УДК 621.798:628.473.62 DOI: 10.33273/2663-9726-2020-53-2-88-95

# МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ ЗДАТНОСТІ ДО БІОХІМІЧНОГО РОЗПАДУ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇХНІХ ВІДХОДІВ (Огляд літератури)

**С.В. Сноз, Л.М. Смердова, Л.О. Прокопенко, О.О. Бобильова**
ДП «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І.Медведя Міністерства охорони здоров'я України», м. Київ, Україна

***РЕЗЮМЕ. Актуальність.*** *Об'єми промислових і побутових відходів, зокрема використаної полімерної тари і упаковки значні, внаслідок інтенсивного розвитку виробництва полімерних матеріалів постійно збільшуються.*

***Матеріали та методи.*** *В Україні поступово вводяться обов'язкові вимоги до упаковки і пакувальних відходів, які мають відповідати Європейському законодавству. Розглянуто основні аспекти вимог до тари та упаковки, що містяться в нормативних актах вітчизняного та європейського законодавства. Визначено і оцінено основні види біодеградабельних полімерних матеріалів.*

***Висновки.*** *Проведено порівняльний аналіз методів щодо визначення здатності до компостування, анаеробної та аеробної обробки упаковки та пакувальних матеріалів.*

***Ключові слова:*** *відходи тари та упаковки, Директиви ЄС, біополімерні матеріали, біодеградабельність, методи визначення біодеградації.*

**Актуальність.** Накопичення відходів полімерних матеріалів, зокрема тари та упаковки, є глобальною екологічною проблемою для всього людства. У світі виробляється близько 300 мільйонів тонн полімерних матеріалів щорічно [1].

Полімери накопичуються в об'єктах довкілля внаслідок низької біодеградабельності. Світовий океан перетворюється на величезне звалище полімерних відходів, в якому із полімерів можуть утворюватися мікрочастинки, які отримали назву «мікропластик». Мікропластик може надходити у довкілля безпосередньо, наприклад з полімерних гранул, які використовують в косметичних засобах, з волокон одягу, які утворюються під час прання, а також при механічній деградації полімерних матеріалів. Через малі розміри мікропластику його легко споживає цілий ряд організмів майже на всіх рівнях харчового ланцюга, особливо у морських середовищах: зоопланктон, корали, риби, птахи та морські ссавці. Мікропластик накопичується в їхньому тілі, забиваючи шлунок, легені та зябри, що призводить до загибелі тварин [2].

Крім того, мікропластик, як правило, виступає носієм гідрофобних органічних сполук (наприклад, поліхлорованих біфенілів, пестицидів та агрохімікатів), які накопичуються в пористій структурі частинок. Таким чином, у харчовий ланцюг потрапляє не тільки мікропластик, але й токсичні хімічні речовини, які можуть десорбуватися в анаеробному середовищі кишковика та поглинатися тканинами тіла тварин [3-5].

Повторне використання полімерних матеріалів є одним із шляхів зменшення кількості полімерних відходів. Але навіть в Європейському Союзі (ЄС) лише 30 % пластикових відходів використовується повторно. При цьому в ЄС щороку утворюється близько 25,8 мільйона тонн пластикових відходів, 59 відсотків з них – від упаковки.

Повторна переробка таких відходів потребує відповідної підготовки і має включати наступні заходи:

- створення надійної системи збирання відходів від населення із сортуванням та зменшенням об'єму;
- розробка і впровадження досконалої і рентабельної технології їхньої переробки;
- створення відповідних виробничих потужностей;

- наявність ринків збуту для продукції з такого виду вторинної сировини.

Запобігання утворенню відходів тари та упаковки з метою забезпечення високого рівня захисту довкілля та здоров'я людини є основною метою регулювання у сфері поводження з тарою та упаковкою як на національному, так і міжнародному рівнях. Згідно з вимогами Директиви 94/62/ЄС Європейського Парламенту і Ради «Про упаковку та відходи упаковки» управління в області упаковки та відходів від неї повинно, в першу чергу, забезпечити попередження утворення відходів від упаковки і керуватися такими основоположними принципами як повторне використання її, переробка та інші форми повторного використання відходів упаковки і, в підсумку, скорочення об'єму кінцевого видалення відходів [6].

Так, упаковка має вироблятися з урахуванням можливості її повторного використання та/або утилізації. Виготовлення має здійснюватися таким чином, щоб був мінімізований рівень токсичних та інших шкідливих речовин і матеріалів, що є складниками або компонентами упаковки. Упаковка, що підлягає утилізації шляхом відновлення енергії, повинна мати мінімально необхідний показник теплотворності для здійснення процесу енергетичної утилізації. Упаковка, що утилізується шляхом органічного відновлення, має характеризуватися здатністю розкладатися під впливом мікроорганізмів, що не повинно перешкоджати її окремому збиранню.

Директива 94/62/ЄС також визначає вимоги до упаковки, яка вважається відновлюваною. Органічне перероблення використаної упаковки є одним із варіантів відновлення протягом загального її життєвого циклу, що сприятиме зменшенню загальної кількості відходів [6].

Згідно з проєктом Закону України «Про упаковку та відходи упаковки» органічне перероблення відходів – це процес аеробного або анаеробного зброджування компонентів таких відходів, здатних до біохімічного розкладу за контрольованих умов, із використанням мікроорганізмів для одержання стабілізованих органічних залишків або метану. Захоронення відходів упаковки в землю не вважається формою регенерації органічних речовин.

У січні 2018 року Європейська Комісія опублікувала своє повідомлення «Європейська стратегія для пластмас в економіці замкнутого циклу («EU Circular Economy»)» [7]. На думку Комісії, ця пропозиція є амбітним кроком, щоб зробити європейську систему поводження з полімерними матеріалами більш ефективною з точки зору ресурсів та сприяти переходу від лінійної до замкнутої системи. Біополімерні матеріали надають вирішальний імпульс для інновацій та розвитку стійкої економіки замкнутого циклу для полімерних матеріалів, використовуючи альтернативні сировинні матеріали та пропонуючи більш широку сферу використання та варіанти закінчення життєвого циклу пластикових виробів.

Метою створення та використання біорозкладних полімерних матеріалів є отримання таких економічних і екологічних переваг:

– утилізація та/або переробка полімерних відходів;
– нижча вартість полімерів із відновлюваної сировини;
– зниження потреби в синтетичних полімерах, які негативно впливають на стан довкілля;
– зниження викидів парникових газів на 15–60 % при заміні полімерних матеріалів минулого покоління на біорозкладні полімери.

За даними European Bioplastics e.V. виробництво полімерних матеріалів, які піддаються біодеградації та відповідають вимогам EN 13432, в ЄС в 2018 році становило 912 тисяч тонн, за прогнозами має досягти в 2023 році 1.228 мільйонів тонн. На даний час основними видами біодеградабельних полімерних матеріалів, які використовуються, в тому числі для виробництва упаковки, є полібутиленадипінат-терефталат (PBAT) – ефір адипінової кислоти, 1,4-бутандіолу та терефталевої кислоти, полібутилен (політетраметилен)-сукцинат (PBS) – поліефір бутилену та янтарної кислоти, полілактид (PLA) – аліфатичний поліефір, мономером якого є молочна кислота та циклічний диефір лактид, полігідроксіалканоати (PHAs) та похідні крохмалю [8]. У табл. 1 наведений приклад класифікації полімерних матеріалів за походженням та здатністю до біорозкладу.

Основні вимоги та процедури для визначення здатності до компостування та анаеробної обробки упаковки та пакувальних матеріалів викладені в ДСТУ EN 13432:2015 та в ДСТУ EN 14995:2018 [10, 11]. Прийняття цих стандартів в України дозволяє проводити оцінювання та сертифікувати упаковку за критеріями біорозпаду як для внутрішнього ринку, так

Таблиця 1

**Приклад класифікації полімерних матеріалів за походженням та здатністю до біорозкладу за Iwata T. [9]**

| | **Пластмаси на основі біополімерів, отриманих з природних рослинних матеріалів** | **Приклади використання** | **Пластмаси на основі нафтових вуглеводнів** | **Приклади використання** |
|---|---|---|---|---|
| **Біодеградабельні пластикові матеріали** | Полілактиди (PLA) | Медичне використання | Полі (ε-капролактон) (PCL) | Клей ПВХ |
| | Полігідроксіалканоати (PHAs) | Медичне використання | Полі(бутилен сукцинат/адипінат) (PBS/A) | Сільське господарство |
| | Похідні полісахаридів | Упаковка для харчових продуктів | Полі(бутиленадипінат-терефталат (PBA/T) | Паперові стаканчики |
| | Полі (амінокислоти) | Медичне використання | | |
| | | | | |
| **Небіодеградабельні пластикові матеріали** | Поліетилен (біо-PE) | Упаковка | Поліетилен (PE) | Упаковка |
| | Поліол-поліуретан | Шини | Поліпропілен (PP) | Упаковка |
| | Похідні полісахаридів | Упаковка для харчових продуктів | Полістирол (PS) | Упаковка |
| | Полі(етилентерефталат) (біо-PET) | Пляшки для питної води | Полі(етилентерефталат) (PET) | Пляшки для питної води |
| | | | Поліметилметакрилати | Оптичні матеріали та інш. |

і для експорту, в першу чергу, до країн Європейського Союзу.

У листопаді 2019 року Верховною Радою України був прийнятий в першому читанні законопроєкт «Про обмеження обігу пластикових пакетів на території України», яким з 2022 року пропонується заборонити розповсюдження у об'єктах роздрібної торгівлі та об'єктах ресторанного господарства надлегких, легких та оксорозкладних (оксобіорозкладних) пластикових пакетів. У той же час ця заборона не стосується біорозкладних пластикових пакетів, що розкладаються за участі мікроорганізмів на елементи природного походження та відповідають критеріям, встановленим національним стандартом ДСТУ EN 13432:2015.

**Мета.** Враховуючи важливість проблеми визначення здатності упаковки до біорозкладу, необхідним є впровадження методів та тестових схем для оцінювання здатності до біохімічного розпаду. Беручи до уваги вищевикладене, метою роботи була систематизація методів, які використовуються в процесі оцінювання та сертифікації упаковки із полімерних матеріалів за критеріями біорозпаду.

**Матеріали та методи.** Для встановлення відповідності упаковки вимогам органічного відновлення (біохімічного розпаду) необхідно провести детальні дослідження чотирьох основних процесів [10-13]:

- біодеградація;
- розпад під час біологічної обробки;
- вплив на процес біологічної обробки;
- вплив на якість отриманого компосту.

Важливо підкреслити, що власному випробуванню біорозкладу та подальшій оцінці отриманого компосту повинна передувати оцінка рецептури матеріалу упаковки, визначення зменшення маси матеріалу при спалю-

ванні при 550$^0$С, вмісту важких металів та інших небезпечних речовин, зокрема цинку, міді, нікелю, кадмію, свинцю, ртуті, хрому, молібдену, селену, миш'яку та фтору (табл.2). Наявність цих речовин в упаковці в кількостях, які перевищують встановлений в ДСТУ EN 13432:2015 максимальний вміст, не дозволяє вже на цьому попередньому етапі досліджень віднести упаковку до такої, яка може біорозкладатись.

Таблиця 2

**Максимальний вміст небезпечних хімічних речовин в пакувальних матеріалах**

| Назва речовини | Вміст у сухій речовині, мг/кг |
|---|---|
| Цинк | 150,0 |
| Мідь | 50,0 |
| Нікель | 25,0 |
| Кадмій | 0,5 |
| Свинець | 50,0 |
| Ртуть | 0,5 |
| Хром | 50,0 |
| Молібден | 1,0 |
| Селен | 0,75 |
| Миш'як | 5,0 |
| Фтор | 100,0 |

Власне випробування на біодеградацію – це дослідження аеробної біодеградації та анаеробної деградації. Відсоток аеробної біодеградації для упаковки, включаючи полімерні матеріали, повинен становити щонайменше 90, а для анаеробної – на основі виділення біогазу має бути 50 або більше від теоретичного значення для матеріалу.

Показники аеробної біодеградації визначають по поглинанню кисню або по вивільненню вуглекислого газу згідно з ISO 14851:1999, ISO 14852:1999 та ISO 14855-2007 [14-16].

У методі, описаному в ISO 14851:1999, біодеградація пластикового матеріалу проходить під впливом аеробних мікроорганізмів у водному середовищі. Випробувана суміш містить неорганічні компоненти, органічний досліджуваний матеріал (єдине джерело вуглецю та енергії) з концентрацією органічного вуглецю від 100 мг/л до 2 000 мг/л, активний мул або суспензію активного ґрунту або компост в якості джерела мікроорганізмів. Суміш поміщають у закритих колбах у респірометр на термін не більше 6 місяців та визначають рівень біохімічного споживання кисню (БСК), вимірюючи кількість кисню, необхідного для підтримки постійного об'єму газу в колбах респірометра, або шляхом вимірювання зміни об'єму або тиску (або їх комбінації) автоматично або вручну. Рівень біодеградації визначається порівнянням рівня БСК з теоретичною кількістю споживання кисню (ТСК) та виражається у відсотках. При цьому також необхідно враховувати вплив можливих процесів нітрифікації на БСК. Результатом випробування є встановлення кінцевого рівня біодеградації, визначеного на плато-фазі кривої біодеградації. Також може бути розрахований баланс вуглецю для отримання додаткової інформації про перебіг процесу біодеградації [14].

Згідно з ISO 14852:1999 процес біодеградації пластикового матеріалу також проходить під впливом аеробних мікроорганізмів у водному середовищі. Суміш містить неорганічні компоненти, органічний досліджуваний матеріал (єдине джерело вуглецю та енергії) з концентрацією органічного вуглецю від 100 мг/л до 2 000 мг/л, активний мул або суспензію активного ґрунту або компост в якості джерела мікроорганізмів. Суміш інкубують у колбах, продуваючи повітрям, звільненим від вуглекислого газу, залежно від кінетики біодеградації протягом терміну не більше 6 місяців. Діоксид вуглецю, що виділяється в ході мікробної деградації, вимірюють відповідним аналітичним методом. Рівень біодеградації визначається порівнянням кількості виділеного діоксиду вуглецю з теоретично можливою кількістю діоксиду вуглецю (ТСО2) і виражають у відсотках. Результатом випробування є кінцевий рівень біодеградації, визначений на плато-фазі кривої біодеградації. Також може бути розрахований баланс вуглецю для отримання додаткової інформації щодо перебігу процесу біодеградації [15].

В ISO 14855-2007 описується метод визначення кінцевої аеробної біодеградації та ступеня розпаду пластикового матеріалу в умовах, що імітують інтенсивний процес аеробного компостування. Досліджуваний матеріал змішують з інокулятом, отриманим із зрілого компосту органічної фракції твердих побутових відходів, поміщають у посудини для компостування та проводять компостування за

оптимальних концентрацій кисню, вологості та температури протягом не більше шести місяців у контрольованих умовах компостування. Кінцевими продуктами біологічного розпаду досліджуваного матеріалу є вуглекислий газ, вода, мінеральні солі та новоутворені мікробні клітинні компоненти (біомаса). Виділений вуглекислий газ постійно контролюється або вимірюється через рівні проміжки часу в тестових і контрольних посудинах для визначення рівня накопичення вуглекислого газу. Відсоток біодеградації визначається співвідношенням вуглекислого газу, що утворюється з досліджуваного матеріалу, до максимальної теоретичної кількості вуглекислого газу, яка може бути утворена з досліджуваного матеріалу. Максимальна теоретична кількість утвореного вуглекислого газу розраховується на основі вимірювання вмісту загального органічного вуглецю (ЗОВ). Цей відсоток біодеградації не включає кількість вуглецю, перетвореного на нову клітинну біомасу, який не метаболізується у вуглекислий газ протягом тестування. Додатково ступінь розпаду досліджуваного матеріалу визначається наприкінці випробування шляхом вимірювання зменшення маси досліджуваного матеріалу. Замість зрілого компосту методика допускає використання вермікуліту, що покращує відтворюваність методу [16].

Показники анаеробної біодеградації визначають за утворенням метану та вуглекислого газу згідно з ISO 14853:2005 та ISO 15985:2004 [17, 18].

Відповідно до ISO 14853:2005 визначення кінцевої анаеробної біодеградації пластикових матеріалів проводиться у водному середовищі при анаеробних умовах. Випробуваний матеріал з концентрацією від 20 мг/л до 200 мг/л органічного вуглецю (ОВ) інкубують при (35+2) $^0$C у герметичних посудинах з активним мулом протягом періоду, який зазвичай не перевищує 60 діб. Перед використанням активний мул промивають таким чином, щоб він містив незначну кількість неорганічного вуглецю (НВ) і розбавляють до концентрації твердих частинок 1-3 г/л. Вимірюється збільшення тиску або об'ємне збільшення газів (залежно від методу, який застосовується для вимірювання виділення біогазу) у випробувальних посудинах, що є результатом утворення діоксиду вуглецю та метану. Значна кількість діоксиду вуглецю розчиняється у воді або перетворюється на бікарбонат або карбонат в умовах тестування. Цей неорганічний вуглець вимірюється наприкінці випробування. Кількість мікробіологічного вуглецю, що виділяється, обчислюється як сума виділеного біогазу та утвореного НВ із врахуванням контролю. Відсоток біодеградації обчислюється як відношення загальної кількості вуглецю, перетвореного на біогаз та НВ, і виміряної або розрахованої кількості вуглецю, доданого в якості досліджуваного матеріалу. Перебіг процесу біодеградації може контролюватися проміжними вимірюваннями виділення біогазу [17].

Описаний в ISO 15985:2004 метод випробування призначений для оптимізованого моделювання інтенсивного процесу анаеробного перетворення та визначає кінцеву біодеградацію і ступінь розпаду досліджуваного матеріалу в твердому середовищі в анаеробних умовах. Метаногенний інокулят включає анаеробні мікроорганізми, виділені із органічної фракції розкладених твердих побутових відходів. Матеріал для випробування змішується з інокулятом і вводиться в посудину, де відбувається процес розпаду при оптимальній температурі та вологості протягом 15 діб або довше до досягнення плато біодеградації. Під час анаеробної біодеградації досліджуваний матеріал, метан, вуглекислий газ, вода, мінеральні солі та нові мікробні клітинні компоненти (біомаса) є кінцевими продуктами біодеструкції. Біогаз (метан і діоксид вуглецю), що виділяється, постійно контролюється або вимірюється через регулярні проміжки часу в тесті та в контролі для визначення сукупного виділення біогазу. Відсоток біодеградації визначається співвідношенням кількості біогазу, що утворився з досліджуваного матеріалу, та максимально можливого теоретичного обсягу біогазу, що може виділитися з досліджуваного матеріалу. Максимальний теоретичний обсяг виділеного біогазу обчислюється з виміряного загального органічного вуглецю. Цей відсоток біодеградації не включає кількість вуглецю, яка перетворюється на нову клітинну біомасу, яка не метаболізується в свою чергу до біогазу в ході випробування. Додатково визначають ступінь розпаду досліджуваного матеріалу в кінці випробування шляхом вимірювання втрати маси досліджуваного матеріалу [18].

Показники розпаду при аеробному компостуванні та анаеробній газифікації визна-

чаються по зменшенню розміру частинок відходів. Так, після подачі в процес компостування протягом максимум дванадцяти тижнів не більше 10 % вихідної сухої маси досліджуваного матеріалу не повинні пройти через сито фракції ≤2 мм. Випробування на розпад проводять у стандартизованих умовах компостування (температура, pH, вологість та вміст кисню). Випробуваний матеріал подрібнюють, змішують зі свіжими біологічними відходами і вносять у середовище для компостування. Співвідношення вуглецю та азоту має знаходитись у межах від 20 до 30 (при необхідності додають сечовину), вологість близько 50 %, відсутність вільної води, леткі речовини (близько 50 % в перерахунку на суху масу), pH близька 5,0 одиниць. У процесі тестування компост регулярно перемішують (один раз на тиждень у перші чотири тижні компостування, а в подальшому — раз на два тижні). Вимірюють вміст кисню в компості кожного робочого дня протягом першого місяця, а потім — раз на тиждень. Концентрація кисню повинна бути не менше 10 %, при необхідності продувають повітрям 15 л/кг за годину. При перемішуванні вимірюють вологість та pH, аналізують структуру, розвиток грибів, розмір частинок тест-матеріалу. Кожного робочого дня вимірюють температуру в середній частині компосту та порівнюють з нормами [19-21].

Аеробне компостування проводять в дослідно-промислових умовах або в лабораторних умовах. Пріоритетним є проведення досліджень у дослідно-промислових умовах (pilot-scale test). Відповідні методи досліджень описані, зокрема в ISO 16929:2002 та ISO 20200:2004 [20, 21].

Після закінчення компостування вимірюють [10]:

- розмір частинок тест-матеріалу;
- леткі речовини;
- pH;
- амонійний азот;
- нітритний та нітратний азот;
- загальний азот.

Вплив досліджуваних полімерних матеріалів на якість отриманого компосту також оцінюють за показниками екотоксичності для мінімум двох видів рослин із переліку, наведено в OECD 208 [22]. При чому коефіцієнт проростання та біомаса рослин мають становити не менше 90 % від показників для контрольного зразка компосту [10].

У нашому Науковому центрі з моменту його заснування в 1964 році як Всесоюзного науково-дослідного інституту гігієни та токсикології пестицидів, полімерів та пластичних мас (ВНДІГІНТОКС) особлива увага приділялась проблемі полімерних матеріалів, призначених для використання в різних галузях промисловості та в сільському господарстві.

**Висновки**

1. Проблема накопичення та поводження з полімерними відходами вимагає розробки та впровадження спеціальних управлінських, технологічних та організаційних рішень.

2. Одним із шляхів розв'язання цієї проблеми є використання біодеградабельних полімерів і відповідно впровадження методів, які дозволяють визначати здатність упаковки до біорозкладу.

3. Науковий центр розпочав підготовку до впровадження необхідних методів та тестових схем для оцінювання здатності полімерів до біохімічного розпаду. Наявність кваліфікованого персоналу, необхідної матеріальної бази та досвід акредитації згідно з вимогами ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 [23] та GLP [24] дозволяє проводити дослідження на міжнародному рівні.

4. Впровадження методів та тестових схем оцінювання здатності упаковки до біохімічного розпаду сприятиме пришвидшенню впровадження біодеградабельних матеріалів на споживчому ринку України, дозволить зменшити загальну кількість відходів тари та упаковки та сприятиме виконанню цілей, поставлених Національним планом управління відходами до 2030 року [25].

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Massy JA Little Book about BIG Chemistry The Story of Man-Made Polymers Springer Briefs in Materials DOI 10.1007/978-3-319-54831-9.82 p.
2. Smith M, Love DC, Rochman CM & Neff RA Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. Curr. Environ. Heal. reports. 2018;5:375–86.
3. Avio CG et al. Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels. Environ. Pollut. 2015;198,211–22.

4. Rochman CM, Hoh E, Kurobe T. & Teh SJ Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. Sci. Rep. 2013;3,3263.
5. Panel E. & Chain F. Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. EFSA.2016;14.
6. Директива 94/62/ЄС Європейського Парламенту і Ради «Про упаковку та відходи упаковки».
7. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the committee of the regions. A European Strategy for Plastics in a Circular Economy Brussels, 16.1.2018 COM(2018) 28 final.
8. European Bioplastics. http://www.european-bioplastics.org/market/.
9. Iwata T. Biodegradable and Bio-Based Polymers: Future Prospects of Eco-Friendly Plastics. Angew. Chemie Int. Ed. 2015;54:3210–15.
10. ДСТУ EN 13432:2015 (EN 13432:2000, IDT) «Упаковка. Вимоги до упаковки, утилізованої способом компостування і біодеградації. Тестові схеми та критерії оцінювання для остаточного прийняття упаковки».
11. ДСТУ EN 14995:2018 (EN 14995:2006, IDT) «Пластмаси. Оцінювання здатності до біохімічного розпаду. Порядок випробування та технічні умови».
12. Harrison JP, Boardman C, O'Callaghan K, Delort A-M, Song J. 2018 Biodegradability standards for carrier bags and plastic films in aquatic environments: a critical review. R. Soc. open sci. 5: 171792. http://dx.doi.org/10.1098/rsos.171792.
13. Zeng SH, Duan PP, Shen MX, Xue YJ and Wang ZY. Preparation and degradation mechanisms of biodegradable polymer: a review IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 137 (2016) 012003 doi:10.1088/1757-899X/137/1/012003.
14. ISO 14851:1999 Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in an aqueous medium - Method by measuring the oxygen demand in a closed respirometer (Визначення кінцевої аеробної біодеградації пластикових матеріалів у водному середовищі. Метод вимірювання споживання кисню в закритому респірометрі).
15. ISO 14852:1999 Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in an aqueous medium - Method by analysis of evolved carbon dioxide (Визначення кінцевої аеробної біодеградації пластикових матеріалів у водному середовищі. Метод шляхом аналізу виділення вуглекислого газу).
16. ISO 14855-2007 Determination of the ultimate aerobic biodegradability and disintegration of plastic materials under controlled composting conditions - Method by analysis of evolved carbon dioxide (Визначення кінцевої аеробної біодеградації пластикових матеріалів в контрольованих умовах компостування. Метод аналізу виділеного вуглекислого газу).
17. ISO 14853:2005 Plastics – determination of the ultimate anaerobic biodegradation of plastic materials in an aqueous system – Method by measurement of biogas production (Пластмаси - визначення кінцевої анаеробної біодеградації пластикових матеріалів у водному середовищі - Метод вимірювання виділення біогазу).
18. ISO 15985:2004 Plastics - Determination of the ultimate anaerobic biodegradation and disintegration under high-solids anaerobic-digestion conditions - Method by analysis of released biogas (Пластмаси - визначення кінцевої анаеробної біодеградації і розпаду в анаеробних умовах в твердому середовищі - Метод аналізу виділення біогазу).
19. Vaverkova M, Toman F, Adamcova D and Kotovicova J. Study of the biodegrability of degradable/biodegradable plastic material in a controlled composting environment//ECOL CHEM ENG S. 2012;19(3):347-358.
20. ISO 16929:2002 Plastics - Determination of the degree of disintegration of plastic materials under defined composting conditions in a pilot-scale test (Пластмаси – Визначення ступеня розпаду пластикових матеріалів у визначених умовах компостування в дослідно-промисловому тестуванні).
21. ISO 20200:2004 Plastics - Determination of the degree of disintegration of plastic materials under simulated composting conditions in a laboratory-scale test (Пластмаси – Визначення ступеня розпаду пластикових матеріалів у модельованих умовах компостування в лабораторному тестуванні).
22. OECD 208 Terrestrial Plant Test: Seedling Emergence and Seedling Growth Test.
23. ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 (ISO/IEC 17025:2017, IDT) Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій
24. OECD Principles of Good Laboratory Practics. 1998.
25. Національний план управління відходами до 2030 року затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 лютого 2019 р. № 117-р.

## *METHODICAL APPROACHES TO ASSESSMENT OF THE CAPA ABILITY OF BIOCCHEMICAL DECOMPOSITION OF POLYMERIC MATERIALS AND THEIR WASTES*
### *(Review of pablications)*

*S.Snoz, L.Smerdova, L.Prokopenko, O.Bobyliova*
*L.I.Medved's Research Center of Preventive Toxicology, Food and Chemical Safety, Ministry of Health, Ukraine (State Enterprise), Kyiv, Ukraine*

***ANSTRACT. Actuality.*** *The urgency of the topic is due to the fact that recently the problem of environmental safety in connection with the generation of large quantities of waste has become particularly acute. A separate aspect of this problem is the accumulation of polymeric material wastes, in particular packaging and packaging waste. Preventing packaging and packaging waste with a view to ensuring a high level of protection of the environment and human health is a major goal of regulation in the field of packaging and packaging management, both nationally and internationally.*

***Materials and Methods****.The purpose of the work is to analyze the existing requirements for packaging and its waste in the EU and Ukraine and to systematize the methods used in the process of evaluation and certification of polymeric packaging according to biodegradation criteria.*

*It is stated that the manufacture of packaging must be carried out in such a way that the level of toxic and other harmful substances and materials that are components or components of the packaging is minimized. Packaging to be recovered through energy recovery must have the minimum required calorific value for energy recovery. Organic recovery packaging should be characterized by its ability to decompose under the influence of micro-organisms, which should not interfere with its separate collection. The use of biodegradable materials for packaging and packaging is a new step in the field of packaging and packaging waste management, which will prevent waste generation. The characteristic of the main types of biodegradable polymeric materials is given.*

*DSTU EN 13432: 2015 "Packaging. Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation. Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging" and DSTU EN 14995: 2018 "Plastics. Evaluation of compostability. Test scheme and specifications", which sets out the basic requirements and procedures for determining the biodegradability of packaging and packaging materials, which will allow the assessment and certification of packaging according to biodegradation criteria both for the internal market and for export.*

***Conclusions.*** *The introduction of methods and test schemes for assessing the biochemical degradation capacity of packaging will accelerate the introduction of biodegradable materials in the consumer market of Ukraine, reduce the total amount of packaging and packaging waste, and help meet the goals set by the 2030 National Waste Management Plan.*

***Key Words:*** *packaging waste, EU Directives, biopolymer materials, biodegradability, methods for determining biodegradation.*

## *МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ОЦЕНИВАНИЯ СПОСОБНОСТИ К БИОХИМИЧЕСКОМУ РАЗЛОЖЕНИЮ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ОТХОДОВ*
### *(Обзор литературы)*

*С.В. Сноз, Л.Н. Смердова, Л.А. Прокопенко, О.А. Бобылева*
*ГП «Научный центр превентивной токсикологии, пищевой и химической безопасности имени академика Л.И.Медведя МЗ Украины», г. Киев, Украина*

***РЕЗЮМЕ. Актуальность.*** *Объемы промышленных и бытовых отходов в виде использованной полимерной тары и упаковки значительные, вследствие интенсивного развития производства полимерных материалов постоянно увеличиваются.*

***Материалы и методы.*** *В Украине постепенно вводятся обязательные требования к упаковке и упаковочным отходам, которые должны соответствовать Европейскому законодательству. Рассмотрены основные аспекты требований к таре и упаковке, изложенные в нормативных актах отечественного и европейского законодательства. Дана характеристика основных видов биоразлагаемых полимерных материалов.*

***Результаты.*** *Произведен сравнительный анализ методов по определению способности к компостированию, анаэробной и аэробной обрабатке упаковки и упаковочных материалов.*

***Ключевые слова:*** *отходы тары и упаковки, Директивы ЕС, биополимерные материалы, биодеградабельность, методы определения биодеградации.*

*Надійшла до редакції 27.03.2020 р.*