

**ЄФРЕМОВА Ольга**Хмельницький національний університет  
<https://orcid.org/0000-0001-8153-1150>  
e-mail: [yefremovaoo@khmnu.edu.ua](mailto:yefremovaoo@khmnu.edu.ua)**ІВАНІШЕНА Тетяна**Хмельницький національний університет  
<https://orcid.org/0000-0002-3206-9307>  
e-mail: [ivanishenat@khmnu.edu.ua](mailto:ivanishenat@khmnu.edu.ua)**ІЩУК Тетяна**Хмельницький національний університет  
e-mail: [tetiana\\_ischuk@ukr.net](mailto:tetiana_ischuk@ukr.net)**ТРУХІНА Оксана**Хмельницький національний університет  
e-mail: [oksana.ivanishena2014@gmail.com](mailto:oksana.ivanishena2014@gmail.com)**ЄФРЕМОВА Юлія**Хмельницький національний університет  
e-mail: [yefremova@khmnu.edu.ua](mailto:yefremova@khmnu.edu.ua)

## СУЧАСНИЙ СТАН ПОВОДЖЕННЯ З ПОЛІМЕРНИМИ ВІДХОДАМИ

В роботі наведено результати аналізу сучасного стану поводження з полімерними відходами в Україні та світі. Державне регулювання в цій сфері є важливою ініціативою щодо поліпшення управління пластиковими відходами. Проаналізовано кількісний та якісний склад таких відходів. Здійснено оцінку можливих шляхів утилізації полімерних відходів задля вирішення проблеми дефіциту полімерної сировини. Досліджено основні методи їх переробки та напрямки використання отриманих продуктів.

Ключові слова: поводження з відходами, полімерні відходи, методи переробки відходів.

YEFREMOVA Olha, IVANISHENA Tetiana, ISHCHUK Tetiana,  
TRUKHINA Oksana, YEFREMOVA Yuliia  
Khmelnitskyi National University

## THE CURRENT STATE OF POLYMER WASTE MANAGEMENT

In the work presents the results of the analysis of the current state of polymer waste management in Ukraine and the world. It is known that the vast majority of such waste accumulates in landfills or enters the natural environment. Such a threatening situation requires the search for an effective solution to the problem of polymer waste management, since its processing contributes to the preservation of natural resources and the solution to the problem of the shortage of polymer raw materials. The quantitative and qualitative composition of such waste was analyzed and it was established that the most frequently used types of plastic are polyolefins. Since the management of a large amount of plastic waste is a difficult task, the state regulation of the polymer waste management system is of great importance in this area. In Ukraine, this is being implemented thanks to the adoption of the National Waste Management Strategy in 2017. An assessment of possible ways of recycling polymer waste was carried out in order to solve the problem of shortage of polymer raw materials. Today, polymer waste can be disposed of in three directions: material (polymer-raw material); raw materials and energy. The main methods of their processing and directions of use of the obtained products were studied. The most popular methods are physical, chemical and thermal. It has been established that the recyclates obtained in this way can most often be used in the food, processing, construction industries, as well as in automobile and aircraft construction. A fairly promising direction of using recycled products is light industry products with additional hydrophobic, fire-resistant, flame-retardant, conductive, heat-insulating, anti-corrosion, airtight and other operational properties.

Keywords: polymer waste management, polymer waste, methods of waste processing

### Постановка проблеми у загальному вигляді

#### та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Проблема поводження з полімерними (пластиковими) відходами за своєю актуальністю та складністю займає одне з провідних місць у наукових та практичних дослідженнях. Адже пластиківі виробі, завдяки своїм властивостям (легкість, доступність через низьку собівартість, довговічність та міцність) не втрачають своєї популярності і їх виробництво та використання останні десятиріччя лише зростає. Відповідно, зростає і кількість полімерних відходів. Згідно з [1] за останні 70 років було вироблено 8,3 мільярда метричних тонн пластику, з яких приблизно 6,3 мільярда метричних тонн стали відходами і лише 9 % від них було перероблено. Переважна більшість таких відходів накопичується на сміттєзвалищах або потрапляє в природне середовище. Якщо теперішня тенденція збережеться, то до 2050 року на звалищах буде 12 мільярдів метричних тонн пластику. І, якщо наприкінці другого тисячоліття основною проблемою вважалося забруднення полімерними відходами суходолу, то згодом стрімкими темпами почалося забруднення і світового океану [2]. Така загрозлива ситуація вимагає пошуку ефективного вирішення проблеми поводження з полімерними відходами. Їх переробка сприяє збереженню природних ресурсів, оскільки полімерні матеріали виробляються з нафти і газу і, в умовах дефіциту полімерної сировини, полімерні відходи стають потужним сировинним і енергетичним ресурсом. Отже переробка полімерних відходів може стати високоприбутковим видом економічної діяльності, в тому числі в галузі легкої промисловості, та забезпечить покращення екологічної ситуації в країні. Нагальним є пошук

ефективних шляхів поводження з полімерними відходами для вирішення проблеми дефіциту полімерної сировини.

### Аналіз досліджень та публікацій

Вивченню проблем поводження з побутовими та промисловими відходами, в тому числі полімерними присвятили свої дослідження такі вітчизняні вчені, як В.М. Шмандій, І.П. Крайнов, М.С. Мальований, А.Г. Картавий, Л.В. Дергачова, В.Г. Петрук, О.В. Харламова, Г.Д. Гуменюк, Г.В. Войтюк, О.В. Медведева, Т.Б. Шилович, О.М. Синюк, І.О. Мікульонюк, Мандзюк І.А. Разом з тим, проблема поводження з полімерними відходами залишається не вирішеною і потребує постійного вдосконалення, оскільки виробництво полімервмісної продукції зростає, причому змінюється якісно (винайдення нових, більш експлуатаційно-привабливих полімерних матеріалів).

### Формулювання цілей статті

Метою роботи є аналіз сучасного стану поводження з полімерними відходами в Україні та світі, методів перероблення та утилізації пластикових відходів для вирішення проблеми дефіциту полімерної сировини, в тому числі у галузі легкої промисловості.

### Виклад основного матеріалу








Експоненційно зростаючі обсяги утворення пластикових відходів є загрозою для таких цілей сталого розвитку ООН, як: сталий розвиток міст та спільнот, відповідальне споживання та виробництво, захист та збереження екосистем. Соціальна обізнаність, політика та переробка пластикових відходів є основою на шляху до зміни поводження з такими відходами [4].

За дослідженнями авторів [5] у 2019 році в усьому світі було вироблено 368 мільйонів тонн (Мт) пластику, з них 57,9 Мт у Європі, а попит переробників ЄС склав близько 50,7 Мт. В Україні за даними Держкомстату в 2019 р. обсяг утворених пластикових відходів становив 4 тис. т, з яких тільки 0,9 тис. т утилізовано, 0,1 тис. т спалено [6].

Зараз у світі використовується 7 груп пластикових полімерів, кожна з яких має певні властивості [7], що наведено у таблиці 1. Де також представлена можливість їх переробки на теперішній час [8].

Таблиця 1

#### Основні групи пластикових полімерів, їх характеристика та можливість переробки

Маркування	Групи пластикових полімерів	Чи підлягає переробці?
	поліетилентерефталат (PET або ПЕТ) являє собою складний термопластичний полієфір терефталевої кислоти і етиленгліколя. ПЕТ володіє такими властивостями як: міцність та зносостійкість, зберігає високу ударостійкість і міцність в діапазоні температур від мінус 40 °С до плюс 60 °С, є гарним діелектриком. Фізичні властивості ПЕТ роблять його ідеальним матеріалом для використання в різних сферах: виготовлення тари (пляшок), волокон, деталей машин. Методом екструзії з ПЕТ виготовляють термоусадочні і багатошарові плівки, що використовуються в пакувальній галузі, а також листи;	Так
	поліетилен високого тиску (PEHD (HDPE) або ПВТ) – сировина для виготовлення плівок та пакетів;	Так
	полівінілхлорид (PVC або ПВХ) – полімер, з якого виробляють лінолеум, металопластикові віконні профілі, меблі, штучну шкіру, плівки для натяжних стель, труби, ізоляцію дротів та кабелів;	Ні
	поліетилен низького тиску (PELD (LDPE) або ПНТ) – полімер, що використовується, переважно, для виробництва пляшок та пакетів для молочних продуктів, косметичних засобів (шампуні), кришечок від пляшок, одноразового посуду, контейнерів для продуктів харчування, іграшок;	Здебільшого ні
	поліпропілен (PP або ПП) – пластик, з якого виготовляють бампери, корпуси акумуляторів, деякі деталі двигуна, блоки запобіжників, деталі салону, і кузова автомобілів, кришки пластикових пляшок;	Іноді
	полістирол (PS або ПС) – полімер, з якого отримують одноразовий посуд, стаканчики для йогуртів, упаковку, іграшки, теплоізоляційні та пакувальні пінопластові вироби;	Іноді
	полікарбонат та інші пластмаси (O, OTHER або ІНШЕ) – застосовується для виробництва посуду для холодної їжі та води, багатошарової упаковки, комбінованого пластику.	Ні

Найбільш часто використовуваними типами пластику є поліолефіни (ПО) (поліетилен-PE; поліпропілен-PP) – близько 50 % [5]. Вони в основному використовуються в пакувальному секторі, наприклад, для упаковок харчових продуктів, кришок, мішків, лотків, плівок та пляшок, а також для труб, автомобільних деталей, сільськогосподарських плівок, деталей посуду тощо. Іншими поширеними пакувальними пластиками є поліетилентерефталат (ПЕТФ) – близько 8 % та полістирол (ПС) – близько 6,5 % [5].

Управління надзвичайно великою кількістю пластикових відходів є складним завданням, особливо в регіонах швидкого економічного розвитку та зростання населення. Так, згідно [8] у період з 1950 до 2015 р. приблизно 8 % коли-небудь виробленого пластику було спалено і лише 7 % було перероблено. Більшість виробленого пластику (близько 55 %) було викинуто та накопичено на звалищах або в природному середовищі, а решта зараз використовується, тобто близько 30 %.

Із загального об'єму полімерних відходів основна маса припадає на ПЕТ – 25 %, на поліетилен низького (ПЕТ) і поліетилен високого тиску (ПВТ) – по 15 %, поліпропілен (ПП) – 13 %, полістирол (ПС) – 6 %, полівінілхлорид (ПВХ) – 5 % і на інші полімерні матеріали – 21 %. Однак, на сьогоднішній день тільки 10 % відходів полімерних матеріалів піддаються рециклінгу, а ті полімерні відходи, що залишаються в багатьох країнах, включаючи і Україну, компостуються на полігонах, або накопичуються на місцевих сміттєзвалищах і несанкціонованих звалищах.

З розвитком переробних технологій та системи поводження з відходами відсоток переробленого пластику поступово зростає і європейські країни досягли значних результатів: в Англії переробляється 70 % ПЕТ-пляшок, в Німеччині — 80–85 %, в Швеції — 90–95 %. Країни знайшли спосіб, як перетворити використані полімерні відходи в такі готові продукти, як штапельні волокна, неткані матеріали, плівки, щітки, одноразовий посуд, пляшки харчового і нехарчового призначення, а також еко-одяг, основною тканиною якого є поліестер (тканина отримана із продуктів переробки ПЕТ-пляшок) [9]. Основою високого рівня утилізації відходів є державне регулювання системи поводження з полімерними відходами. Наприклад, принцип державного регулювання переробки ПЕТ-тари полягає в тому, що її виробники платять спеціальний податок, в який закладено вартість майбутньої переробки. З цих грошей держава фінансує утилізацію. Важливою ініціативою щодо поліпшення управління пластиковими відходами є введення обмеження державами-членами ЄС використання пластикових пакетів, поступове збільшення рециркуляції і відмови від поховання таких відходів. Передбачається, що до 2030 року вся пластикова упаковка повинна перероблятися [10].

Прийнята у 2017 році Національна стратегія управління відходами до 2030 року передбачає імплементацію в Україні найкращих європейських практик в сфері поводження з різними видами відходів (промисловими, твердими побутовими, відходами АПК, будівельними, небезпечними, пластиковими). Національна стратегія встановлює конкретні завдання і заходи, які дозволять Україні до 2030 року перейти до нової моделі поводження з відходами, до економіки замкненого циклу, яку застосовують провідні європейські країни. Реалізація наведених заходів покликана адаптувати національне законодавство у сфері управління відходами до європейського [10]. Використовуючи досвід країн ЄС, потрібно розробити ефективну законодавчу і нормативно-правову базу функціонування циркулярної економіки; переходити до нових більш ефективних бізнес-моделей (еко-дизайну, ремонту, повторного використання, відновлення і обміну продукції та максимального запобігання утворенню відходів) і стимулювати розвиток екологічно чистих технологій; доцільно розробити цільові програми фінансування проектів у сфері циркулярної економіки; необхідно змінити спосіб виробництва і споживання товарів з короткотермінового до довготермінового, а також заохочувати галузі економіки, підприємства і споживачів до максимальної переробки відходів [10].

На сьогодні полімерні відходи піддаються утилізації за трьома напрямками [2]: матеріальним (полімерно-сировинним); сировинним та енергетичним. Або за чотирма групами методів:

- 1) використання для виготовлення аналогічної продукції (тобто використання як первинної полімерної сировини);
- 2) використання для виготовлення іншої продукції, зазвичай зі зниженими експлуатаційними властивостями (тобто використання як вторинної полімерної сировини; рециклінг);
- 3) перероблення на хімічну сировину;
- 4) спалювання для одержання здебільшого теплової енергії.

Вторинна полімерна сировина може застосовуватися для виробництва термопластичних композиційних матеріалів; нових пластикових виробів; палива для сільськогосподарської техніки; деталей для сільськогосподарських машин і агрегатів; елементів споруд тваринницьких ферм; виробничого та експлуатаційного обладнання [11].

Серед методів переробки можна виділити наступні [12]:

- фізичні (механічний рециклінг, радіаційний метод);
- хімічні (сольволіз, матеноліз, термокаталіз, гідроліз і гліколіз);
- термічні (газифікація, спалювання, піроліз (FBR-метод, деполімеризація)).

В процесі термічного піролізу утворюються напівфабрикати-мономери, які в подальшому можуть бути використані при синтезі нових полімерних матеріалів. При розкладанні матеріалів до низькомолекулярних продуктів отримують сировину, що може бути використана для виготовлення ливарних пластмас і легкорозчинних клеїв. В Україні найбільшого поширення набув метод вторинної переробки полімерних матеріалів, який називається механічним рециклінгом, в результаті якого може бути отриманий гранулят, придатний для вторинного виробництва пластмас. У більшості європейських країн, а також в США і Японії механічному рециклінгу піддаються 90 % пластикових відходів, а отримані інгредієнти йдуть на вторинне виготовлення виробів із пластику [11].

Практично усі відходи, що складаються з одного типу полімерів, можуть бути механічно перероблені з незначною або з повною відсутністю погіршення якості. Однак механічна переробка стикається з різними проблемами, такими як термомеханічне розкладання і не змішваності різних полімерів [12]. Тому механічна переробка відпрацьованих пластмас має передбачати наступні стадії [13, 14]:

- 1) сортування відходів (в тому числі первинне) за типом полімеру, кольором, станом матеріалу і ступенем забрудненості;
- 2) попереднє подрібнення відходів до крихти з розмірами 10–30 мм залежно від подальшого оброблення матеріалу;
- 3) повторне сортування, видалення різних домішок, в тому числі паперових етикеток, миття і сушіння матеріалу;
- 4) агломерація – спікання відмитої полімерної крихти в грудки невеликих розмірів;
- 5) гранулювання маси – виробництво гранул різної фракції з розплаву полімерної крихти в спеціальному обладнанні.

Сучасні лінії механічного перероблення можуть утилізувати побутові і промислові полімерні відходи, виробничий брак, неліквіди, використану тару і упаковку [13].

Механічно перероблений пластик використовується для виготовлення нових виробів, але рідко у чистому вигляді, частіше, як добавка до первинної сировини. Як вторинна сировина пластик може перероблятися не більше 4–5 разів через термічний вплив під час перероблення. Після останнього циклу пластик може бути використаний у будівництві доріг. Основними перевагами механічного рециклінгу є досить простий технологічний процес, універсальність, відсутність забруднення довкілля викидами шкідливих речовин. Недоліками методу є висока енергоємність процесу, складність регулювання розмірів подрібнення, необхідність ретельного сортування і очищення відходів [13].

Радіаційний метод є перспективним для переробки відпрацьованих пластмас, зокрема армованих пластиків (композити з полімерної матриці у вигляді терморезистивних і термопластичних полімерів, армованих волокнистими і листовими матеріалами зі скла, полімерів, базальту, вуглецю та інших матеріалів). Метод передбачає руйнування молекул полімерів під дією високоенергетичного випромінювання нейтронів, бета-частинок та гамма-випромінювань з утворенням низькомолекулярних продуктів. Перевагою методу є його універсальність, оскільки під дією випромінювання руйнуються практично усі полімерні матриці з одночасним збереженням незмінними фізичних характеристик наповнювача, насамперед вуглецевих волокон. Недоліки – підвищене радіаційне навантаження на людину і довкілля та можливість утилізації, в основному, відходів тонкошарових армованих пластмас [13].

Для пластикових відходів, які не можуть бути перероблені через технічні або економічні причини за допомогою фізичних методів, використовують хімічні технології. Під час хімічного перероблення полімерні відходи розкладаються на вихідні молекули – мономери, олігомери або їх суміш з іншими вуглеводнями, з яких потім знову можна виготовити пластикову продукцію з тими ж властивостями. Хімічний метод дозволяє розбивати пластикові відходи на складові компоненти, згодом їх змішують і обробляють для створення нових матеріалів (пластику або синтетичних тканин).

Серед хімічних методів утилізації пластмас виділяють процес сольволізу, який також називають хемолізом. Сутність методу полягає в розщепленні (деполімеризації) відходів полімерів у присутності різноманітних хімічних сполук (води, кислот, лугів, гліколю метанолу). Вибір відповідного реагенту залежить від якості вихідного матеріалу. Залежно від природи розчинника виділяють такі види сольволізу: гідроліз, гліколіз, метаноліз.

Встановлено, що процес сольволізу дозволяє розщепити на мономери до 90 % пластику, в результаті чого утворюється рідинна фракція, яка містить такі речовини, як бензойна кислота, бензальдегід, ізопропілфенілкетон, метилетіловий ефір, метілізобутіловий ефір, бензол і ацетальдегід [13, 15]. Отже, методи сольволізу не завжди екологічно безпечні, енергоємні, вимагають використання високотехнологічного обладнання, певних хімічних реагентів, і тому досить дорогі, що є недоліками хімічного методу переробки полімерів. Перевагою методу є можливість переробки пластикових відходів нижчої якості через додаткове очищення пластмас під час хімічних процесів. Одним із перспективних шляхів вирішення проблеми утилізації відпрацьованих полімерних матеріалів є використання методу конверсії. Процес відбувається шляхом термохімічного розкладання відходів на первинні мономери та інші корисні речовини за допомогою процесів піролізу або газифікації [13]. Завдяки піролізу може вироблятися ряд корисних вуглеводнів, потенційно використовуваних як хімічна сировина або енергія [12, 16].

Піроліз пластикових відходів – це добре контрольований процес, який дозволяє отримати різноманітні вторинні матеріали, що потім можуть використовуватися за призначенням. Під час піролізу полімерів утворюється синтетична нафта, яку за аналогією з природною сировиною можна переробляти на продукти нафтохімії, включаючи нові пластмаси, або застосовувати як дизельне паливо за рахунок наявності в її складі ароматичних вуглеводнів з високою теплотворною здатністю. Газоподібні продукти піролізу, що містять вуглеводні C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub>, також володіють високою теплотворною здатністю, а, отже, можуть застосовуватися у газових двигунах [13]. Відходи зазвичай містять суміші органічних, полімерних і паперових забруднень, що вводять небажані гетероеlementи (азот, кисень, сірка, фосфор ін.) у сировину для піролізу, що, в свою чергу, призводить до експлуатаційних проблем: корозії технологічного обладнання та реакторів галогенами і сіркою, забруднення каталізаторів і коксування в реакторі через присутність металів, утворення сажі через присутність кисню, а також наявність хлору в продукті піролізу перешкоджає його використанню як паливо або сировину для нафтохімії [12].

Ще одним методом термічної переробки полімерних відходів є газифікація (більш високотехнологічний вид утилізації твердих відходів порівняно з поширеним у світі їх спалюванням у

сміттєспалювальних печач). Сутність процесу полягає у термічному розкладанні полімерів при температурах від 800 °С до 1500 °С за допомогою нестачі кисню і водяної пари. Газифікацію проводять у газогенераторних установках з використанням атмосферного повітря як джерела кисню. В результаті цього процесу утворюється генераторний газ або, так званий, синтез-газ, який складається з карбон (II) і (IV) оксидів, водню і метану. Ці гази можна використовувати у хімічній промисловості, а також для опалення та генерація електроенергії. Для підвищення ефективності газифікації та питомої теплоти згорання отриманої газової суміші процес ліпше проводити з використанням попередньо отриманих агломератів або гранул полімерних матеріалів [13, 15].

Газифікація полімерних відходів – це достатньо простий з технологічної точки зору процес. Ведення процесу при високих температурах та при низькій концентрації кисню призводить до того, що токсини, такі як діоксини та фурані, практично не утворюються. До недоліків газифікації належить наявність азоту в повітрі, як баластової речовини. Це може знижувати теплотворну здатність генераторного газу через його розбавлення. За даних умов генераторні установки поки не конкурентоспроможні, оскільки отриманий газ виходить значно дорожчим ніж природна сировина [13].

Не зважаючи на методи переробки, для вторинного використання полімерів потрібно перетворити некондиційну полімерну сировину в напівфабрикат (гранулу), придатний для подальшої переробки у виробі. Вибір технології первинної обробки залежить від джерела утворення відходів та ступеня їх забруднення [11].

Широкий спектр методів переробки полімермістких відходів дозволяє використовувати отримані рециклати у різних галузях промисловості, таких як харчова (тара і упаковка, ящики та палети), будівельна (виробництво кабельно-провідникової продукції, облицювальних панелей, покрівлі та інших будівельних матеріалів), автомобіле- і авіабудування (деталі та запчастини), переробна промисловість (виробництво посуду, меблів, предметів інтер'єру) [17].

Нового тренду набуває використання переробленої полімерної сировини у дорожньому будівництві. «Пластикова» дорога є «зеленою» технологією, яка зроблена повністю з полімермістких відходів. В основному при будівництві таких доріг використовували використанні сумки (з полімерної сировини), одноразові чашки, пляшки з поліетилентерафталату тощо [18].

Крім того, полімермісткі відходи застосовуються у легкій промисловості, так рециклінг поліетилентерафталату дасть змогу отримати взуттєву підшву з покращеними експлуатаційними властивостями. Полімерна композиція, яка містить перероблений пластик може виявляти вогнезахисні властивості при нанесенні на тканину або ж антибактеріальну дію при нанесенні на бавовняні, лляні та інші тканини. Залежно від складу полімерної композиції та умов нанесення властивість може бути гідрофобна, вогнетривка, вогнезахисна, струмопровідна, теплоізоляційна, антикорозійна, повітронепроникна тощо.

#### **Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі**

Отже, на сьогодні проблема утилізації пластикових відходів залишається актуальною і має глобальне значення. Виробництво пластмас зростає, кількість відходів відповідно теж зростає, універсального методу переробки полімерних відходів не існує. Проаналізовано різні методи переробки полімермістких продуктів, які дозволяють отримувати широкий спектр продуктів для подальшого використання у різних галузях промисловості. Під час вибору методу необхідно враховувати всі вихідні компоненти, речовини і елементи, які потім перейдуть в новий продукт або будуть виділятися під час самого процесу переробки чи утилізації.

Враховуючи необхідність збереження природних ресурсів, їх вичерпність та зростаючий дефіцит полімерної сировини, актуальним завданням є пошук ефективних методів переробки полімерних відходів з отриманням вторинної сировини, що може бути використана у легкій промисловості.

#### **Література**

1. The Complete Plastics Recycling Process. BLOG|RECYCLING, TYPES OF WASTE. October 12, 2020. <https://www.rts.com/blog/the-complete-plastics-recycling-process-rts>.
2. Мікульюнок І.О. Поводження з полімер-, скло- і металовмісними побутовими відходами [Електронний ресурс] : монографія / І.О. Мікульюнок. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – С. 86–110.
3. Синюк О.М. Наукові основи проектування обладнання для переробки полімерних відходів у виробі легкої промисловості : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.10 / О.М. Синюк, Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. – Київ : [б.в.], 2018. – 44 с.
4. Catalytic processing of plastic waste on the rise Antonio. Martín Cecilia Mondelli Shibashish D. Jaydev Javier Pérez-Ramírez. Volume 7, Issue 6, 10 June 2021, Pages 1487-1533. <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2020.12.006>.
5. Möllnitz S., Feuchter M., Duretek I., Schmidt G., Pomberger R., Sarc R. Processability of Different Polymer Fractions Recovered from Mixed Wastes and Determination of Material Properties for Recycling. *Polymers*. 2021; 13(3):457. <https://doi.org/10.3390/polym13030457>.
6. Проект Програми розвитку ООН в Україні «Поводження з пластиковими відходами на місцевому рівні». Виконавець звіту: «Україна – де Лаге Ланден Консалтинг Груп» в консорціумі з ГО «Інститут зеленої економіки», 2021. 44 с.
7. Утилізація та рекуперация відходів : навчальний посібник / В.М. Кропівний, О.В. Медведєва, А.В. Кропівна, О.В. Кузик. – Кропивницький : ЦНТУ, Електронне видання, 2020. – 440 с.
8. Miao Y., von Jouanne A., Yokochi A. Current Technologies in Depolymerization Process and the Road Ahead. *Polymers (Basel)*. 2021 Jan 30;13(3):449. doi: 10.3390/polym13030449. PMID: 33573290; PMCID: PMC7866858.
9. Лупінос А. Аналіз тенденцій розвитку підприємницької діяльності у сфері утилізації полімерних відходів в Україні / А. Лупінос, Н. Нуржії // Менеджмент і підприємництво: тенденції розвитку. – 2018. –

Випуск 2, № 04. – С. 55-63. – DOI: <https://doi.org/10.26661/2522-1566-2018-2/04-06>.

10. Руда М. В. Циркулярна економіка в Україні: адаптація європейського досвіду / М. В. Руда, Т. С. Яремчук, М.Г. Бортнікова // Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку. – Львів, № 3 (1), 2021. – С. 212–222. – DOI: <https://doi.org/10.23939/smeu2021.01.212>

11. Паладійчук Ю. Обґрунтування способів переробки полімерних відходів сільськогосподарського виробництва / Ю. Паладійчук, І. Телятник // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – ВНАУ : Вінниця, 2021. – № 4 (115). – С. 97-108. – DOI: [10.37128/2520-6168-2021-4-11](https://doi.org/10.37128/2520-6168-2021-4-11).

12. Маркіна Л.М. Визначення небезпеки пластикових відходів для дослідження можливості їх утилізації термічними методами / Л.М. Маркіна, С.Ю. Ушкац, Н.Ю. Жолобенко // Проблеми охорони праці в Україні. – Комунальне агентство «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці». – 2021. – Том 37 № 2. – С. 25-37. – DOI: [10.36804/nddipbop.37-2.2021.25-37](https://doi.org/10.36804/nddipbop.37-2.2021.25-37).

13. Михайлова Є. О. Аналіз методів перероблення пластикових відходів / Є. О. Михайлова, Д. М. Дейнека, Г. М. Панчева // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер.: Нові рішення в сучасних технологіях : зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2021. – № 1 (7). – С. 80-89.

14. Arun Kumar. Awasthi et al. Plastic solid waste utilization technologies: A Review. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2017. 263 022024. doi:10.1088/1757-899X/263/2/022024.

15. Mădălina Elena Grigore. Methods of Recycling, Properties and Applications of Recycled Thermoplastic Polymers. Recycling, 2017, Vol. 2, issue 24. doi: [10.3390/recycling2040024](https://doi.org/10.3390/recycling2040024).

16. Маркіна Л. М., Крива М. С. Вивчення технологічних параметрів піролізу відпрацьованих шин при статичному навантаженні. Наука та інновації. 2018, 14(6): 35–49. <https://doi.org/10.15407/scin14.06.038>.

17. Плаван В. П. Переробка полімерних відходів: сучасний стан та перспективи розвитку [Електронний ресурс] / В. П. Плаван, Б. М. Савченко, В. В. Денисюк // Київський національний університет технологій і дизайну. – 2020. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/ecology/ecology2021/paper/viewFile/13658/11491>.

18. Term Paper on Sustainable Plastic Waste Management [Електронний ресурс] / [А. Дхакал, Н. Гурунг, М. Кафле та ін.] // Університет Катманду. – 2021. – Режим доступу : [https://www.researchgate.net/publication/353820805\\_Term\\_Paper\\_on\\_Sustainable\\_Plastic\\_Waste\\_Management](https://www.researchgate.net/publication/353820805_Term_Paper_on_Sustainable_Plastic_Waste_Management).

#### References

1. The Complete Plastics Recycling Process. BLOG|RECYCLING, TYPES OF WASTE. October 12, 2020. <https://www.rts.com/blog/the-complete-plastics-recycling-process-rts>.

2. Mikulonok I.O. Povodzhennia z polimer-, sklo- i metalovmisnymy pobutovymy vidkhodamy [Elektronnyi resurs] : monografii / I.O. Mikulonok. – Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2022. – S. 86–110.

3. Syniuk O.M. Naukovi osnovy proektuvannia obladnannia dlia pererobky polimernykh vidkhodiv u vyrobky lehkoi promyslovosti : avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.05.10 / O.M. Syniuk, Kyiv. nats. un-t tekhnolohii ta dizainu. – Kyiv : [b.v.], 2018. – 44 s.

4. Catalytic processing of plastic waste on the rise Antonio. MartinI Cecilia Mondelli Shibashish D. Jaydev Javier Pérez-Ramírez. Volume 7, Issue 6, 10 June 2021, Pages 1487-1533. <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2020.12.006>.

5. Möllnitz S., Feuchter M., Duretek I., Schmidt G., Pomberger R., Sarc R. Processability of Different Polymer Fractions Recovered from Mixed Wastes and Determination of Material Properties for Recycling. Polymers. 2021; 13(3):457. <https://doi.org/10.3390/polym13030457>.

6. Proekt Prohramy rozvytku OON v Ukraini «Povodzhennia z plastykovyvy vidkhodamy na mistsevomu rivni». Vykonavets zvituv: «Ukraina – de Lahe Landen Konsaltnyh Hrup» v konsortsiiumi z HO «Instytut zelenoi ekonomiky», 2021. 44 s.

7. Utylizatsiia ta rekuperatsiia vidkhodiv : navchalnyi posibnyk / V.M. Kropivnyi, O.V. Medvedeva, A.V. Kropivna, O.V. Kuzyk. – Kropyvnytskyi : TsNTU, Elektronne vydannia, 2020. – 440 s.

8. Miao Y., von Jouanne A., Yokochi A. Current Technologies in Depolymerization Process and the Road Ahead. Polymers (Basel). 2021 Jan 30;13(3):449. doi: [10.3390/polym13030449](https://doi.org/10.3390/polym13030449). PMID: 33573290; PMCID: PMC7866858.

9. Lupinos A. Analiz tendentsii rozvytku pidpriemnytskoi diialnosti u sferi utylizatsii polimernykh vidkhodiv v Ukraini / A. Lupinos, N. Nurzhii // Menedzhment i pidpriemnytsstvo: tendentsii rozvytku. – 2018. – Vypusk 2, № 04. – S. 55-63. – DOI: <https://doi.org/10.26661/2522-1566-2018-2/04-06>.

10. Ruda M. V. Tsykuliarna ekonomika v Ukraini: adaptatsiia yevropeiskoho dosvidu / M. V. Ruda, T. S. Yaremchuk, M.H. Bortnikova // Menedzhment ta pidpriemnytsstvo v Ukraini: etapy stanovlennia i problemy rozvytku. – Lviv, № 3 (1), 2021. – S. 212–222. – DOI: <https://doi.org/10.23939/smeu2021.01.212>

11. Paladiichuk Yu. Obgruntuvannia sposobiv pererobky polimernykh vidkhodiv silskohospodarskoho vyrobnytsva / Yu. Paladiichuk, I. Teliatnik // Tekhnika, enerhetyka, transport APK. – VNAU : Vinnytsia, 2021. – № 4 (115). – S. 97-108. – DOI: [10.37128/2520-6168-2021-4-11](https://doi.org/10.37128/2520-6168-2021-4-11).

12. Markina L.M. Vyznachennia nebezpeky plastykovykh vidkhodiv dlia doslidzhennia mozhlyvosti yikh utylizatsii termichnymi metodamy / L.M. Markina, S.Iu. Ushkats, N.Iu. Zholobenko // Problemy okhorony pratsi v Ukraini. – Komunalne ahentstvo «Natsionalnyi naukovo-doslidnyi instytut promyslovoi bezpeky ta okhorony pratsi». – 2021. – Tom 37 № 2. – S. 25-37. – DOI: [10.36804/nddipbop.37-2.2021.25-37](https://doi.org/10.36804/nddipbop.37-2.2021.25-37).

13. Mykhailova Ye. O. Analiz metodiv pereroblennia plastykovykh vidkhodiv / Ye. O. Mykhailova, D. M. Deineka, H. M. Pancheva // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Ser.: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh : zb. nauk. pr. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2021. – № 1 (7). – S. 80-89.

14. Arun Kumar. Awasthi et al. Plastic solid waste utilization technologies: A Review. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2017. 263 022024. doi:10.1088/1757-899X/263/2/022024.

15. Mădălina Elena Grigore. Methods of Recycling, Properties and Applications of Recycled Thermoplastic Polymers. Recycling, 2017, Vol. 2, issue 24. doi: [10.3390/recycling2040024](https://doi.org/10.3390/recycling2040024).

16. Markina L. M., Kryva M. S. Vyvchennia tekhnolohichnykh parametriv pirolizu vidpratsovanykh shyn pry statychnomu navantazhenni. Nauka ta innovatsii. 2018, 14(6): 35–49. <https://doi.org/10.15407/scin14.06.038>.

17. Plavan V. P. Pererobka polimernykh vidkhodiv: suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku [Elektronnyi resurs] / V. P. Plavan, B. M. Savchenko, V. V. Denysiuk // Kyivskyi natsionalnyi universytet tekhnolohii i dizainu. – 2020. – Rezhym dostupu : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/ecology/ecology2021/paper/viewFile/13658/11491>.

18. Term Paper on Sustainable Plastic Waste Management [Elektronnyi resurs] / [A. Dkhakal, N. Hurunh, M. Kafle ta in.] // Universytet Katmandu. – 2021. – Rezhym dostupu : [https://www.researchgate.net/publication/353820805\\_Term\\_Paper\\_on\\_Sustainable\\_Plastic\\_Waste\\_Management](https://www.researchgate.net/publication/353820805_Term_Paper_on_Sustainable_Plastic_Waste_Management).

Надійшла/Paper received : 09.08.2022 р. Надрукована/Printed : 01.11.2022 р.