УДК 658.567.1

Інноваційні шляхи утилізації полімерної упаковки

М.К. Турчиняк, к.т.н., Н.С. Палько, к.т.н., О.Я. Давидович, к.т.н., Львівська комерційна академія

Проблема раціонального використання природних та вторинних ресурсів, охорони навколишнього середовища за своєю актуальністю та складністю займає одне з провідних місць у наукових і практичних дослідженнях. Пакування товарів, що надходять у продаж, стало необхідністю, адже упаковка забезпечує збереження споживчих властивостей продукції, полегшує її транспортування та виконання навантажувально-розвантажувальних робіт. Усе частіше виробники віддають перевагу полімерній тарі, бо вона легка, достатньо міцна та хімічно стійка. Основними видами споживчої і транспортної полімерної тари є банки, коробки, флакони, пакети, ящики, мішки, каністри. Її світове виробництво сьогодні досягає 300 млн т [1].

Використана упаковка може мати вторинне застосування або підлягати утилізації. Утилізація — це процес перероблення використаних виробів, упаковки, тари або відходів виробництва продукції, які можуть бути застосовані в подальшому технологічному процесі як вторинна сировина, вихідні матеріали або для отримання енергії із застосуванням відповідних технологій [2].

Усі ілюстрації до статті взяті з відкритих джерел як приклади.
Усі права на зображені на них паковання належать їхнім правовласникам.

Європарламент ще у 1991 р. прийняв директиву щодо упаковки, в якій було чітко поставлено завдання — вжити особливих правових та адміністративних заходів для захисту довкілля, забезпечити рівні умови для конкуренції в галузі упаковки. Згідно із цією директивою, в кожній країні ЄС виробники та споживачі тари та пакувальних матеріалів несуть відповідальність за забруднення території відходами тари та упаковки, відшкодовують витрати на збір, сортування, перероблення та утилізацію цих відходів. Директивою поставлено завдання: до прийняття державами власних законів забезпечити перероблення не менше 50 % кожного з видів пакувальних матеріалів, а 25 % відходів — використовувати як сировину під час вторинного перероблення.

У ряді країн прийняті та успішно діють спеціальні національні програми: у Бельгії — Fost Plus, у Данії — Action Plan for West and Recycling 1993–97, у Німеччині — Grune Punkt, в Австрії — ARA, у Франції — Eco — Embballages, в Іспанії — Punto Eko — Embfilges, у Польщі — BIS System тощо. Лідерами з перероблення та вторинного використання відходів упаковки є Німеччина, Нідерланди та Австрія, в яких переробляється більше 70, 65, 60 % відходів відповідно [3].

Утилізація виробів із полімерів надзвичайно диференційована. У випадку виробів із мономатеріалів, наприклад пляшок із поліетилену, проблема значною мірою вирішена, натомість утилізація багатошарових матеріалів є проблематичною.

Вторинна полімерна сировина, або полімерні відходи — полімери у вигляді виробничих відходів, які можуть бути використані в подальшому технологічному процесі.

Перероблення полімерів — у цілому дорогий і складний процес. Потрібно відзначити, що для вторинного перероблення використовуються не всі типи полімерів, а лише деякі: поліетилен низької і високої густини (ПЕВГ і ПЕНГ); поліетилентерефталат (ПЕТФ); поліпропілен (ПП); полістирол (ПС). З деяких видів полімерів (наприклад ПЕТФ) можна отримувати високоякісну пластичну масу з тими ж властивостями, інші (наприклад полівінілхлорид (ПВХ)) після перероблення можуть бути використані тільки як будівельні матеріали.

Що стосується перероблення полімерів в Україні, аналіз показує, що ціни на вітчизняні полімерні матеріали впритул наблизилися до закордонних, а часом і випереджають їх. А ось витрати на збір і перероблення полімерних відходів у нас у кілька разів нижчі, якщо врахувати фактичну

Рис. 1. *Транспортна система подачі відходів*

Рис. 2. *Секція подрібнення*

різницю в заробітній платі та вартості енергоресурсів. Тому вторинне перероблення полімерних відходів може стати для вітчизняної економіки прибутковим [4, 5].

Полімери забезпечують високу ефективність пакувального виробництва, однак, перероблення використаної упаковки пов'язане з певними труднощами. В основі яких лежить комплексний склад пакувальних матеріалів (суміші полімерів різних типів), різноманітність упаковки за видами, наприклад стаканчики або тюбики, які легко забруднюються, використання комбінованих матеріалів, мала вага деякої упаковки, як у випадку полімерної плівки [4]. Проте зростаюча потреба в сировині та необхідність зниження кількості відходів призвели до розвитку нових технологій підвищення ефективності виробництва внаслідок вторинного перероблення полімерів.

Важливою передумовою для перероблення полімерних відходів є забезпечення чистоти їхнього сортування. На сортувальних лініях із застосуванням стрічкових транспортних систем проводиться ручний поділ відходів упаковки на певні фракції. Існують також гідроциклонний спосіб поділу матеріалів на легку і важку фракції, спосіб занурення у воду та сортування із застосуванням інфрачервоних променів. Механічному розподілу переважно передує подрібнення використаної упаковки.

Вироби з полімерних матеріалів складної структури можуть бути перетворені в грубозернистий агломерат. При цьому подрібнена упаковка піддається впливу високої температури, і коли досягається температура плавлення, речовина розм'якшується. Потім агломерат може бути оброблений різними сухими і мокрими способами, звільнений від частинок металу та паперу [6].

Отриманий гранульований матеріал можна використовувати як вторинну сировину за допомогою плавлення, формування та інших способів, які забезпечують одержання нових пакувальних матеріалів. Речовини, отримані цим способом, часто класифікуються як низькоякісні матеріали.

Полімерні пляшки можуть бути відсортовані за об'ємом і використані для різних цілей, які відповідають застосуванню ПЕВГ, ПП і ПЕТФ.

Використання полімерних відходів як сировини базується на поділі полімерів на початкові мономери. Цей спосіб застосовується, наприклад, для виробництва метанолу. У такому випадку слід звернути увагу на дотримання енергетичного балансу, бо цей спосіб є енергетично затратним. Перевагу має редукційний спосіб — використання полімерів у якості палива.

Полімери, які не можуть бути утилізовані та використані як пакувальний матеріал, можуть застосовуватись у ролі важкого палива та вугілля в доменних печах для отримання чавуну, оскільки їхньої енергоємності достатньо для заміни первинної сировини на зразок коксу або природного газу. Перевага цього способу полягає у відсутності сортування й очищення використаних полімерів [7].

Основною проблемою в переробленні вторинної сировини є не відсутність технологій перероблення (сучасні технології дають змогу переробити до 90 % від загальної кількості відходів), а відділення її від решти сміття та розділення різних компонентів. Існує безліч технологій, що дають можливість розділяти відходи і вторинну сировину. Найдорожча і найскладніша з них — це вилучення вторинної сировини із вже сформованого загального потоку відходів на спеціальних підприємствах. Більш прогресивні вилучення — це заходи з роздільного збору відходів на вулицях за допомогою спеціальних контейнерів або організація системи роздільного збору відходів на побутовому рівні.

Федерацією чорної металургії Японії на добровільній основі прийнято зобов'язання досягти 10 %-ї економії енергії до 2014 р. у порівнянні з 1990 р. Крім того, заплановано додатково заощадити 1,5 % енергії в результаті використання побутових полімерних відходів як сировинного матеріалу для металургійного виробництва. Кількість перероблених полімерних відходів, які відповідають такій економії енергії, оцінюють приблизно в 1 млн т на рік.

У металургії відомі методи утилізації полімерних відходів вдуванням їх в доменні печі або використання як відновного агента замість вугілля під час відновлення залізної руди.

Технологія рециклінгу полімерних відходів з утилізацією в коксових печах розроблена, досліджена і застосована в промисловому масштабі фірмою Nippou Steel (Японія).

Спалювання відходів у сміттєспалювальних печах не є рентабельним способом утилізації. Під час цього процесу відбувається безповоротна втрата цінної хімічної сировини та забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами димових газів. Значна увага в утилізації вторинної полімерної сировини приділяється термічному розкладанню як способу перетворення високомолекулярних сполук у низькомолекулярні. Важливе місце належить піролізу.

Піроліз — це термічне розкладання органічних речовин із метою отримання корисних продуктів. За температур до 600 °C утворюються в основному рідкі продукти, а вище 600 °C — газоподібні, аж до технічного вуглецю. Піроліз ПВХ із додаванням відходів ПЕ, ПП і ПС за температури 350 °C і тиску до 30 атм. та за наявності каталізатора Фріделя-Крафтса у результаті обробки воднем дає можливість отримувати багато таких цінних хімічних речовин із виходом до 45 %, як: бензол, толуол, пропан, кумол, альфа-метилстирол тощо, а також хлористий водень, метан, етан, пропан.

До прогресивних способів утилізації відходів полімерів відносяться термічний і каталітичний піроліз за температури 500–1000 °C в безкисневому середовищі або в середовищі з нестачею кисню. Він дає змогу одержувати безсіркові види палива та вуглеводи. Перспективним також є застосування хімічних процесів, ідентичних поліконденсації ПЕТФ у твердому стані, що призводить до підвищення в'язкості матеріалу. Отримана гранула буде ідентичною первинній сировині [8].

Незважаючи на складність такого перероблення, відходи ПЕТФ є цінною вторинною сировиною, з якої можуть бути регенеровані вихідні мономери. Процес повторного використання виробів із ПЕТФ нескінченний. Виготовивши одного разу з відходів ПЕТФ виріб, його після зносу можна переробити в інший і так далі. Враховуючи важливість і складність проблеми поводження з відходами упаковки, в Україні було поставлено завдання вивчити зарубіжний досвід щодо способів збору та перероблення полімерних відходів із метою перейняти кращі методики отримання якісного матеріалу з вторинної сировини.

У ході досліджень були вивчені властивості ПЕ, ПП, ПВХ, ПС, ПЕТФ та ін. На основі термогравіметричного аналізу визначено втрати маси цих полімерів під час нагрівання в атмосфері азоту, а в пластометрі Гізелера — їхні пластичні властивості. Встановлено, що всі полімери починають розкладатися за температури нижчої температури розм'якшення вугілля або в температурному інтервалі, коли вугілля проявляє термопластичність. Це означає, що в результаті взаємодії між продуктами термічного розкладання полімерів і вугіллям можуть змінюватися властивості вугілля.

Перед використанням побутові полімерні відходи готують за наступною схемою: видаляють металеві включення за допомогою магнітного сортування; потім грубо подрібнюють у дробарці, а чужорідні матеріали видаляють за допомогою сепаратора; остаточно подрібнюють до розміру ~ 10 мм, після чого обсяг матеріалу зменшують обробкою шнековою мішалкою за температури 120 °C. Після такої обробки пластичну масу дроблять до розміру ~ 25 мм, охолоджують на конвеєрі повітрям, змішують із вугіллям і завантажують у коксову піч. Щільність агломерованих полімерів становить 0,72 г/см^3 (рис. 1–6).

Використання 1 % полімерних відходів у шихті для коксування в масштабах чорної металургії Японії еквівалентно утилізації до 500 тис. т/рік таких відходів, тобто половині від 1,5 %-ї економії енергії, запланованої Федерацією чорної металургії.

У США з використаних пляшок із ПЕТФ отримують дефіцитні мономери — діметилтерефталат і етиленгліколь, які знову використовуються для синтезу ПЕТФ заданої молекулярної маси і структури, необхідної для виробництва пляшок. Способом утилізації вторинної полімерної сировини, який переважає з економічного й екологічного поглядів, є її повторне використання та перероблення в інші вироби.

Повторне застосування допускає повернення у виробничий цикл використаної упаковки після її збору і відповідного оброблення (миття,

Рис. 5. Секція сортування

Рис. 6. Секція пакування

сушіння та інші операції), а також отримання дозволу санітарних органів на її повторне застосування за безпосереднього контакту із харчовими продуктами. Цей шлях придатний, як правило, для темно-зеленої тари з ПЕТФ.

Голландськими дослідниками компанії Alcoa Netherland була налагоджена технологія переороблення відходів, що включають комбінації алюмінію та полімерів (це кришки з-під пляшок, банки для слабоалкогольних напоїв і пива). Складність перероблення таких відходів полягає в тому, що полімерна складова достатньо міцно вставлена в кришку і може бути видалена тільки із значними зусиллями, а з іншого боку, вона перешкоджає переробленню алюмінію (залишки полімеру призводять до забруднення переплавленого алюмінію, що робить його надалі непридатним як сировинний матеріал). Цей матеріал, що залишається під час штампування кришки, повинен бути також перероблений у той же самий час, щоб досягнути замкненого циклу.

Дослідникам компанії Alcoa Netherland вдалося налагодити метод перероблення й утилізації полімерно-алюмінієвих відходів. Ними запропоновано спосіб, за допомогою якого матеріали, що включають комбінації алюмінію та полімерів, можуть бути перероблені в корисну сировину. Із цією метою технологія перероблення була розділена на стадії: піроліз полімеру в інертній атмосфері, крекінг або газифікація газів або пари, яка виділяється під час гідролізу, і фаза допалювання коксу, який залишається на алюмінії.

Стадія піролізу триває протягом значного часу, щоб забезпечити повне видалення HCl із ПВХ покриття кришки. Гази, що виділяються в процесі цієї стадії, направляють на рециркуляцію і використовують як інертне, вільне від кисню середовище для створення бажаної інертної атмосфери протягом піролізу.

Потім ці гази очищають, щоб видалити HCl, при цьому використовуючи їх як джерело енергії для процесу піролізу (для чого їх нагрівають). Для повного видалення коксу, який утворився під час піролізу на алюмінії, проводять допалювання протягом приблизного 10 хв. Ця технологія перероблення дає можливість ліквідовувати не тільки відходи з ПВХ, але також і матеріали, що включають ПЕ або ПП, фарби та лаки.

Вторинне перероблення відходів набуло поширення в багатьох країнах світу. Змішані цим шляхом відходи з полімерних матеріалів можуть перероблятися у вироби різного призначення (будівельні панелі, декоративні матеріали і т. д.). У США має місце особливо велике використання тари з ПЕТФ, прийнята і реалізується національна програма, відповідно до якої рівень вторинного перероблення пляшок із ПЕТФ буде доведений до 25–30 % (в порівнянні з 9–10 % на початку 90-х рр. XX ст.).

І це ще не всі інновації у сфері упаковки. Учені Західного резервного університету Кейза створили пінопласт із несумісних компонентів. Новий матеріал складається з молочного білка й звичайної глини. Новинка легша за пір'я та цілком може стати екологічною альтернативою пінополістиролу.

Так як білок складається з казеїну, сам по собі він не має достатньої міцності, то, щоб підсилити казеїн і підвищити його опір воді, науковці додали до нього деяку кількість глини (натрію мон礎мориллоніт) і реактивну молекулу гліцеральдегіду. Після цього висушили та виморозили отриману суміш й одержали губчатий аерогель. Потім загартували його в печі і перевірили на міцність. З'ясувалося, що новий губчатий матеріал досить міцний і придатний для комерційного використання. Він розкладається мікроорганізмами в навколишньому середовищі, при чому майже третина його руйнується вже за перші 30 днів із моменту утилізації.

Використання розкладальних полімерів — один з ефективних методів вирішення проблеми у цій ситуації. У наш час розвинені країни швидкими темпами намагаються впроваджувати біорозкладальні матеріали, що дасть їм змогу позбутися забруднення. Із застосуванням таких полімерів мінімізується їхній шкідливий вплив на екологію. Сучасні біорозкладальні полімери можуть бути отримані як із відтворювальної сировини, так і з нафтохімічної. Також можливе використання комбінованих технологій. Від типу полімерів та концентрації розкладальних матеріалів, вологості, температури залежить час їхнього розкладання.

Отже, враховуючи динаміку розвитку полімерної упаковки, можна

стверджувати, що її кількість зростає щороку в середньому на 8–12 %. Піддається рециркуляції лише 40 % упаковки, а 60 % — вивозиться на сміттєзвалища. В Україні має бути започатковано формування нових підходів та сучасної ідеології поводження з відходами на основі ресурсозбереження. Це стосується скорочення обсягів утворення відходів на стадії виробництва, поліпшення технологічних процесів, контролювання й оцінювання залучених у виробничий процес природних ресурсів. Для вирішення проблеми накопичення полімерних відходів доцільно застосовувати нові технології щодо збирання, сортування, перероблення та утилізації відходів, щоб звести до мінімуму небезпеку для здоров'я нанесення.

Література

1. Вторинна сировина. — Режим доступу: http://www.recyclers.ru

2. *Сирохман І.В.* Товарознавство пакувальних матеріалів і тари: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / І.В. Сирохман, В.М. Завгородня. — К.: Центр учбової літератури, 2009. — 616 с.

3. *Слабий В.Г.* Скільки коштує утилізувати відходи упаковки? / В.Г. Слабий, В.М. Кривошей // Упаковка. — 2012. — № 5. — С. 60–63.

4. Проблема утилізації. — Режим доступу: http://tovar.dtkt.net/books/book-14/chapter-1384

5. Основні напрями удосконалення полімерної упаковки. — Режим доступу: http://archive.nbuv.gov.ua/portal/soc_gum/sre/2011_4/ 154.pdf

6. European Business Association. — Режим доступу: http://old.eba.com.ua/ua/activities/committees/agrochemical/cms

7. ГалПЕТ. — Режим доступу: http://www.galpet.com.ua

8. Біодеградуюча упаковка: тенденції та перспективи. — Режим доступу: http://freken-bok.com/ru/freken/bio/rubric/29/artic/2142

Инновационные пути утилизации полимерной упаковки
М.К. Турчиняк, к.т.н., Н.С. Палько, к.т.н., О.Я. Давидович, к.т.н.
Утилизация упаковки является актуальной проблемой в Украине. В статье авторы указывают основные вопросы, связанные с отходами полимерной упаковки, которая может уменьшать негативное влияние отходов на окружающую среду и отвечает современным требованиям ведущих стран мира. Также авторы определяют основные способы утилизации упаковки.
Ключевые слова: полимерная упаковка; отходы; утилизация; способы утилизации.

Innovative ways of plastic packaging recycling
M.K. Turchinyak, Ph.D., N.S. Palko, Ph.D., O.J. Davidovich, Ph.D.
Recycling of packaging is an urgent problem in Ukraine. The authors describe the main questions associated with waste plastic packaging, which can reduce the negative impact of waste on the environment and meets the current requirements of the leading countries of the world. Also, the authors describe the basic methods recycling of packaging.
Key words: plastic packaging; waste; recycling; disposal methods.