многие полимерные материалы сложного состава подвергаются фото- и биодegradации [2]. Существует большое количество методов, позволяющих установить степень разложения материала под действием этих факторов. Одним из таких методов является стандартизированный метод с использованием различных типов почв, которые взаимодействуют, например, с использованной упаковкой и вызывают их заражение микроорганизмами, обуславливающими деструкцию полимера [4]. Все исследуемые образцы были помещены в почву с высоким содержанием торфа. Предварительно для них были определены деформационно-прочностные характеристики в соответствии с требованиями действующих нормативных документов [5].

После 18 месяцев экспозиции пленочные образцы были извлечены из почвы и вновь испытаны. Одновременно пленки экспонировались на свету в закрытом помещении при температуре 25 °С и относительной влажности воздуха 40 %. Результаты испытаний представлены в таблице.

**Деформационно-прочностные характеристики «активных»
полимерных упаковочных материалов при испытании
на стойкость к фото- и биodeградации**

Составы пленок	Характеристики пленок								
	до экспозиции			после экспозиции в течение месяца					
	σ , МПа	ε , %	ρ , г/см ³	18 (в почве)			18 (на свету)		
				σ , МПа	ε , %	ρ , г/см ³	σ , МПа	ε , %	ρ , г/см ³
ПЭВД	14	480	0,91	14,2	555	0,9	14,3	540	0,89
ПЭ + горчичное масло	13	550	0,81	13,4	730	0,85	14,8	604	0,84
ПЭ + вазелиновое масло + кориандровое масло	11,5	460	0,79	13,6	550	0,85	15,1	530	0,79
ПЭ + вазелиновое масло + аскорбиновая кислота	13,0	540	0,79	14,7	720	0,82	9,5	560	0,83
ПЭ + вазелиновое масло + глюкоза	12,3	530	0,79	13,8	770	0,82	11,2	540	0,83

Из данных таблицы следует, что после 18 месяцев экспозиции в почве и на открытом воздухе у образцов, содержащих растительные масла, повышаются прочностные характеристики по сравнению с образцами из чистого полиэтилена. Особенно заметно это для пленок, экспонированных на воздухе. Наблюдаемый эффект частично может быть связан с полимеризацией масел, которая активнее протекает при воздействии фотонов света. Но, скорее всего, изменение прочности материалов протекает под воздействием релаксационных процессов, происходящих в полимерной матрице при воздействии как света, так и почвенных микроорганизмов.

У образцов «активных» пленок, содержащих аскорбиновую кислоту и глюкозу, наоборот, прочность снижается. Возможно, эти компоненты выполняют роль фотоактивирующих добавок, которые нестабильны на свету и, разрушаясь, вызывают деструкцию полимера. При экспозиции в почве, без доступа света эти компоненты не подвергаются фотодеструкции, а наличие релаксационных процессов в полимерной матрице приводит лишь к незначительному увеличению прочности материала по сравнению с исходным ее значением.

Что касается некоторого увеличения деформации таких материалов при обоих условиях экспозиции, то оно, вероятно, связано с процессами синерезиса пластификатора (вазелинового масла) из модифицированного слоя и смыкания пор. Это подтверждается и увеличением их плотности. Кроме того, повышение эластичности пленок можно объяснить частичным перераспределением пластификатора в объеме полимерной матрицы.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о невозможности глубокой фото- и биodeградации таких «активных» материалов, содержащих функциональные добавки, что подтверждает данные некоторых авторов [6] о стойкости полимерных материалов, содержащих бактерицидные добавки. Для таких материалов более рациональным способом утилизации будет их вторичная переработка.

Литература

1. Ухарцева, И. Ю. Современные тенденции применения высокомолекулярных соединений в создании упаковочных материалов для пищевых продуктов (обзор) / И. Ю. Ухарцева // Пластические массы. – 2014. – № 9/10. – С. 57–62.
2. Упаковка пищевых продуктов: материалы, технологии, экология / И. Ю. Ухарцева, В. А. Гольдаде, Е. А. Цветкова, В. М. Шаповалов ; под ред. В. А. Гольдаде. – Минск : Беларус. навука, 2023. – 286 с.
3. Ермаков, А. И. Утилизация тары и упаковки : учеб.-метод. пособие / А. И. Ермаков. – Минск : БНТУ, 2017. – 194 с.
4. Прудникова, С. В. Микробиологическая деградация полигидроксиалканоатов в модельных почвенных средах / С. В. Прудникова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2012. – № 10. – С. 39–43.
5. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение : ГОСТ 14236-81. – Введ. 30.06.1981. – Москва : Изд-во стандартов, 1989. – 10 с.
6. Соломатов, В. И. Биологическое сопротивление материалов / В. И. Соломатов, В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2001. – 196 с.

УДК 621.01

ПРОБЛЕМЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ В 3D-ТЕХНОЛОГИЯХ**С. Н. Бобрышева, И. Ю. Ухарцева***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Проведен анализ современных материалов, используемых в 3D-технологиях. Рассмотрены их свойства, оказывающие влияние на качество и эксплуатационные характеристики получаемых изделий. Перечислены основные требования к материалам различных классов, используемых в 3D-технологиях, позволяющие наметить пути разработки новых и совершенствования существующих материалов.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, 3D-принтеры, кастомизация, пластики.

PROBLEMS OF MATERIALS SCIENCE IN 3D TECHNOLOGIES**S. N. Bobrysheva, I. Y. Ukhartseva***Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

The analysis of modern materials used in existing 3D technologies is carried out. Their properties that affect the quality and performance characteristics of the resulting products are considered. The main requirements for materials of various classes used in 3D technologies are listed, allowing us to outline ways to develop new and improve existing materials.

Keywords: additive technologies, 3D-printing, 3D-printers, customization, plastics.

Настоящий бум развития аддитивных технологий приходится на нулевые годы, хотя первые разработки можно отнести к концу 19 в. (что, возможно, удивит многих) [1]. В настоящее время пик эйфории от всеприменимости аддитивных технологий пройден. Конечно, по-прежнему, нет сомнений в их инновационности и эффективности, но возникает осознание необходимости анализа выявленных и накопившихся проблем с целью определения главных направлений их развития.

В триединую проблему прорывного технического направления можно включить наличие специалистов, разработку технологий и оборудования, создание материалов. Количество специалистов в области аддитивных технологий повышается