

## СУЧАСНИЙ РИНОК ВИРОБНИЦТВА ТА ПЕРЕРОБКИ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

<sup>2</sup>Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В. П. Кухаря НАН України

<sup>3</sup>Вінницький державний педагогічний університет ім. Михайла Коцюбинського

### Анотація

Розглянуто та проаналізовано сучасний ринок виробництва та переробки полімерних відходів на основі поліолефінів (ПЕВТ, ПЕНТ, ЛПЕ, ПП) а також інших полімерів – ПЕТФ, ПВХ. Показано, що в Україні основним методом переробки полімерних відходів є механічний рециклінг і лише незначна їхня частина спалюється разом з іншими твердими побутовими відходами з утилізацією теплової енергії та її конверсією в електричну енергію. В країнах ЄС загальний обсяг переробки пластичних відходів сягає 57–85 %, тоді як в Україні цей показник складає лише декілька тисяч тон від їх загального об'єму.

**Ключові слова:** екологія, полімерні відходи, спалювання, механічний рециклінг, хімічна переробка.

### Abstract

The modern market of production and processing of polymeric waste based on polyolefins (LDPE, LENT, LPE, PP) and also other polymers – PET, PVC has been considered and analyzed. It was shown that in Ukraine the main method of polymer waste processing is mechanical recycling and only a small part is subject to incineration as a part of solid house-hold waste with utilization of thermal energy and its conversion into electric energy. In EU, the total recycling of plastic waste reaches 57–85 % while in Ukraine this index is only a few thousand tons of their total volume.

**Keywords:** ecology, polymer waste, incineration, mechanical recycling, chemical processing.

### Вступ

Інтенсивний розвиток провідних промислових галузей передбачає відповідне зростання споживання енергії традиційних і відновлювальних джерел, які на сьогодні в світі становлять 12–15 млрд. т умовного палива [1, 2]. Традиційними джерелами енергії є вугілля, нафта, газ, а також енергія гідро-, тепло- та атомних електростанцій, які вже не компенсують повною мірою стрімке зростання енергоспоживання і є екологічно небезпечними. Між тим, у світі накопичилась величезна кількість полімерних відходів, які умовно можна позначити як «тверду нафту», що підлягає термохімічній переробці.

### Обговорення результатів досліджень

Виробництво великотоннажних полімерів зросло в геометричній прогресії з 2,3 млн. т в 1950 році до 448 млн. т в 2015 році. Очікується, що до 2050 року їх виробництво подвоїться [3]. При цьому 65 % загального об'єму припадає на поліолефіни (ПП, ПЕВТ, ПЕНТ, ЛПЕ), середньорічне збільшення об'єму яких складає більше 4 % на рік. Крім поліолефінів, 8 % від загального об'єму припадає на ПЕТФ, середньорічне збільшення темпів якого складає майже 7 % на рік [4]. Відмічається, що ключовим драйвером зростання світового попиту на полімери, як і до цього, залишається пакувальна промисловість (плівки, листовий матеріал, пакети, ПЕТ-пляшка). Структура світового ринку пакувальних пластиків за даними Wood Mackenzie наведена на рис. 1.

В 2020 році у зв'язку з пандемією Covid-19 загальний попит на великотоннажну хімію зменшився, не дивлячись на великий попит на медичні маски і халати (ПЕ, ПП, ПС), а також на одноразові пластикові вироби (ПЕ). Однак, глобальна рецесія в інших сегментах промисловості – автомобілебудуванні, будівництві, виготовленні меблів та побутової техніки обвалили ринок виробництва полімерів (ПВХ, ПЕ труби, спінений ПС, АБС-пластик) приблизно на 30–40 %. При цьому виникла гостра проблема екологічно безпечної переробки медичних відходів. Утилізацію медичних відходів можна розглядати як окремий випадок існуючих термічних способів переробки твердих відходів з використанням мобільних плазмових міні-установок для знезараження медичних відходів та знешкодження інших високотоксичних відходів і речовин.

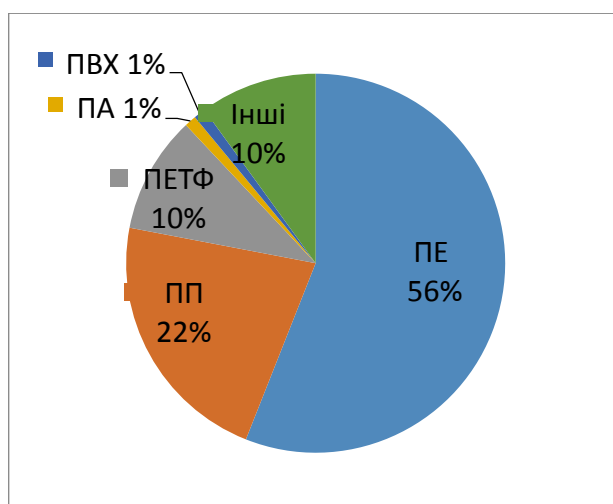


Рисунок 1 – Структура світового ринку пакувальних пластиків за даними Wood Mackenzie

Нині існують наступні способи переробки вторинної полімерної сировини:

- спалювання з метою отримання теплової або електричної енергії;
- механічна переробка з метою повторного використання;
- хімічна переробка з метою отримання вихідних мономерів і повторного їх використання у синтезі полімерів.

Енергетична цінність полімерних відходів у середньому на 60 % вища, ніж вугілля, тому зрозуміла кон'юнктура привабливості їх використання як енергоносіїв, однак при цьому відбувається безповоротна втрата цінної хімічної сировини та забруднення довкілля шкідливими речовинами димових газів. Так, проведені у 2019 році дослідження німецькими вченими [5] показують, що лише для незначної кількості хімічних речовин (Бісфенол А, фталати) встановлена їх токсичність для людини. Для інших чисельних додатків до пластмас: барвників, антипіренів, розчинників, пластифікаторів, УФ- та термостабілізаторів (всього виявлено 1411 хімічних речовин) такі детальні дослідження відсутні. При цьому встановлено, що до складу 34 досліджених екстрактів пластмас (74 %) входили небезпечні хімічні добавки різного функціонального призначення. Екстракти поліуретану (ПУР) викликали найбільшу токсичність, тоді як поліетилен високого тиску (ПЕВТ) і поліетилентерефталат (ПЕТФ) не викликали ніякої токсичності або мали низьку токсичність. Висока вихідна токсичність була встановлена у всіх «біопластиках», виготовлених з полілактичної кислоти. Наведені дані свідчать, що для визначення способу термохімічної переробки пластикових відходів, особливо у разі їх прямого спалювання, необхідно обов'язково враховувати їх хімічний склад та можливість негативного їх впливу на довкілля. У табл. 1 наведені дані співвідношення основних способів переробки вторинної полімерної сировини в європейських країнах.

Таблиця 1 – Утилізація пластикових відходів в країнах Європи [6]

Країна	Загальний обсяг переробки, %	Переробка для вторинного використання, %	Енергопереробка, %
Данія	85	19	66
Німеччина	70	51	19
Франція	69	22	47
Італія	62	42	20
Великобританія	57	41	16

Наведені у табл. 1 дані вказують на те, що в провідних країнах ЄС загальний обсяг переробки пластикових відходів сягає 57–85 %. З них спалюється на сміттєспалювальних заводах 16–66 %, а переробляється 19–51 %. Однак, ці усереднені дані (кінець 2010 року) для різних країн істотно відрізняються: Данія і Франція (за останніми даними і Швеція 49 % [7]) в декілька разів більше спалює полімерні відходи, а Німеччина і Великобританія їх переробляє.

В нормативних документах та спеціальній літературі, на жаль, відсутні конкретні дані відносно утворення та поводження з полімерними відходами в Україні. В табл. 2 наведена загальна оцінка використання деяких видів вторинних відходів в Україні станом на 2010 рік. Навіть за приблизними розрахунками авторів роботи [8] зі складу наведених вторинних ресурсів (табл. 2) можна переробляти

до 1 млн. т вторинної сировини, додатково збільшивши випуск товарної продукції на суму більше 1 млрд. грн.

Таблиця 2 – Оцінка використання потенційних вторинних ресурсів в Україні станом на 2010 рік

Вторинна сировина	Потенційні ресурси, тис. т	Об'єм переробки (використання), тис. т			Частка використання, % (середина 2008–2010 рр.)	Загальна потужність підприємств, які використовують вторинну сировину, тис. т
		2002	2007	середина 2008–2010 рр.		
Папір/картон	1500–1700	377	644	900–950	53–63	1100–1200
Скло	600–700	94,9	263	260–300	37–50	–
Вторинні полімерні матеріали	250–300	8,3	28,0	25–30	8,3–12	100–120
в т. ч. ПЕТФ	100–110	–	–	20–25	18–25	50
Гумові відходи, в т. ч. зношені шини	100–120	6,3	8,0	16–17	13–17	40–50
Люмінесцентні лампи	12–14	–	–	2,5–2,7	18,0–22,5	14,5
Відпрацьовані акумулятори	120–130	–	–	50	38–42	90–100

За останніми даними в Україні в 2017 році утворено 657193,4 тис. т різних видів відходів I–IV класів небезпеки [8]. З них утилізовано 96057,0 тис. т (14,6 %); спалено 1105,0 тис. т (0,17 %) та видалено у спеціально відведені місця чи об'єкти (полігони) та сміттєзвалища 193607,9 тис. т (29,5 %) (табл. 3) [9]. Водночас 366423,5 тис. т утворених відходів, що не підлягали означеному раніше видаленню, утилізації або спалюванню, збільшили загальну кількість накопичених в Україні відходів, яка сягає близько 36 млрд. т та складає більше 50 тис. т екологічного навантаження на 1 км<sup>2</sup> території країни [10]. Утилізація передбачала технічне (технологічне) вилучення цінних компонентів з відходів. До цієї категорії також ввійшли відходи, які на сьогодні складовані у техногенних родовищах.

Таблиця 3 – Утворення та поводження з відходами I–IV класів небезпеки за категоріями матеріалів у 2017 році

Вид відходів	Утворено, тис. т	Утилізовано, тис. т	Спалено, тис. т	Видалено, тис. т
Використані розчинники	1,2	0,4	0,2	0,0
Відходи кислот, лугів чи солей	213,1	78,9	4,2	102,5
Відпрацьовані оливи	18,0	18,2	1,0	0,2
Хімічні відходи	848,3	9,8	16,0	787,3
Осад промислових стоків	3644,1	609,7	2,4	389,0
Шлами та рідкі відходи очисних споруд	974,6	64,4	0,1	940,5
Відходи від медичної допомоги та біологічні	0,8	0,1	1,4	0,0
Відходи чорних металів	355,2	3041,3	0,1	773,1
Відходи кольорових металів	29,2	5,9	0,0	0,0
Змішані відходи чорних та кольорових металів	9,1	2,1	0,0	0,9
Скляні відходи	34,4	3,4	0,0	0,3
Паперові та картонні відходи	185,0	31,5	0,3	2,9
Гумові відходи	26,5	6,1	0,2	1,1
Пластикові відходи	64,4	13,7	1,0	2,4
Деревні відходи	814,8	57,9	374,3	17,9
Текстильні відходи	21,0	1,1	0,3	0,3

Вид відходів	Утворено, тис. т	Утилізовано, тис. т	Спалено, тис. т	Видалено, тис. т
Відходи, що містять поліхлорвініли	0,2	0,0	0,1	–
Непридатне обладнання	16,0	1,0	0,1	0,1
Непридатні транспортні засоби	1,7	0,0	0,0	–
Відходи акумуляторів та батарей	5,7	35,1	0,0	0,0
Відходи тваринного походження та змішані харчові відходи	589,4	311,2	4,1	8,1
Відходи рослинного походження	8678,7	2425,9	414,3	54,5
Тваринні екскременти, сеча та гній	3651,6	2614,0	–	52,7
Побутові та подібні відходи	6605,7	16,6	283,8	6589,9
Змішані та недиференційовані матеріали	10798,2	1459,9	0,9	2834,8
Залишки сортування	62,3	1,6	0,0	17,3
Звичайний осад	513,1	40,6	–	209,8
Мінеральні та змішані відходи будівництва	975,5	387,0	0,0	1109,9
Інші мінеральні відходи	265739,8	68755,2	1,0	138932,8
Відходи згоряння	12901,5	4070,1	0,0	7133,9
Ґрунтові відходи	367,3	80,9	0,0	156,8
Пуста порода від днопоглиблювальних робіт	45028,0	11913,0	0,0	33478,6
Затверділі, стабілізовані або засклянілі відходи: мінеральні відходи, що утворюються після переробки	49,1	0,4	0,1	10,3
Всього	657193,4	366423,5	96057,0	193607,9
	100 %	55,76 %	14,61 %	29,46 %

Незначна частина органічних відходів була спалена (табл. 3), що, вочевидь, пояснюється, насамперед, роботою лише двох сміттєспалювальних заводів в Україні: «Енергія» м. Київ та завод у м. Дніпро. Цей висновок підтверджується і даними, показаними на рис. 2 [9].

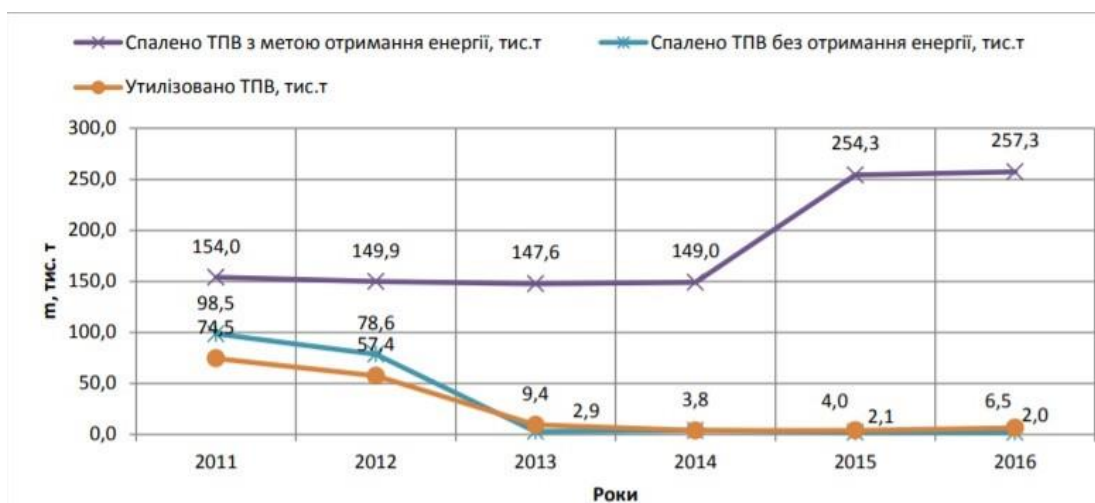


Рисунок 2 – Динаміка спалювання та утилізації побутових відходів в Україні у 2011–2016 роках

Наведені дані вказують на те, що крім холодного рециклінгу (механічної переробки), полімерні відходи в Україні спалюються і не підлягають переробці методами термохімічної деструкції (газифікація, плазма, піроліз) з отриманням синтез-газу та інших органічних речовин, теплової або електричної енергії.

## Висновки

Проведений аналіз виробництва та переробки полімерних відходів в Україні вказує на те, що механічний рециклінг та часткове спалювання є головними методами їх утилізації, тоді як використання цього цінного джерела відновлювальної енергетики методами термічного розкладання (газифікація, плазма, піроліз) з отриманням синтез-газу, інших органічних речовин, теплової та/або електричної енергії практично відсутні.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. BP Statistical Review of World Energy 2017. [Electronic resource]. Available: <https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>.
2. Key World Energy Statistics: International Energy Agency. OECD/IEA, 2017. [Electronic resource]. Available: <http://svenskvindenergi.org/wp-content/uploads/2017/12/KeyWorld2017.pdf>.
3. Новости «Эко-Согласия» по химической безопасности IPEN/«Эко-Согласия» Координационный центр IPEN в ВЕКЦА. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.facebook.com/EcoAccord/>.
4. А. В. Волкова, «Рынок крупнотоннажных полимеров–2020.» Высшая школа экономики, 2020, 74 с.
5. «Эко-Согласие»: за здоровую окружающую среду и устойчивое развитие. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://wwwfacebook.com/EcoAccord>.
6. О. В. Пиріков, і В. Н. Ардацьєв, «Огляд сучасних тенденцій використання полімерів у пакувальній галузі», Науковий вісник Полтавського університету споживчої кооперації України, № 1 (37), с. 31-36, 2009.
7. Райдил и Тэйлор, Катализ в теории и практике. Л.: Госхимтехиздат, 1933, 415 с.
8. В. С. Міщенко, і Г. П. Виговська, Організаційно-економічний механізм поводження з відходами в Україні та шляхи його вдосконалення. Київ, Україна: Наукова думка, 2009, 294 с.
9. Н. П. Попович, «Екологічно безпечний збір, транспортування та знешкодження твердих побутових відходів.» дис. канд. техн. наук, спец. 21.06.01 «Екологічна безпека». Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2019.
10. Кабінет Міністрів України, Розпорядження № 22-р, від 3 січня 2013 р «Про схвалення Концепції Загальнодержавної програми поводження з відходами на 2013 – 2020 роки».

**Коріненко Богдан Валерійович** – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця; інженер I категорії відділу № 8 Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В. П. Кухаря НАН України, e-mail: [b.korinenko.b@gmail.com](mailto:b.korinenko.b@gmail.com)

**Гордієнко Ольга Анатоліївна** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Хутько Марина Василівна** – старший лаборант кафедри хімії та хімічної технології, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Ранський Анатолій Петрович** – доктор хім. наук, професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Підгурська Вікторія Олександрівна** – студ. групи МХП, Природничо-географічний факультет, Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, м. Вінниця

**Bohdan V. Korinenko** – Postgraduate of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia; engineer of the I category of the Department № 8 of the V. P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, e-mail: [b.korinenko.b@gmail.com](mailto:b.korinenko.b@gmail.com)

**Olga A. Gordienko** – Ph.D., Docent, Associate Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

**Maryna V. Khutko** – senior laboratory assistant of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

**Anatoliy P. Ranskiy** – Dr. Sc. (Chem.), Professor, Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

**Victoria O. Pidgurska** – student, Natural and Geographical Faculty, Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University, Vinnytsia