

Тэхналогія і перапрацоўка палімераў і кампазітаў

УДК 678.5.066:620.193.8

И. Ю. Ухарцева, Е. А. Цветкова, В. А. Гольдаде, В. М. Шаповалов

**УТИЛИЗАЦИЯ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ
КАК ОСНОВА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ:
ТРАДИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Во введении проанализированы литературные данные о проблеме засорения окружающей среды использованными упаковочными материалами и их негативном влиянии на здоровье человека. Значительные сложности вызывает обращение с отходами полимерной упаковки как наиболее экологически опасной, поскольку синтетические полимеры длительное время разлагаются в естественных условиях. Приведены основные положения нормативно-правовой документации по повторному использованию упаковки, утилизации и уменьшению количества упаковочных отходов. Цель работы заключается в анализе мировых тенденций по способам утилизации различных упаковочных материалов. Рост их производства и использования обусловил проблему утилизации отходов упаковки, которая включает различные способы, отличающиеся технологическими процессами, степенью экологической безопасности и рентабельностью. В основной части представлена информация о способах утилизации отходов традиционных упаковочных материалов из металла, бумаги, картона, стекла и полимеров. Отмечено, что отходы упаковки из металла и стекла подвергаются стопроцентному рециклингу. Утилизация и переработка бумаги и картона с точки зрения проблемы загрязнения окружающей среды наиболее экологична. Анализ применяемых в разных странах способов обезвреживания полимерного мусора свидетельствует о том, что в технологиях обращения с отходами полимеров преобладают два направления. Первое состоит в утилизации отработанных полимерных материалов: по возможности многократное использование упаковки, сжигание, пиролиз, рециклинг отходов с получением тепловой энергии и полезных веществ. Тем не менее эти методы технологически сложны, характеризуются низким КПД и высокой стоимостью. Второе направление предусматривает захоронение отходов упаковки в почву, однако этот путь, приводящий к росту площади свалок и мусорных полигонов, экологически опасен. В заключении отмечено, что в настоящее время для решения проблемы утилизации упаковочных отходов с целью защиты окружающей среды значительное распространение получила так называемая инициатива *zero-landfill*, то есть полный отказ от захоронения отходов. В частности, ассоциация европейских производителей пластмасс Plastics Europe призывает полностью отказаться от захоронения полимерных отходов.

Ключевые слова: упаковочные материалы, отходы, утилизация, пиролиз, захоронение, рециклинг.

Введение. Ежегодно десятки тонн упаковочных материалов засоряют среду обитания человека и оказывают негативное влияние на его здоровье. В мировом океане уже сейчас скопилось около 8 млн тонн мусора. Согласно прогнозам, к 2050 г. в океанах и морях пластика будет больше, чем рыбы. Цивилизованные страны активно проводят организационно-техническую и научную работу по утилизации упаковочных материалов, особенно тех видов полимерной и комбинированной упаковки, которая

Ухарцева Ирина Юрьевна, канд. техн. наук, доц., доц. каф. материаловедения в машиностроении ГГТУ им. П. О. Сухого (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: пр. Октября, 48, 246029, г. Гомель, Беларусь; e-mail: ukhartseva@yandex.ru

Цветкова Елена Александровна, канд. техн. наук, доц., ст. науч. сотрудник Института механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь; e-mail: tsvetkovaea21@mail.ru

Гольдаде Виктор Антонович, д-р техн. наук, проф., проф. каф. радиофизики и электроники ГГУ им. Франциска Скорины, вед. науч. сотрудник Института механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь; e-mail: victor.goldade@gmail.com

Шаповалов Виктор Михайлович, д-р техн. наук, проф., зав. отделом № 1 Института механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь; e-mail: v.shapovalov@tut.by

является экономически эффективной, биоразлагаемой, а зачастую – съедобной. Именно ей принадлежит будущее [1; 2].

В процессе жизнедеятельности человека ежедневно образуется около одного килограмма мусора, который превращается в тонны бытовых отходов. Огромные скопления отходов загрязняют планету. Время их разложения зависит от происхождения материала, из которого были изготовлены или произведены предметы (таблица 1) [3].

Таблица 1 – Ориентировочные сроки разложения бытовых отходов

Вид отходов	Сроки разложения
Отходы растительного и животного происхождения	
Помет животных	10–30 дней
Пищевые отходы	2–4 недели
Листья, мелкие веточки, кожура от банана и апельсина	1–6 месяцев
Изделия из шерсти	1 год
Изделия из хлопка, вискозы, льна	2–3 года
Изделия из натуральной кожи, остроганные доски	4 года
Останки костей	5–8 лет
Бумажные отходы: – автобусный билет; – газеты и книги; – вощеная бумага	1 месяц 2 года 5 лет
Крупные древесные остатки	до 10 лет
доски, покрытые лаком или окрашенные масляной краской	более 13 лет
Разные виды мусора	
Окурки (сигаретный фильтр)	до 3 лет
Банка железная	10 лет
Изделия из синтетических материалов	30–40 лет
Контейнеры (в морской среде): – металлические; – бетонированные	10 лет 30 лет
Резинка жевательная: – в теплых климатических условиях; – на холоде	30 лет сотни лет
Изделия из искусственной кожи	40–50 лет
Банка жестяная	до 90 лет
Обломки кирпича и бетона, аккумуляторы, батарейки, фольга, резина, изделия из пластмассы	100 лет
Полиэтилен	100–200 лет
Автомобильные покрышки	120–140 лет
Губка для мытья посуды	200 лет
Одноразовый подгузник, алюминиевая тара	500 лет
Стекло	более 1000 лет

Постановлением Межпарламентской Ассамблеи государств – участников Содружества Независимых Государств № 31-9 «О модельном законе “Об упаковке и упаковочных отходах”» в целях уменьшения воздействия упаковочных отходов на окружающую среду и здоровье населения создана система раздельного сбора, повторного использования и утилизации упаковки [4]. Закон решает задачи повторного использования упаковки, утилизации и других форм восстановления потребительских свойств использованной упаковки, а также уменьшения количества упаковочных

отходов в источнике. Эти задачи имеют безусловный приоритет перед размещением упаковочных отходов на полигонах.

Действие настоящего Закона распространяется на все виды упаковки, размещаемой на рынке государства, независимо от материала, из которого она изготовлена, и на процессы утилизации всех видов упаковки в конце ее жизненного цикла (упаковочных отходов), независимо от того, где они образовались (в промышленности, торговле, учреждениях, сфере обслуживания, жилищных или в любых других источниках). Требования настоящего Закона распространяются также на производителей упаковки, потребителей упаковки, поставщиков и импортеров, размещающих упаковку и упакованную продукцию на территории государства. Например, в Республике Беларусь действует план мероприятий, направленных на поэтапное снижение использования полимерной упаковки с ее замещением на экологически безопасную упаковку [5].

Уничтожение упаковочных материалов, осуществляется двумя основными способами – захоронением и сжиганием. При уничтожении отходов *способом захоронения* из полезного использования изымаются огромные участки земли (от 6 до 50 га для каждой свалки). Следует отметить, что на свалки вывозится много отходов, которые могли бы использоваться в качестве вторичного сырья: стекло, макулатура, пластмасса, металлы и др. *Способ сжигания* в большинстве случаев нерациональный и неэкономичный метод. Это наиболее сложный и высокотехнологичный вариант обращения с отходами. Сжигание требует предварительной обработки твердых бытовых отходов. При их разделении стараются удалить крупные объекты, металлы и дополнительно измельчить. При сжигании многих веществ происходит выделение ядовитых продуктов, которые могут попадать в атмосферу, почву, воду, а через них и в организм человека. При этом зола составит 30 % от исходного веса отходов, и она не может быть захоронена на обычных свалках. Поэтому мусоросжигательные установки должны быть оборудованы специальными фильтрами и газуловителями. Такое оборудование стоит недешево и довольно быстро изнашивается. В связи с этим метод сжигания отходов не получил широкого распространения. Как правило, он оправдывает себя только в случаях, когда разделение мусора невозможно и сжигание является единственным способом его уничтожения.

С точки зрения экономической целесообразности и экологической безопасности наиболее рациональный подход к утилизации использованной упаковки – это ее переработка для повторного использования, а в конечном итоге – ее деградация и разложение до экологически безопасных продуктов.

1. Сбор и утилизация отходов упаковки. Все системы сбора отходов упаковки для ее дальнейшей переработки адаптированы к местным условиям и включают в себя комбинации схем сбора отходов упаковок из различных материалов, отдельного сбора металлических упаковок и общего сбора (металлические банки собираются вместе с отходами у населения). Для *металлических упаковок* оптимальным решением являются все же системы общего сбора отходов, так как системы раздельного сбора, привязанные к одному виду материала (например, только металлических банок из-под напитков), редко имеют экологическое или экономическое обоснование.

При переработке металлической тары и упаковки используют различные способы сепарации отходов по видам материалов. Видовая сортировка позволяет производить из отходов высококачественные вторичные материалы. Сортировку проводят по:

- физическим признакам (магнитной восприимчивости, плотности, электропроводности и др.);
- внешним признакам (цвету, характеру излома и др.);
- предметным признакам;
- маркировке деталей;

– результатам химического, спектрального, рентгеновского, радиационного анализов.

Широко используются способы, основанные на различиях в магнитных, электрических и других физических свойствах отходов [6].

Утилизация и переработка *бумаги и картона* являются наиболее простыми и экологичными (они разлагаются на 100 % и растворяются в окружающей среде, не нанося ей никакого ущерба), тем самым обеспечивая и наименьшую стоимость процесса. Это особенно важно с точки зрения проблемы загрязнения окружающей среды. Во многих странах этот аспект играет важную роль при выборе упаковочного материала. В будущем, вероятно, именно из-за наиболее чистого процесса утилизации и переработки картон станет неоспоримым лидером в производстве упаковки.

Повторная переработка картонной упаковки возможна не всегда. В случае, если в производстве картонной коробки использовались фольга, лак и прочие подобные материалы, они не позволяют получить из отходов качественное вторичное сырье. Часто упаковку изготавливают с применением полимеров и различных покрытий, окрашивают, проклеивают и т.д. Прежде чем направить эти виды бумаги и картона на переработку, от них отделяют инородные примеси.

Утилизация использованной и пришедшей в негодность тары и упаковки из картона может происходить по следующим направлениям:

- повторное использование для производства бумаги и картона;
- использование в качестве наполнителей в разных производствах;
- захоронение или уничтожение в составе твердых бытовых отходов.

Поскольку основным компонентом картона являются волокна целлюлозы, использованный картон или бумажный утиль можно подвергать рециклингу [7].

Отходы свежей бумаги, образующиеся в процессе производства, можно добавлять в пульпу. Однако тару и упаковку необходимо предварительно обработать для удаления печатной краски, элементов переплета и т.д. [8]. В отличие от стекла, бумагу и картон нельзя подвергать рециклу произвольное число раз: волокна целлюлозы разрушаются при использовании, в производственных процессах и при удалении краски; укороченные волокна настолько уменьшаются в длине, что проходят сквозь сетку машины для производства бумаги. Для поддержания качества бумаги или картона, особенно их цвета и прочностных свойств, приходится ограничивать количество бумажного утиля, добавляемого в пульпу (его количество зависит от качества бумаги или картона, которое необходимо получить). Бумага, получаемая только из одного утиля (100 % рециклинга), серая: дальнейшее отбеливание разрушило бы структуру волокон и, следовательно, ухудшило бы качество бумаги.

Отходы комбинированных материалов на основе картона и бумаги в большинстве случаев сжигаются на мусоросжигательных заводах. Сжигание в печах не требует в значительных масштабах использования дополнительного топлива. Одной из основных целей мусоросжигательных заводов является внедрение так называемых эффективных технологий, когда сжигание упаковочных материалов позволяет производить энергию и тепло, не оказывая дополнительной экологической нагрузки на окружающую среду [8].

Стекло представляет собой на 100 % рециклируемый материал, поскольку после его переработки не остается побочных материалов, которые отрицательно влияют на окружающую среду. Каждые 1000 кг переработанных отходов стекла экономят более 1000 кг природных материалов, в том числе 200 кг известняка, около 180 кг соды и более 600 кг песка. Кроме этого, на сдаче материала в пункты приема стеклотары можно заработать дополнительные средства [9].

Утилизацию стеклянной тары проводят по трем направлениям [8]:

- 1) использование в качестве вторичного сырья при производстве стеклянной тары;

2) использование в качестве одного из компонентов-наполнителей в различных производствах;

3) захоронение в составе твердых бытовых отходов.

Утилизация и переработка стеклобоя – поэтапный процесс, состоящий из следующих основных стадий [10]:

- осуществление сбора отходов из стекла;
- перевозка собранных отходов на завод по переработке стекла;
- сепарация, очистка от разных примесей, промывка отходов;
- измельчение стекла на специальном оборудовании, размол мелких кусков в порошок;
- упаковка произведенного стеклянного порошка с целью последующего использования.

В утилизации отходов стекла преимущественно используют технологии, которые не влияют отрицательно на состояние окружающей среды, а также не требуют больших энергетических затрат. Именно поэтому популярность получили современные перерабатывающие системы, основанные на фильтрации и последующем расплавлении стекла по инновационной «газовой» технологии.

Основным направлением применения стеклобоя во всем мире является производство стеклянной тары. Средний удельный расход стеклобоя составляет (%): 15 в Великобритании, 20 в Венгрии, 20–30 в США, 24 в Чехии, 30 в Германии и 40 в Нидерландах [8]. Полученная в результате стекломасса применяется также для производства материалов, используемых в строительстве, стеклопакетов, стекол для окон, стеклоблоков, изоляционных материалов и других типов продукции [9].

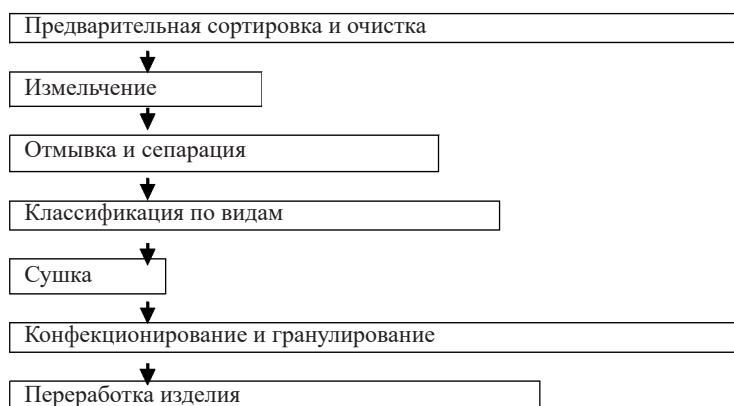
2. Утилизация полимерных отходов. Упаковка из синтетических полимеров, составляющая примерно 40 % бытового мусора, практически «вечна» – она не подвергается разложению. Поэтому использование пластмассовой упаковки сопряжено с образованием отходов в размере 40–50 кг/год в расчете на одного человека [11]. Утилизация полимерных отходов ввиду быстрого роста объема их применения помогает решить важные экономические и экологические проблемы, позволяя сократить потребление первичных материальных ресурсов [8]. Например, Великобритания с 1 апреля 2022 г. вводит запрет на изготавливаемую импортированную пластиковую упаковку, которая включает менее 30 % вторичного материала.

Экологические вопросы по полимерной упаковке решаются по следующим направлениям:

- применение многооборотной тары;
- сжигание использованной полимерной упаковки по специальной технологии;
- пиролиз и получение жидкого и газообразного топлива;
- утилизация отходов полимерной тары во вторичное сырье для получения новой тары и упаковки, изготовления изделий бытового и технического назначения;
- захоронение на полигонах и свалках;
- использование самодеструктируемой полимерной упаковки.

Рециклинг бывших в употреблении пластмасс является важной проблемой для полимерной промышленности. Несмотря на то, что содержание пластмассовых изделий в отходах относительно невелико (около 7–8 % по массе), низкий удельный вес делает эти отходы хорошо заметными (около 18–20 % по объему). Благодаря высокой стойкости к воздействию окружающей среды данные материалы сохраняются в естественных условиях в течение длительного времени. Однако с точки зрения влияния на окружающую среду утилизация полимерных отходов может рассматриваться как важный экономический фактор, поскольку энергия и материалы поступают в повторное использование. Это позволяет сократить использование естественных ресурсов, снизить выбросы в окружающую среду, уменьшить потребление энергии и, кроме того, дает экономическую выгоду, при этом необходимо, чтобы техника вторичной переработки позволяла получать чистый и дешевый продукт (энергию или материалы).

Последовательность операций при вторичной переработке пластмасс представлена на рисунке 1.



Источник: [8].

Рисунок 1 – Схема последовательности операций при вторичной переработке пластмасс

На всех видах *полимерных упаковок* ставится знак рециклирования. К полимерным упаковочным материалам относят семь групп полимеров, обозначенных цифровым символьным кодом, на котором изготовителем представлена информация о типе материала, возможностях его переработки, процедуры сортировки перед отправкой его на переработку для вторичного использования (таблица 2).

Таблица 2 – Знаки рециклирования упаковочных материалов из полимеров

Обозначение знака	Содержание знака
	РЕТЕ или ПЭТ – полиэтилентерефталат. ПЭТ очень хорошо поддается переработке и вторичному использованию. Переработка: осуществляется механически (измельчение) и физико-химически. Из продуктов вторичной переработки можно производить самую различную продукцию, в том числе и заново пластиковые бутылки.
	HDPE или ПЭВП – полиэтилен высокой плотности (низкого давления). ПЭВП очень хорошо поддается переработке и вторичному использованию. Переработка: HDPE-мусор измельчают в специальных дробилках, гранулируют, после чего гранулы снова переплавляют в различные изделия.
	PVC или ПВХ – поливинилхлорид, винил. Переработка: литье под давлением, прессование, экструзия, каландрование.
	LDPE или ПЭНП – полиэтилен низкой плотности (высокого давления). Переработка: измельчение LDPE-изделий и с последующим гранулированием.
	PP или ПП – полипропилен. Переработка: литье под давлением, прессование, экструзия.
	PS или ПС – полистирол. Переработка: экструдирование с последующим дроблением и гранулированием.
	OTHER или ДРУГИЕ. Смесь различных пластиков или полимеры, не указанные выше. Упаковка, промаркированная этим цифровым кодом, не поддается вторичной переработке и отправляется после использования на свалку или в печь мусоросжигательного завода.

В мире предлагаются и разрабатываются различные стратегии вторичной переработки. Наибольший прогресс достигнут в механической и химической переработке, хотя они различаются по степени распространенности, по своим достоинствам и недостаткам. *Механическая переработка* с помощью соответствующих установок обеспечивает простое вторичное использование тех же самых материалов с учетом некоторых потерь в их свойствах [12]. Среди отходов, которые успешно перерабатываются термомеханическими способами, можно назвать отходы полистирола, АСБ-пластика, вспененного полиуретана, полиамида, ПЭТ-бутылки, лавсановые пленочные отходы, отходы ПВХ (кроме винипласта и сополимеров ПВХ с винилацетатом). Достаточно хорошо перерабатываются и некоторые отходы полиэтилена [13].

Восстановление материалов посредством *химической переработки* выдает продукт в виде мономеров, из которых получают новое полимерное сырье, а также химические вещества и топливо; однако этот метод требует привлечения значительных ресурсов и специального оборудования [12].

Ряд проблем возникает при переработке отходов многослойных упаковочных материалов. Одна из них состоит в том, что при большом числе способов соединения слоев невозможно переработать такие материалы по одинаковой технологии, так как для каждого типа упаковки необходим отдельный метод переработки, позволяющий разделить слои или хотя бы сепарировать по типам.

Другая проблема переработки заключается в большом количестве типов пленок, которые имеют разную толщину, плотность, наполнение и существенно отличаются по своим физико-химическим свойствам [13]. С экономической точки зрения разделение многослойных материалов – очень дорогой процесс, а надежность получения их составляющих стопроцентной чистоты практически невозможна [14]. Способы переработки многослойных упаковочных материалов заключаются в следующем [13].

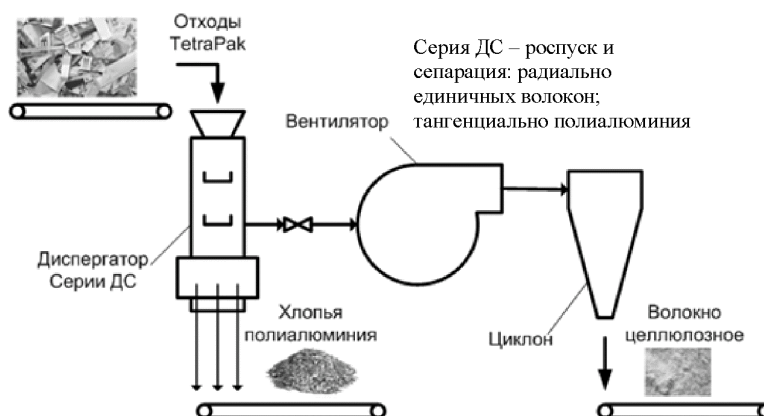
1. *Расслоение* многослойной упаковки и сепарация полученных полимеров. Наиболее приемлемым способом, позволяющим разделить полимеры, является химическое взаимодействие на многослойную композицию подбором органического растворителя с определенными требованиями (не должен растворять сепарируемые полимеры, быть доступным и нетоксичным, растворять клеи, используемые для соединения слоев полимера и т.д.).

2. *Прессование* под давлением. Поскольку расслоение и сепарация многослойных полимерных отходов не является высокорентабельной технологией, поэтому целесообразно использовать их в смеси с другими полимерами, что дает возможность получения материалов с широким диапазоном свойств методом прессования.

3. *Сжигание* многослойных полимерных отходов. Для выделения основной массы пленочных отходов из общего объема отходов применяют воздушную сепарацию. Под действием воздуха полимерные материалы выдуваются как наиболее легкие и обладающие хорошей парусностью. Вместе с ними также происходит отделение некоторого количества бумаги. Собранная полимерная фракция сжигается в специальной печи, что способствует решению проблемы уменьшения объема отходов и ликвидации полимерной пленочной составляющей [13; 15].

4. *Биодеградация*. Изготовление био- и фотодеструктурируемых многослойных упаковочных материалов является наиболее перспективным решением проблемы их переработки в плане сокращения длительного воздействия на окружающую среду. Переработка отходов такой упаковки предусмотрена на стадии изготовления исходного материала.

Например, для многослойной упаковки типа «ТетраПак» разработан сухой метод переработки путем воздействия на ее фрагменты силами трения. После такого механического воздействия происходит отделение целлюлозы от полиалюминиевой смеси, а затем разделение ее при помощи воздушной струи на алюминий и полиэтилен [16–18]. На рисунке 2 представлена схема одного из вариантов переработки упаковки типа «ТетраПак» [19].



Источник: [19].

Рисунок 2 – Схема переработки упаковки типа «ТетраПак»

3. Экологическая маркировка. С целью более рациональной организации сбора и удобства сортировки отходов используются специальные экологические знаки. В ЕС введена в употребление унифицированная экологическая маркировка, которая наносится на упаковку товара, и предпринимаются меры, направленные на ее популяризацию [20].

Экологическая маркировка подразделяется на три основные группы:

1. Знаки, указывающие на степень экологической безопасности продукции или упаковки.



Единый экологический знак Европейского союза. Согласно требованиям ЕС, маркировка выполняется в двух цветах – черном и белом или голубом и зеленом. Применяется преимущественно для маркировки товаров, которые относятся к опасным, но выпускаются и используются с соблюдением экологических требований.



Знак «Зеленая точка» – наиболее известный и узнаваемый знак экологической маркировки. Выполняется в черно-белом и зелено-белом вариантах. Знак свидетельствует о возможности вторичной переработки упаковочного материала в рамках «Дуальной системы» (DSD). Право на нанесение данного знака имеют в основном фирмы, которые осуществляют финансовую поддержку немецкой программы переработки отходов.



Знаки вторичной переработки – наносятся на изделия, пригодные для дальнейшей переработки или изготовленные из переработанного материала. Существует целая группа подобных знаков, практически все они символизируют замкнутый цикл (создание – использование – утилизация). Дополнительно может указываться материал, из которого изготовлено изделие.



Знак «Голубой Ангел» (Der Blaue Engel, Германия) – означает, что продукция соответствует требованиям экологической безопасности.



Знак «Белый Лебедь» (Скандинавские страны) – подтверждает соответствие товара довольно жестким скандинавским экологическим требованиям.



«Экознак» (Япония) – экологическая маркировка японской ассоциации по охране природы.



Существуют и другие экологические знаки для маркировки продукции компаний, которые вносят свой вклад в охрану окружающей среды.

Директивой ЕС установлены требования к маркировке упаковочных материалов (например, на воздушно-пузырчатую пленку или гофроупаковку). В соответствии с ними на упаковку наносят следующие знаки:



Возможность повторного (многократного) использования.



Упаковочный материал подлежит вторичной переработке.



Упаковка полностью или частично изготовлена из вторичного полимерного сырья (указывается процентное содержание ВПС).

Для облегчения идентификации материала и упрощения процесса сортировки внутри знака или рядом с ним наносят цифровой или буквенный код.

Цифровое обозначение упаковочного материала:

– от 1 до 19 – пластик (полимерная упаковка, полипропиленовая лента, пищевая пленка и т.д.);

– от 20 до 39 – бумага и картон (гофроупаковка, гофрокартон);

– от 40 до 49 – металлы;

– от 50 до 59 – древесина и древесные материалы;

– от 60 до 69 – текстиль;

– от 70 до 79 – стекло;

– от 80 до 100 – комбинированные материалы.

2. Знаки, напоминающие о бережном отношении к окружающей среде. Например:



Подобные знаки на упаковке товара призывают потребителей не загрязнять окружающую среду: выбрасывать упаковочный материал в урну или специальные мусорные баки, не сорить на улицах. Некоторые знаки указывают на необходимость отдельного сбора отходов для их дальнейшей переработки [20].

3. Предупреждающие знаки на продукцию, которая может нанести вред окружающей среде.



Такой знак указывает на опасность для флоры и фауны груза, который перевозится водным путем.



Знак для обозначения веществ, опасных для окружающей среды. В соответствии с законодательством ЕС он должен размещаться на упаковках, транспортных средствах, грузовых контейнерах, цистернах, содержащих опасные вещества.

Заключение. Утилизация отходов металлической упаковки и ее дальнейшая переработка адаптированы к местным условиям и включают в себя различные схемы ее отдельного сбора. Утилизация и переработка бумаги, картона, стекла являются наиболее простыми и экологичными. Рост производства полимеров и массовое использование упаковочных материалов обусловили проблему утилизации их отходов, поскольку синтетические полимеры десятки 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.

Анализ применяемых в разных странах способов обезвреживания полимерного мусора свидетельствует, что в технологиях обращения с отходами полимеров

преобладают два направления. Первое состоит в утилизации отработанных полимерных материалов: по возможности многоразовое использование упаковки, сжигание, пиролиз, рециклинг отходов с получением тепловой энергии и полезных веществ. Тем не менее эти методы технологически сложны, характеризуются низким КПД и высокой стоимостью. Второе направление предусматривает захоронение отходов упаковки в почву, однако этот путь, обуславливающий рост площади свалок и мусорных полигонов, экологически опасен. Поэтому значительное распространение получила так называемая инициатива *zero-landfill*, т.е. полный отказ от захоронения отходов. В частности, ассоциация европейских производителей пластмасс *Plastics Europe* призывает полностью отказаться от захоронения полимерных отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Любешкина, Е. Г. Экологические аспекты потребления полимерной упаковки [Электронный ресурс] / Е. Г. Любешкина // Полимерные материалы. – 2010. – Вып. 4. – Режим доступа : <http://www.polymerbranch.com/magazine/archive/viewdoc/2010/4/1298.html>. – Дата доступа : 25.05.2021.
2. Съедобная упаковка – уже реальность [Электронный ресурс] // Продукт.ВУ. – 2007–2021. – Режим доступа : <https://produkt.by/news/sedobnaya-upakovka-uzhe-realnost>. – Дата доступа : 14.05.2021.
3. Сроки разложения бытовых отходов [Электронный ресурс] // Электронная экологическая библиотека. – 2021. – Режим доступа : <https://ecology.aonb.ru/sroki-razlozhenija-bytovyh-othodov.html>. – Дата доступа : 17.05.2021.
4. О модельном законе об упаковке и упаковочных отходах [Электронный ресурс] : постановление Межпарламентской Ассамблеи государств – участников СНГ № 31-9 от 25 нояб. 2008 г., Санкт-Петербург // Консорциум «Кодекс». – 2021. – Режим доступа : <https://docs.entd.ru/document/902157678>. – Дата доступа : 10.05.2021.
5. О поэтапном снижении использования полимерной упаковки [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 13 янв. 2020 г., № 7 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=C22000007>. – Дата доступа : 10.05.2021.
6. Ломакин, Д. В. Утилизация металлической тары и упаковки / Д. В. Ломакин, В. П. Макеев, Ю. В. Князев // Молодой ученый. – 2015. – № 24. – С. 318–322.
7. Утилизация картона [Электронный ресурс] // ООО «Контур-Пак». – 1996–2021. – Режим доступа : https://www.korobok.ru/katalog_fefco/stati/utilizatsiya_kartona/. – Дата доступа : 09.07.2021.
8. Ермаков, А. И. Утилизация тары и упаковки : учеб.-метод. пособие / А. И. Ермаков. – Минск : БНТУ, 2017. – 194 с.
9. Утилизация стекла – давайте заботиться о планете вместе! [Электронный ресурс] // Утилизация отходов в России. – 2021. – Режим доступа : <http://net-othodov.com/stati/utilizacija-stekla-davaite-zabotitsja-o.html>. – Дата доступа : 11.05.2021.
10. Весь процесс переработки стекла: утилизация как способ сохранить природу и заработать [Электронный ресурс] // RCYCLE.NET: Все о переработке вторсырья и утилизации отходов. – 2015–2021. – Режим доступа : <https://rcycle.net/steklo/pererabotka-utilizatsiya>. – Дата доступа : 25.06.2021.
11. Рециклинг и утилизация тары и упаковки : учеб. пособие / А. С. Клинков [и др.]. – Тамбов : Тамб. гос. техн. ун-т, 2010. – 112 с.
12. Мантия, Ф. Ла. Вторичная переработка пластмасс / Ф. Ла Мантия (ред.) ; пер. с англ. под. ред. Г. Е. Зайкова. – СПб. : Профессия, 2006. – 400 с.
13. Липик, В. Т. Рециклинг и утилизация полимерных отходов / В. Т. Липик, Н. Р. Прокопчук. – Минск : БГТУ, 2008. – 290 с.
14. Шаповалов, В. М. Многокомпонентные полимерные системы на основе вторичных материалов / В. М. Шаповалов, З. Л. Тартаковский ; под общ. ред. Ю. М. Плескачевского. – Гомель : ИММС НАН Беларуси, 2003. – 262 с.
15. Утилизация и вторичная переработка тары и упаковки из полимерных материалов : учеб. пособие / А. С. Клинков [и др.]. – Тамбов : Тамб. гос. техн. ун-т, 2010. – 100 с.
16. Николайкина, Н. Е. Подготовка отходов многослойной пищевой упаковки к переработке во вторичные материалы / Н. Е. Николайкина, О. Ю. Маюсан, Н. А. Сальников // Известия МГТУ «МАМИ». – 2014. – Т. 3, № 1 (19). – С. 34–38.
17. Гонопольский, А. А. Комплексная утилизация отходов многослойных упаковочных материалов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 03.02.08 / А. А. Гонопольский ; Москов. гос. ун-т инженер. экологии. – М., 2011. – 16 с.
18. Переработка многослойной гибкой полимерной упаковки [Электронный ресурс] // ТБО – Обращение с отходами. – 2020–2021. – Режим доступа : <https://www.solidwaste.ru/i/publ/1456/upakovki.pdf>. – Дата доступа : 16.06.2021.

19. Схема переработки многослойных упаковочных материалов [Электронный ресурс] // Парматех. – 2011–2021. – Режим доступа : <https://www.parmatech.org/slozhnyie-otkhodyi/>. – Дата доступа : 16.06.2021.
20. Ухарцева, И. Упаковка продуктов питания: Тенденции и перспективы / И. Ухарцева, В. Гольдаде, Е. Цветкова. – Deutschland : LAP Lambert Academic Publishing. Omni Scriptum GmbH&Co. KG, 2019. – 251 p.

Поступила в редакцию 12.10.2021.

“Vesnik of Yanka Kupala State University of Grodno. Series 6. Engineering Science”
Vol. 11, No. 2, 2021, pp. 60–71
© Yanka Kupala State University of Grodno, 2021

Utilization of polymer packaging materials as a basis of environmental safety: traditional materials

I. Yu. Ukhartseva¹, E. A. Tsvetkova², V. A. Goldade³, V. M. Shapovalov⁴

¹ P. O. Sukhoi Gomel State Technical University (Belarus)
Oktiabria Ave., 48, 246029, Gomel, Belarus; e-mail: ukhartseva@yandex.ru

² V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus (Belarus)
Kirova St., 32a, 246050, Gomel, Belarus; e-mail: tsvetkova21@mail.ru

³ V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus (Belarus)
Kirova St., 32a, 246050, Gomel, Belarus; e-mail: victor.goldade@gmail.com

⁴ V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus (Belarus)
Kirova St., 32a, 246050, Gomel, Belarus; e-mail: v.shapovalov@tut.by

Abstract. The introduction contains an analysis of the literature data on the problem of environmental contamination with used packaging materials and the negative impact on human health. The greatest difficulties are caused by the handling of waste from polymer packaging as the most environmentally hazardous, since synthetic polymers decompose for a long time in natural conditions. The main provisions of the regulatory and legal documentation on the reuse of packaging, recycling and reducing the amount of packaging waste are presented. The purpose of the work is to analyze global trends in the ways of recycling various packaging materials. The growth of their production and use has caused the problem of packaging waste disposal, which includes various methods that differ in technological processes, the degree of environmental safety and profitability. The main part provides information on ways to dispose of waste from traditional packaging materials made of metal, paper, cardboard, glass and polymers. It is noted that the waste of packaging made of metal and glass is subjected to one hundred percent recycling. Recycling of paper and cardboard from the point of view of the problem of environmental pollution is the most environmentally friendly. The analysis of the methods of polymer waste disposal used in different countries indicates that two directions prevail in the technologies of polymer waste management. The first is the disposal of used polymer materials: if possible, reusable packaging, incineration, pyrolysis, recycling of waste to produce thermal energy and useful substances. However, these methods are technologically complex, characterized by low efficiency and high cost. The second direction provides for disposal of packaging waste into the soil, but this path which leads to an increase in the area of landfills is environmentally dangerous. In conclusion, it is noted that currently, the so-called zero-landfill initiative, that is, the complete rejection of landfills, has become widely used to solve the problem of disposing of packaging waste in order to protect the environment. In particular, Plastics Europe, an association of European plastics manufacturers, calls for a complete elimination of polymer waste disposal.

Keywords: packaging materials, waste, utilization, pyrolysis, disposal, recycling.

References

1. Liubeshkina E. G. Ecological aspects of polymer packaging consumption [*Ekologicheskie aspekty potrebleniia polimernoj upakovki*]. *Journal Polymer Materials*, 2010, issue 4 [Electronic resource].
2. Edible packaging is already reality [*S"edobnata upakovka - uzhe real'nost'*]. Product.BY, 2007-2021 [Electronic resource].
3. Dates of the decomposition of household waste [*Sroki razlozheniia bytovykh otkhodov*]. Electronic ecological library, 2021 [Electronic resource].
4. On the model law on packaging and packaging waste [*Model'nyi zakon ob upakovke i upakovochnykh otkhodakh*]: *Resolution of the Interparliamentary Assembly of the CIS Member States No. 31-9 on Nov. 25, 2008, St. Petersburg*. Codex Consortium, 2021 [Electronic resource].

5. About the phased decrease in the use of polymer packaging [O poetapnom snizhenii ispol'zovaniia polimernoj upakovki] : Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, Jan. 13, 2020, No. 7. National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus [Electronic resource].
6. Lomakin D. V., Makeev V. P., Kniazev Yu. V. Disposal of metallic packaging and packaging [Utilizatsiia metallicheskoi tary i upakovki]. *Molodoi uchenyi*, 2015, No. 24, pp. 318-322.
7. Recycling of cardboard [Utilizatsiia kartona]. Kontur-Pak LLC, 1996-2021 [Electronic resource].
8. Ermakov A. I. Disposal of containers and packaging [Utilizatsiia tary i upakovki : ucheb.-metod. posobie]. Minsk, 2017, 194 p.
9. Glass Disposal - Let's take care of the planet together! [Utilizatsiia stekla - davaite zaborit'sia o planete vmeste!]. Waste disposal in Russia, 2021 [Electronic resource].
10. The whole process of glass recycling: recycling as a way to preserve nature and earn [Ves' protsess pererabotki stekla: utilizatsiia kak sposob sokhranit' prirodu i zarabotat']. RCYCLE.NET : All about recycling and waste disposal, 2015-2021 [Electronic resource].
11. Klinkov A. S. [et al.]. Recycling and disposal of containers and packaging [Retsikling i utilizatsiia tary i upakovki : ucheb. posobie]. Tambov, 2010, 112 p.
12. Mantle F. L. Recycling of plastics [Vtorichnaia pererabotka plastmass]; transl. from Engl. Ed. by G. E. Zaikov. St. Petersburg, 2006, 400 p.
13. Lipik V. T., Prokopchuk N. R. Recycling and utilization of polymer waste [Retsikling i utilizatsiia polimernykh otkhodov]. Minsk, 2008, 290 p.
14. Shapovalov V. M., Tartakovski Z. L. Multicomponent polymeric systems based on secondary materials [Mnogokomponentnye polimernye sistemy na osnove vtorichnykh materialov]; Ed. by Yu. M. Pleskachevski. Gomel, 2003, 262 p.
15. Klinkov A. S. [et al.]. Disposal and recycling of containers and packaging from polymeric materials [Utilizatsiia i vtorichnaia pererabotka tary i upakovki iz polimernykh materialov : ucheb. posobie]. Tambov, 2010, 100 p.
16. Nikolaikina N. E., Mayusan O. Yu., Salnikov N. A. Preparation of waste of multilayer food packaging to recycling into secondary materials [Podgotovka otkhodov mnogosloinoi pishchevoi upakovki k pererabotke vo vtorichnye materialy]. *Izvestia MGTU "MAMI"*, 2014, vol. 3, No 1 (19), pp. 34-38.
17. Gonopolski A. A. Comprehensive utilization of waste of multilayer packaging materials [Kompleksnaia utilizatsiia otkhodov mnogosloinykh upakovochnykh materialov : avtoref. dis. ...kand. tekhn. nauk]. Moscow, 2011, 16 p.
18. Preparation of waste of multilayer food packaging into secondary materials [Podgotovka otkhodov mnogosloinoi pishchevoi upakovki vo vtorichnye materialy]. MSW - Waste management, 2020-2021 [Electronic resource].
19. Processing scheme of multilayer packaging materials [Skhema pererabotki mnogosloinykh upakovochnykh materialov]. Parmatech, 2011-2021 [Electronic resource].
20. Ukhartseva I., GoldadeV., Tsvetkova E. Food packaging: Trends and prospects [Upakovka produktov pitaniia: Tendentsii i perspektivy]. Germany, 2019, 251 p.



Уважаемые авторы!

Более подробно требования к оформлению материалов, а также условия для принятия материалов см. на сайте журнала

<http://vesnik.grsu.by>