

УДК 655.3.022

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ТА ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ
ІСНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ
УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ, ЗОКРЕМА ПОЛІГРАФІЧНИХ**

© А. С. Морозов, к.т.н., доцент, Ю. М. Колесник,
НТУУ «КПІ», Київ, Україна

Исследованы особенности разработки технологических систем утилизации отходов разного происхождения, а также их влияния на окружающую среду. Изложены принципы современных методологических, экологических и экономических аспектов, которые необходимо учитывать еще на стадии проектирования новых безотходных технологий.

The features of development of the technological systems of utilization of offcuts of different origin, and also their influences, are investigational on an environment. Principles of modern methodological, ecological and economic aspects which must be taken into account yet on the stage of planning of new zero-emission technologies are expounded.

*«... для каждого элемента в природе должен существовать определенный фермент или определенная технология утилизации»
(природний принцип, викладений у законах Коммонера).*

Постановка проблеми

Будь-яка система, у тому числі технічна, виникає спочатку уявно, шляхом виділення її з навколишнього середовища, завдяки якій вона «живе», функціонує і розвивається (рис. 1). Для можливості формального виділення технологічної системи із навколишнього середовища, установлення її меж, внутрішньої структури та характеру взаємозв'язку з нею, запроваджуються системоутворюючі фактори. При утворенні та організації нової технологічної системи утилізації металовідходів до них відносяться:

— глобальна необхідність раціональної утилізації всіх матеріальних відходів;

— збалансованість виробництва металевих виробів та якісної утилізації відходів, які при цьому утворюються;

— підтвердження факту первинності прогресивної технології і вторинності технічних засобів, що їх забезпечують;

— необхідність обліку стадій повного життєвого циклу (ПЖЦ) утворення металовідходів.

Нині при розробці безвідходних технологій відсутня методологія наступних аспектів: пошуку компромісних рішень виникаючих альтернатив при використанні простих та створенні складних технологічних систем (рис. 2), забезпечення функціонально-технологічного і методологічного спрямування будови і розвит-

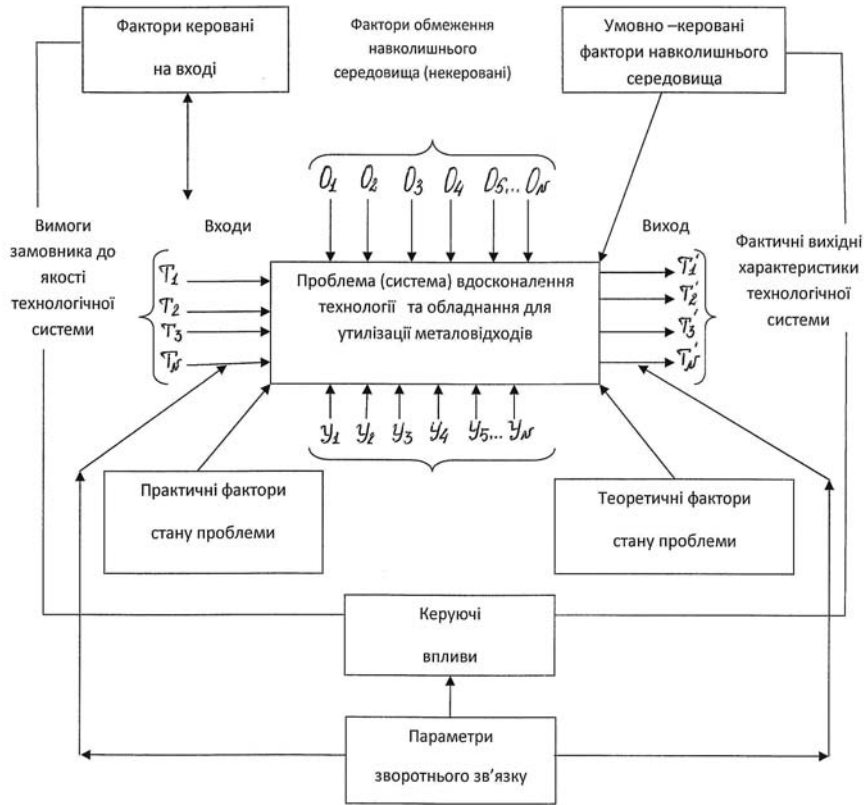


Рис. 1. Структурна схема моделі, яка утворена технологічною системою для утилізації металовідходів

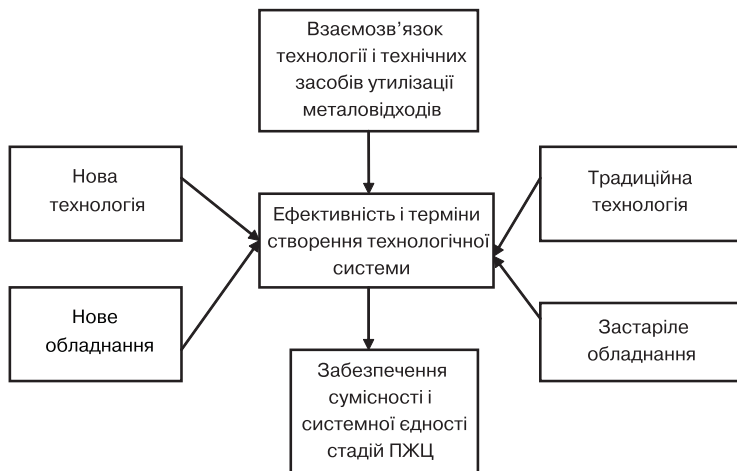
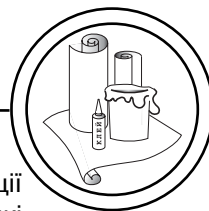


Рис. 2. Структурна схема компромісного рішення при утворенні технологічної системи по утилізації металовідходів



ку систем, організації технологічних і інформаційних зв'язків проектувальної системи з навколишнім середовищем. Якщо при розробці останніх не враховувати особливості впливу навколишнього середовища, то, наприклад, екологічна складова таких технологій буде мінімальною. Але умови розвитку новітніх ресурсозберігаючих технологій в Україні потребують нових підходів до розв'язання таких проблем.

Мета роботи

Метою досліджень, результати яких наведено у статті, є аналіз особливостей розробки

технологічних систем утилізації відходів, а також факторів, які оптимізують їх співіснування з навколишнім середовищем.

Результати проведених досліджень

Одним із важливіших структуроутворюючих факторів технологічних систем для утилізації металовідходів є структура, статика та динаміка металофонду країни, так як саме через металофонд, як генеральне перехресття, проходять і перетинаються основні матеріальні, економічні і технологічні потоки.

На рис. 3 надана структурна схема металофонду як замкнутого системного об'єкту

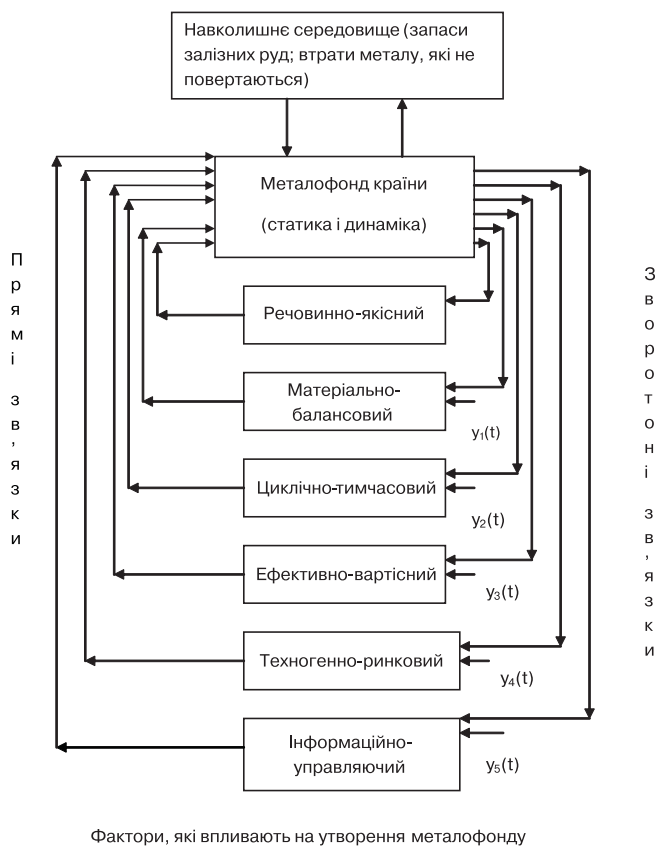


Рис. 3. Структурна схема металофонду як замкнутого системного об'єкту



того системного об'єкту, яка показує, що між навколишнім середовищем та самим металофондом існує постійний обмін безперервними потоками. Окрім того, на структурній схемі виділяються прямі зв'язки між наступними факторами металофонду, які визначають статистику і динаміку (речовинно-якісний; матеріально-балансовий; циклічно-тимчасовий; ефективно-вартісний; техногенно-ринковий; інформаційно-керований) та співвідповідні зворотньому зв'язку [1].

На рис. 4 представлено розподілення витрат та показників ефективності кожного етапу повного життєвого циклу (ПЖЦ) технологічної системи незалежно від її призначення. Теоретична та методологічна цінність обліку ПЖЦ технологічної системи відкриває великі реальні

можливості для удосконалення управління сукупністю етапів, сформованих в єдину організаційну модель.

На основі єдиної системи ПЖЦ відкриваються реальні шляхи удосконалення управління народним господарством, зокрема, у напрямку перерозподілу тривалості етапів циклу. Треба досягнути такого становища, щоб етапи дослідження, проектування, технології, виробництва і ліквідації стали більш короткими за часом за рахунок оптимізації циклу, а експлуатація більш тривалою.

На рис. 5 представлена структурна схема критеріїв стикування та сумісності окремих стадій ПЖЦ технологічної системи (ТС) для утилізації металовідходів. Висвітлення стадій ПЖЦ як інтегративного методологічного засобу дозволяє забезпечити

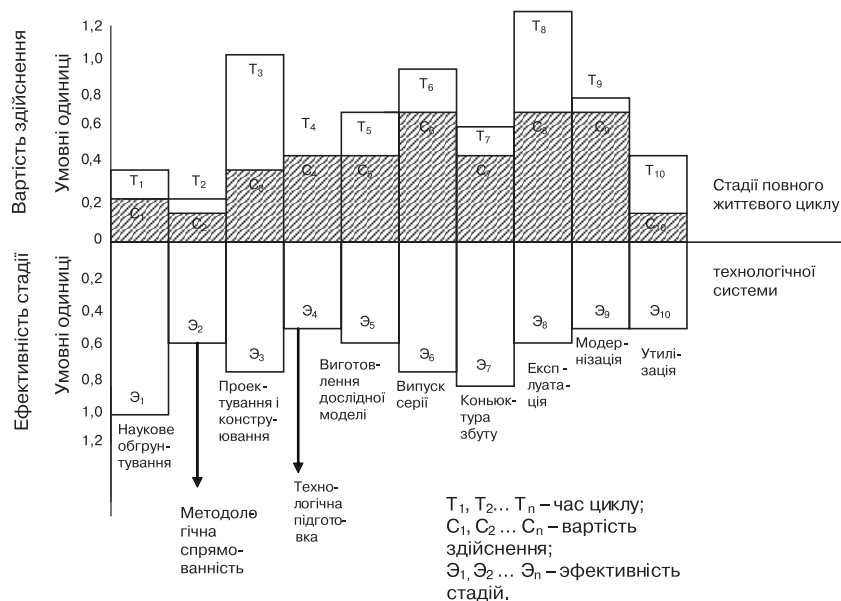
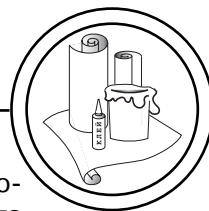


Рис. 4. Якісна діаграма основних показників стадій ПЖЦ технологічної системи для утилізації металовідходів (в умовних одиницях)

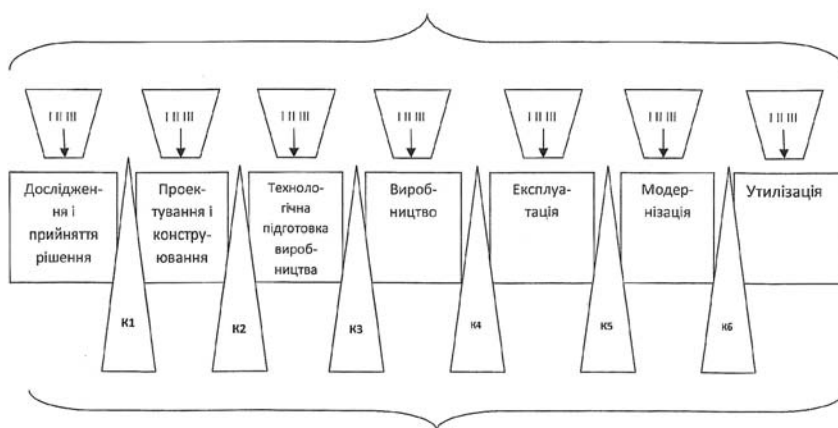


стабільність наукової творчості та керування з єдиних позицій знов утвореної організаційної системи. Нова організаційна система (цілісність стадії ПЖЦ) на-самперед забезпечує єдиний безперервний процес та можливість на кожному етапі досягти максимальної соціально-економічної ефективності при фіксованих витратах або задану ефективність при мінімальних ресурсоенергетичних вкладаннях. Проте, до сьогоднішнього часу в теорії і практиці створення, зокрема металургійного обладнання, в кращому випадку оптимізуються лише окремі стадії неповного «життєвого» циклу машин. У той же час, відомо, що поетапна оптимізація технологічної системи в цілому, відсутність системного підходу до аналізу стадій ПЖЦ технологічних машин приводить до великих помилок, особливо при роз-

рахунку їх вартості, а також прогнозуванні термінів фізичного та морального зносу.

На сьогодні вже існує ряд принципів (та реалізованих) підходів до переробки загальних відходів [2]. Піроліз дозволяє переробляти органічні відходи в горючі гази або рідке паливо, але потребує доволі однорідної маси, як пластики або шини. Ферментація головним чином використовується для відходів сільського господарства, але може бути використана для муніципальних відходів при виробництві біогазу. Анаеробна переробка руйнує органіку до метану і твердого залишку. Поглиблена переробка може застосовуватись для полімерів, але вартість її занадто висока, вона потребує сортування, транспортування на місці переробки, очищення і т.і. Відходи полімерів можна також використовувати як дже-

Етапи використання закону прогресивного розвитку техніки при створенні технологічних систем



Критерії стикування і сумісності окремих стадій повного життєвого циклу технологічної системи

Рис. 5. Структурна схема управління якістю при утворенні стадій ПЖЦ технологічної системи як єдиного цілого



рело енергії для виробництва металу; наприклад, у Німеччині використовується більш 100000 т пластиків наступним способом. Шини та розчинники можна використовувати для заміщення палива у виробництві цементу та вапна. Спалювання у плазмі може зменшувати об'єм муніципальних відходів до 90 %, але потребує додаткову обробку вихідних газів і до 30 % додаткових капіталовкладень. Біомеханічна переробка дає можливість відділити скло, метали і пластики і залишок піддати компостуванню, що практикується в Австрії і Німеччині.

В Англії щорічно біля 10 млн. т відходів, або 9 % всіх відходів, складають упаковки, половина яких надходить від домашнього господарства. Найвищий відсоток переробки пакувальних матеріалів в Німеччині, а в середньому для країн Європи він не перевищує 20–30 %. У відходах пакувальних матеріалів основне місце займає скло та пластики. Понад 375000 т алюмінію щорічно перероблюються із відходів упаковки. Однак, із пластикових упаковок перероблюється біля 15 %, що стримується відсутністю роздільного збору.

У відповідності з директивними документами Європейського союзу, розрізняють матеріальний та сировинний рециклінг. Перший — це рециклінг відходів, при якому здійснюється механічне виділення чистих матеріалів без їх хімічного змінювання, які надходять для виробництва нових продуктів.

Прикладом такого матеріального рециклінгу є механічне подрібнення стружкових відходів,

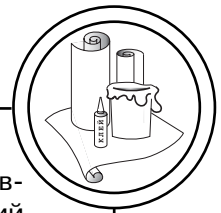
коли метал порошку відповідає певному металу або сплаву, із якого була отримана стружка.

Під сировинним розуміють рециклінг відходів, при якому здійснюється хімічне руйнування матеріалів та виробництво нових. Рециклінг матеріалів можна здійснювати різними методами, а саме: екструзією, інтрузією, методом шприц-литва, пресуванням. Продукція із вторинних матеріалів знаходить використання у багатьох галузях: шумозахисних стінок, дренажних труб, плівок, віконних рам, елементів обшивки тощо.

Для великої кількості багаточасових і забруднених полімерів рециклінг можливий тільки після попередньої тонкої очистки (облагоджування). Передумовою ресурсно-екологічного оновлення інфраструктури виробництва в ринкових умовах є активна діяльність спеціалізованої інноваційної інфраструктури. Зокрема, на шляху гармонічного посилення ресурсно-екологічного орієнтування податкового законодавства можливі наступні новації [3]:

1. на рівні місцевого самоврядування дозволити і рекомендувати запроваджувати 5–10 річний мораторій (екологічні податкові канікули) на всі види оподаткування виробництв і підприємств, задіяних у переробці відходів, які раніш не піддавались утилізації;

2. на загальнодержавному рівні відновити та ввести екологічний задаток, тобто державний збір з вартості товару, упакованого в біохімічний інертний матеріал (скло, картон і т.і.), з відшкодуванням сум податку у



випадку утилізації або повторного використання упаковки фірмою-виробником;

3. впровадити екологічний акциз, поступово, починаючи з 5 % стартової ставки і з одновідсотковим щорічним нарощуванням суми акцизу на екологічно небезпечні вироби, по відношенню до яких відома технічна альтернатива (наприклад, кадмієві батарейки, бензин з свинцевими домішками), і до рівня 25 % акцизу на товари із біохімічних інертних матеріалів одноразового використання (пакети із полімерних плівок, полімерні стрічки, пляшки та ін.), пропонуючи виробникам цих матеріалів замінити технологію виробництва такою, яка дозволяє створювати їх біоконверсію (біотехнологічну переробку).

Наприклад:

— можлива заміна алюмінієвої фольги плівкою із поліацетилену надвисокого тиску, яка здатна гнити;

— додавання некондиційної муки або відходів паперового, бавовнопаперового виробництва в полімерну масу при виготовленні плівки, що прискорює гниття та дозволяє використовувати такі модифікати у вермікультури (для годування відходами, сміттям селекційних дощових черв'яків, які виробляють цінне добриво — біогумус);

— перспективними є також полімери — нешкідливі продукти біотехнологічного виробництва, використання бактерій — утилізаторів продуктів генної інженерії тощо.

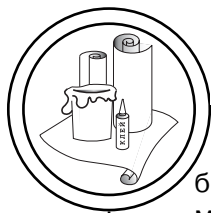
З екологічної та економічної точки зору найбільш кращим способом утилізації вторинної

полімерної сировини представляє повторна переробка в новий вид матеріалу та виробів. Мийка, сушіння та інші операції відповідають повторній обробці, упаковці і застосуванню, а також санітарні органи повинні дозволити або заборонити повторне використання продукту. Такий шлях, мабуть, витримає тільки пляшкова тара ПЕТФ.

Піроліз ПВХ з добавкою відходів ПЕ, ПП та ПС при $T = 350^\circ\text{C}$ та тиску до 30 атм у присутності каталізатора Фріделя-Крафта і при обробці суміші воднем, дозволяє нам отримати дуже багато цінних хімічних продуктів наприклад, таких як бензол, толуол, пропан, кумол, хлористий водень, метан. Хоча і піроліз має ряд недоліків, він все ж-таки має ряд переваг над процесами традиційного спалювання.

Піроліз не єдиний спосіб трансформації вторинної сировини. В світі існує інший спосіб — термоліз. Суть термолізу полягає у використанні більш низьких температур, які в деяких випадках дають можливість одержувати мономери, такі як ПЕТФ, ПС. Мономери, які були одержані, використовуються в подальшому, як сировина при проведенні процесів полімеризації та поліконденсації. Наприклад, в США із використаних ПЕТФ-пляшок отримують дефіцитні мономери, які використовують для синтезу ПЕТФ необхідних молекулярних мас, при цьому знов виготовляючи пляшки.

Зріст пакувальних відходів і надмірні витрати на їх утилізацію примусили вчених замислитись над можливістю створення матеріалів, які б мали такі ж самі



бар'єрні властивості як полімерна упаковка, але при цьому мали можливість легко розкладатися під впливом сонячного світла, кисню, мікроорганізмів, води та інше. Основні зусилля наукового пошуку зосереджені у двох напрямках.

Перше — це створення високомолекулярних сполук з натуральної сировини на зразок крохмалю, целюлози та інших речовин, які можуть бути задіяні у якості живильного середовища для мікроорганізмів.

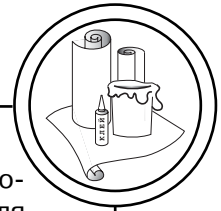
Друге — надання традиційним синтетичним полімерам (поліетилену, поліпропілену, полівінілхлориду, полістиролу) властивостей прискореного біорозкладу. Одним із самих перспективних біоматеріалів, які розкладаються, є продукт конденсації молочної кислоти — поліактид (ПЛА). Його можна отримати як синтетичним способом, так і шляхом бродіння суслу кукурудзи, картоплі, зернових культур, сахарного тростнику та іншої сировини натурального походження. Вироби із ПЛА характеризуються високою жорсткістю, прозорістю і блиском, а також кращою здатністю зберігати форму після стиснення або кручення порівняно з поліетиленом.

Звернемо увагу на наступний парадокс, закладений при роботі з тарно-пакувальними матеріалами.

Ці матеріали сприяють збільшенню споживчої вартості основної продукції, але тільки у якості запланованого у недалекому майбутньому додаткового відходу, над відходами основного виробництва.

Основна проблема, з точки зору відходів для цього виду виробів, полягає у тому, що обставини природи цього явища є ідеальними для реалізації раніш запланованих механізмів відходутворення. Вони закладаються умовами, вигідними для основного виробника, але апріорі не вигідними для навколишнього середовища. Як результат, ми маємо у відходах велику кількість (як по масі, так і по номенклатурі) тарно-пакувальних матеріалів.

В першу чергу, звертають на себе увагу полімерні матеріали (пакети, тара усіх видів, обгорткові та обв'язочні матеріали, фіксуєчі, упорні та опорні елементи, необхідні при транспортуванні, формоутворюєчі і захисно-запобіжні матеріали тощо). Як правило, ці полімерні матеріали у великих кількостях і з невеликим періодом життєвого циклу у відходах, мають дуже великий період природного розкладу, а отже, постійно накопичуються і зберігаються іноді десятиріччями без будь-якої переробки. Сьогодні вони складають біля 20 % всіх відходів людської діяльності, але у складі побутових відходів — до 40 %. Світове споживання полімерних матеріалів сьогодні складає 150 млн. т на рік, причому на особу населення у країнах Європи припадає 70–80 кг/рік, у Східній Європі — 50 кг/рік, а в Україні — 10–15 кг/рік. Майже 50 % з цієї кількості випадає на тарно-пакувальні матеріали, а отже, в кінцевому рахунку, скеровуються у відходи, яких накопичується у рік не менш 70 млн. тон. Але ці мільйони тон — особ-



ливі відходи. Вони вічні, так як не розкладаються сотні тисяч років. Це відноситься насамперед до поліетилену, поліпропілену і полістиролу, на долю яких припадає сьогодні 70 % європейського ринку тарно-пакувальних матеріалів, з яких кожні 9 тон із 10 використовуються на харчові упаковки.

Складність виготовлення, а отже, собівартість тарно-пакувальних матеріалів залежить від властивостей самого виробу і цілей, які ставить перед собою виробник. Прослідкуємо, як змінюється доля тарно-пакувальних матеріалів у собівартості основної продукції для різних видів виробництв (рис. 6).

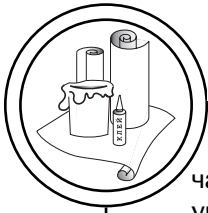
Очевидна майже завжди підростаюча форма цієї залежності, проте діапазон частки витрат на таро-упаковку в собівар-

тості основної продукції не усяди однаковий. Наприклад, для упаковки, яка виготовлена за допомогою металургії, вона у 3–6 разів менша, ніж для полімерної продукції або для упаковки скляної продукції. Тут позначається значно більша функціональність упаковок для цих видів продукції.

Якщо таро-упаковка металопродукції пов'язана тільки з забезпеченням зручностей та безпеки транспортування і, як правило, зроблена з того ж металу, то упаковка харчових продуктів потребує і зовнішнього виду, і захисту від зовнішніх пошкоджень, і додаткової інформації, і маркування та інше. Причому частка відходів, що переробляється, пакувальних матеріалів для харчової або легкої промисловості в 2–3 рази вище, ніж



Рис. 6. Витрати на пакувальні матеріали в загальних показниках [4]:
 1 — для металургійної продукції; 2 — для харчових продуктів; 3 — для лікеро-горілчаної продукції; 4 — для швейної продукції; 5 — для посуду;
 6 — полімерної продукції; 7 — частка відходів від пакувальних матеріалів;
 8 — перероблювана частка пакувальних матеріалів



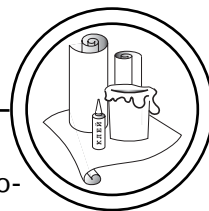
частка перероблених відходів упаковки, яка використовується для металургійної або полімерної продукції.

Таким чином, захоронення та спалювання не вирішують проблеми полімерних відходів, а лише переводять її у нове, небезпечне і важкопередбачуване русло. Тому Директивою 94/62 ЄЕС було законодавчо закріплена необхідність переходу від простого знищення відходів до вторинної переробки (рециклінгу). У відповідності з указаним документом в країнах ЄЕС, США, Японії і ряді інших держав, розроблені національні державні програми та організовані спеціальні служби для налагоджу-

вання систем збору, транспортування і повторної переробки використаної полімерної упаковки. Пріоритет рециклінгу перед іншими методами переробки твердих побутових відходів (ТПВ) у цих країнах закріплено законодавчими актами. При цьому, вторинні пластмаси не тільки перероблюються разом із первинною сировиною, але і можуть розглядуватися як реакційноздатні високомолекулярні сполучення, із яких шляхом модифікації можна одержувати полімерні композиційні матеріали з новими унікальними властивостями (рис. 7). Перспективно виготовлення сендвіч-матеріалів із ряду «вторин-



Рис. 7. Технологічний цикл операцій переробки полімерних відходів



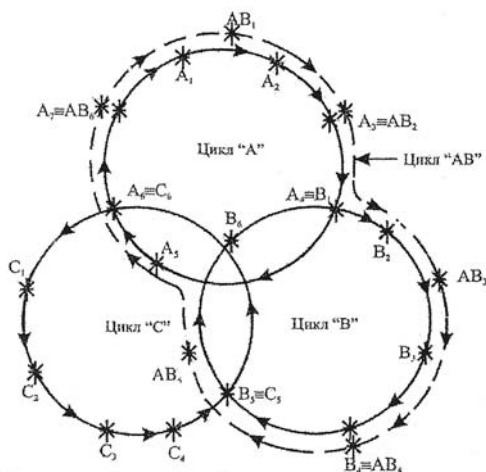
них» полімерів методом соекструзії, коли шар «вторинного» полімеру знаходиться між двома шарами «свіжого» полімеру. Цей спосіб використання відходів є універсальним: так як середнім шаром може бути ПЕТФ, ПП і інші, а зовнішнім практично будь-які полімери, перероблювані соекструзією [5]. Проте рециклінг має свої економічні і технічні межі.

Існує так званий поріг корисності (break-even point) — точка, де прибуток від отриманої сировини дорівнює різниці витрат на рециклінг та знищення відходів. При перевищенні цього рівня рециклінг економічно недоцільний і його технічні межі обумовлені різними причинами. Однією із проблем є зниження молекулярної маси полімерів і, відповідно, погіршення їх експлуатаційних властивостей. При послідовній переробці більшість полімерних матеріалів через 3–5 циклів різко понижують свої первинні механічні властивості.

Природні екологічні цикли можна розглядувати як форму існування матерії і енергії. По-

няття екологічного циклу використовується, головним чином, для опису динаміки природних процесів та дещо в меншому ступеню відноситься до штучних технологій. У рамках окремого замкнутого екологічного циклу з відомою періодичністю, характерною для даного циклу, відбувається рух різних видів матерії та енергії, багатоподібні трансформації їх стану, рівнів та якості. Форма існування матерії в рамках екологічного циклу знаходиться у повній відповідності з основними екологічними законами. Основними елементами простого екологічного циклу можна вважати канали, по яким циркулює енергія та її похідні усередині циклу, і просторово-тимчасові зони (вузли) трансформації енергії і матерії у відповідності з заданими траєкторіями (рис. 8). Під траєкторією трансформації мається на увазі сукупність природних та інших явищ, скерованих на змінення властивостей матерії та енергії у рамках конкретного циклу.

Рис. 8. Схема екологічних циклів: простих («А», «В», «С») та, які перетинаються («АВ»), * A_i , * B_i та інш. — вузли трансформації енергії речовин в циклі; канали циркуляції енергії та речовин [6]



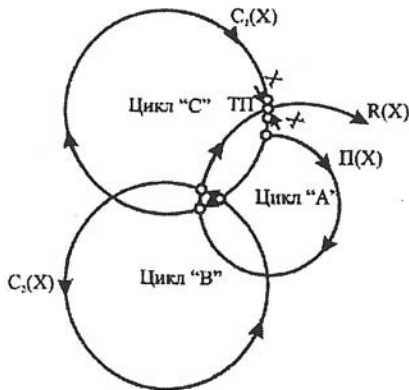


Умова безперервності екологічного циклу заснована на синхронізації темпів протікання процесів виробництва продукції та утилізації відходів.

Хай E — деяке накопичення енергії та речовини, яке проходить через перетин X - X замкнутого екологічного циклу у одиницю часу τ — безперервна функція (рис. 9). Інтенсивність накопичення залежить від збільшення абсолютної кількості речовини або енергії в перетині $(X - dx)$ — $R(E, \tau)$ та зменшення абсолютної їх кількості у перетині $(X + dx)$ — $L(E, \tau)$, тобто [6]:

$$dE/d\tau = R(E, \tau) - L(E, \tau). \quad (1)$$

Змінення абсолютної кількості в залежності від імовірності збільшення одиниці накопичення (i) або імовірності зменшення цього накопичення (j) можна визначити, як



$C(X)$ — сировинна база ТП;
 $\Pi(X)$ — продукційна база ТП;
 $R(X)$ — база відходів ТП.

Рис. 9. Розрив рівноважного екологічного циклу «А» в перетині X - X штучним технологічним процесом (ТП) [6]

$$R(E, \tau) = i E(\tau),$$

$$L(E, \tau) = j E(\tau)$$

відповідно. Тоді

$$dE/d\tau = iE - jE = uE. \quad (2)$$

Рішення рівняння, якщо i та j є функцією часу, виглядає наступним чином:

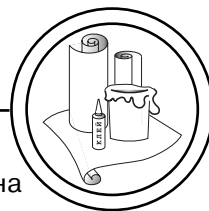
$$E = E(0)\exp(u\tau). \quad (3)$$

Умовою нероз'єднання екологічного циклу в перетині X - X є $u = 0$, тобто коли імовірність збільшення накопичування в околах перетину $dx \rightarrow 0$ адекватна імовірності його зменшення в цих околах ($i = j$).

Включення екологічних витрат та вигод в грошові потоки [7], які враховуються при аналізі технічного проекту, означає, що проводиться більш широкий аналіз проекту, ніж аналіз для визначення його комерційної ефективності і, що в грошовий потік від інвестиційної діяльності включаються усі передбачувані соціальні вигоди і екологічні витрати, пов'язані з даним проектом. У відповідності з традиційним економічним аналізом «витрати-вигоди» проект вважається ефективним і придатним для реалізації, якщо вигоди (B) перевищують витрати (C), тобто виконується співвідношення

$$B - C > 0, \quad (4)$$

Оцінка еколого-економічної ефективності означає, що в даний аналіз повинні бути введені екологічні складові, до яких відносяться екологічні витрати та екологічні вигоди. Тобто, вихідна нерівність перетворюється у вираз:



$$(B + Ve) - (C + Ce) > 0, \quad (5)$$

де Ve — еколого-економічний ефект проекту; Ce — еколого-економічний збиток.

Висновки

Розробка «ідеальних» ресурсозберігаючих технологій передбачає не тільки економію витратних матеріалів та енергетичних ресурсів, які є для неї супутніми, але і утилізацію відходів, які ут-

ворюються. Будь-яка штучна технологія на стадії проектування повинна починатись з умовного управління відходами, утворення яких гіпотетично заплановано, заснованого на розумінні відходів як цілком певного матеріального потоку, рівноправного і рівнозначного з іншими матеріальними та енергетичними потоками, задіяними у виробничій діяльності.

1. Морозов С. І. Тенденції переробки металевої стружки / Морозов С. І., Морозов А. С. // Технологія і техніка друкарства. — 2010. — № 2. — С. 103—114. 2. Кухар В. П. Обращение с отходами, внедрение моделей устойчивого производства и потребления / Кухар В. П. // Механізм регулювання економіки. — 2005. — № 4. — С. 13—31. 3. Щербак В. П. К концепции решения ресурсно-экологической проблемы в Украине / Щербак В. П. // Экономика Украины. — 2004. — № 1. — С. 7—11. 4. Волошин В. С. Природа отходов образования / Волошин В. С. — Мариуполь : Рената. — 2007. — 667 с. 5. Воронцов А. П. Рациональное природоиспользование / Воронцов А. П. — М. : ЭКМОС. — 2000. — 304 с. 6. Экотехника / Под ред. Л. В. Чекалова. — Ярославль : Русь, 2004. — 423 с. 7. Корягин П. В. Учет экологического и социального факторов при оценке экономической эффективности модернизации производства / Корягин П. В. // Техніка і технологія друкарства. — 2008. — № 3. — С. 136—143.

Рецензент — Т. А. Роїк, д.т.н.,
професор, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 09.11.10