

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-69-29>

УДК 54-126:504:338.32.053.4

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ УТИЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASPECT OF THE EFFICIENCY OF SOLID POLYMER WASTE DISPOSAL MANAGEMENT

Овдіюк Олена Миколаївна

кандидат економічних наук, доцент,
Житомирський державний університет імені Івана Франка
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9782-1750>

Василенко Ольга Миколаївна

кандидат біологічних наук, доцент,
Житомирський державний університет імені Івана Франка
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3283-6980>

Ovdiuk Olena, Vasylenko Olha
Zhytomyr Ivan Franko State University

Стаття присвячена особливостям зростання екологічних вимог, у тому числі в Україні, в частині можливостей адаптації до сучасних стандартів підприємницького сектору у галузі виробництва полімерів тощо. Розглянуто можливості управління утилізації твердих полімерних відходів з врахуванням еколого-економічного аспекту. Досліджено особливості та перспективи вторинної переробки промислових відходів, як варіант альтернативних джерел сировини, що сприятимуть зниженню виробничих витрат. Проаналізовано сучасні технології управління відходами, які дозволяють мінімізувати негативний вплив на довкілля та підвищувати рентабельність підприємств. Розроблена модель формування системи управління відходами в Україні. Доведено, що переробка поліетилену та поліпропілену приносить суттєву економічну вигоду для підприємств.

Ключові слова: полімери, екологія, економічний аспект, управління відходами, екологічні вимоги.

The article is devoted to the peculiarities of the growth of environmental requirements, including in Ukraine in terms of the possibilities of adaptation to modern standards of the business sector in this field (production of polymers, etc.). Possibilities of managing the utilization of solid polymer waste are considered, taking into account the ecological and economic aspect. Peculiarities and prospects of secondary processing of industrial waste as a variant of alternative sources of raw materials, which will contribute to the reduction of production costs, have been studied. Modern waste management technologies that allow minimizing the negative impact on the environment and increasing the profitability of enterprises are analyzed. A model of the formation of the waste management system in Ukraine has been developed. Modern approaches have been analyzed and scientifically based recommendations have been developed to optimize the operational management of industrial waste disposal at enterprises producing chemical fibers, in terms of achieving an economic effect. It has been proven that the processing of polyethylene and polypropylene brings significant economic benefits for enterprises. The use of secondary raw materials allows savings of up to 1,000 euros for each ton of recycled material, which can provide companies with savings of up to 45,000 euros every month. In particular, it has been found that in addition to financial benefits, recycling reduces the amount of waste that ends up in landfills, which is important for effective operational waste management. Environmentally, polymer recycling also has advantages: it reduces the amount of waste in landfills and reduces harmful emissions that occur during thermal disposal, for example, toxic gases that are dangerous to health and the environment. Chemical processing, particularly depolymerization, breaks down polymers into monomers, reducing harmful residues and creating materials that can be reused. It has been proven that the processing of polyethylene and polypropylene is beneficial both from an economic and ecological point of view. This approach helps to reduce costs, preserve natural resources and reduce environmental pressure, implementing the principles of circular economy and sustainable development.

Keywords: polymers, ecology, economic aspect, waste management, environmental requirements.

Постановка проблеми. У сучасному світі глобальних екологічних викликів проблема операційного управління утилізації промислових відходів, в частині економічного ефекту, набуває дедалі більшої ваги. Хімічна промисловість, зокрема виробництво хімічних волокон, є одним із основних джерел таких відходів, які можуть негативно впливати як на довкілля, так і на здоров'я населення планети в цілому. Процеси виготовлення синтетичних волокон, зокрема поліефірних і поліамідних, супроводжуються утворенням значних обсягів твердих, рідких і газоподібних відходів, що містять небезпечні хімічні речовини.

Ефективне управління утилізацією таких відходів стає особливо важливим у контексті розвитку сталого розвитку та «зеленої» економіки. Зростання обсягів виробництва хімічних волокон призводить до збільшення кількості відходів, що вимагає впровадження інноваційних підходів до їхньої переробки. Крім зменшення кількості відходів, критично важливо забезпечити їх безпечну утилізацію, яка мінімізує викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження еколого-економічних аспектів утилізації твердих полімерних відходів в Україні охоплюють широкий спектр питань, зокрема раціональне управління ресурсами, оцінку екологічних наслідків накопичення полімерних матеріалів, а також розробку економічних механізмів для їхньої переробки.

Так, у роботах Ю. Федорова Ю. та М. Чупріна [1] аналізують глобальні тенденції у використанні полімерними відходів, досліджують їх вплив на екосистеми та розглядають пропозиції щодо зменшення обсягів накопичення. Зокрема, О. Білявський [2] у своїх працях досліджує екологічний вплив полімерних відходів на довкілля та розробляє еколого-економічне обґрунтування для вибору методів їх використання. В працях Т. Шаніної, І. Сейфулліної та В. Кушнірової [3] досліджуються підходи до управління відходами пластичних мас з урахуванням екологічних та економічних аспектів. Автори акцентують увагу на класифікації полімерних відходів за класом безпеки, аналізують екологічні дослідження різних методів їх використання та шукають еколого-економічне обґрунтування вибору оптимальних способів їх утилізації.

Загалом, всі ці дослідження свідчать про те, що раціональне управління полімерними відходами можливе лише за умов інтеграції економічних і екологічних механізмів. Крім

того, використання вторинної сировини з полімерів дозволяє значно зменшити екологічне навантаження на довкілля.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблем. Посилення екологічних вимог, зокрема в Україні, зобов'язує підприємства дотримуватися сучасних стандартів. Невиконання цих норм може призвести до значних фінансових санкцій, втрати ділової репутації або навіть зупинки виробництва. Водночас зростає суспільний інтерес до екологічної відповідальності бізнесу, що підкреслює важливість ефективного управління відходами.

Дослідження в цій галузі відкриває нові можливості для вторинної переробки промислових відходів, яка може стати альтернативним джерелом сировини та сприяти зниженню витрат на виробництво. Впровадження сучасних технологій у сфері управління відходами дозволяє не лише мінімізувати їхній вплив на довкілля, а й підвищити економічну ефективність підприємств. Таким чином, дослідження питань утилізації відходів у хімічній промисловості набуває особливого значення в умовах підвищення екологічних стандартів і необхідності впровадження інноваційних екологічних рішень частині виділення економічного ефекту.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою дослідження є аналіз існуючих та розробка науково обґрунтованих підходів і рекомендацій для оптимізації операційного управління утилізацією промислових відходів на підприємствах з виробництва хімічних волокон, в частині отримання економічного ефекту. Такий підхід сприятиме зниженню негативного впливу на довкілля та підвищенню економічної ефективності виробничих процесів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Полімерні відходи сьогодні присутні майже всюди – вони поширені повсюдно, і їх легко помітити навколо нас. Це можуть бути різноманітні вироби та матеріали, виготовлені зі штучних полімерів, які втратили свою функціональність або більше не потрібні. Для їх виробництва заводи та фабрики застосовують мономери, які об'єднують у великі молекули за допомогою реакцій полімеризації або поліконденсації. У результаті створюються матеріали з високою молекулярною масою. Сучасні виробники постійно вдосконалюють технології, розробляючи полімери з конкретними властивостями, що знаходять застосування в численних галузях, таких як

харчова та хімічна промисловість, а також у повсякденному житті.

Варто зазначити, що полімери широко застосовуються в промисловості та побуті завдяки їхній стійкості до корозії, здатності витримувати зовнішні впливи, довговічності та тривалому терміну служби. Однак вони мають і значний недолік – дуже повільно розкладаються в природних умовах, що створює проблеми для довкілля.

Сучасна система управління відходами в Україні не використовує повною мірою економічні можливості країни та не знижує негативний вплив на навколишнє середовище. Полігони, що функціонують сьогодні, мають застаріле обладнання і не можуть забезпечити необхідний рівень переробки відходів. Внаслідок значних накопичень відходів, відсутності ефективних заходів для їх утилізації та запобігання, ситуація погіршується, що тільки посилює екологічні та економічні проблеми і гальмує розвиток національної економіки. В Україні досі немає чіткого визначення

терміну «полімерні відходи», і це ускладнює вирішення проблеми [4].

Варто зазначити, що У 2022 році в Україні був прийнятий новий Закон «Про управління відходами», який вступив у силу 9 липня 2023 року [5]. Цей закон вводить сучасну систему управління відходами, що більше відповідає європейським стандартам. Він охоплює всі види відходів, включаючи побутові, і передбачає оновлення законодавства у цій сфері. Закон має на меті створення ефективної системи для сортування, переробки та утилізації відходів в Україні. Ця стратегія визначає ключові напрямки державного регулювання у сфері поводження з відходами на кілька десятиліть вперед, орієнтуючись на європейський досвід

Розглянемо модель формування система управління відходами в Україні (рис. 1).

Таким чином, система управління відходами в Україні перебуває на етапі трансформації, спрямованої на гармонізацію з міжнародними екологічними стандартами. Хоча,



Рис. 1. Модель формування система управління відходами в Україні

Джерело: складено автором

впроваджуються нові законодавчі ініціативи та привертається увага до вторинної переробки, залишається низка викликів, зокрема, недосконала інфраструктура та недостатній рівень екологічної свідомості. Співпраця з міжнародними партнерами, залучення інвестицій та розвиток цифрових технологій, створюють перспективи для підвищення ефективності управління відходами, що є важливим кроком на шляху до сталого розвитку та збереження довкілля. Ці тенденції свідчать про поступовий перехід України до більш сталих і ефективних практик управління відходами, хоча викликів у цій сфері ще залишається чимало.

Процес переробки полімерних матеріалів передбачає використання їх відходів як базової або допоміжної сировини для створення нових виробів. Таким чином, вторинна сировина з полімерів виступає ресурсом, що доповнює основне виробництво. Вартість переробленої сировини може бути у 2-4 рази менше ніж ціна на основну сировину.

На рис. 2 представлена динаміка ціни на основну сировину (поліпропілен та поліетилен) на початок 2024 р. Оскільки основними країнами-експортерами цієї сировини для України є Китай, Словенія, Туреччина та Румунія, усі ціни подано в євро. Подальші роз-

рахунки економічної вигоди повторної переробки також здійснюватимуться в євро для коректного порівняння переробленої сировини з первинною. Середня ціна на первинний поліпропілен становить 1243,3 євро за тону, а на поліетилен – 1329,6 євро за тону. Ціни вказані без ПДВ та без урахування витрат на розмитнення та доставку до місця виробництва. З урахуванням цих факторів ціна на первинну сировину зростає на 15–20%.

Для прорахунку економічної ефективності переробки (рециклінгу) технологічних залишків виробництва полімерів потрібно розрахувати наступні чинники, а саме кількість витраченої електроенергії, витрати на З/П оператора та амортизацію обладнання (фіксовані витрати).

Для розрахунку економічної ефективності використано дані для обладнання Starlinger recoSTAR universal 65, що здатне за добу переробити до 2 тон поліпропіленових відходів та до 1,8 тони поліетиленових. За стандартного робочого циклу цей пристрій споживає приблизно 120 кВт·год на добу, що відповідає середньому споживанню потужності близько 5 кВт.

При поточній ціні в 6.2 грн/кВт (ціна в 6,2 грн/кВт, включає в себе ціну на електроенергію, розподіл, та послуги Укренерго) для

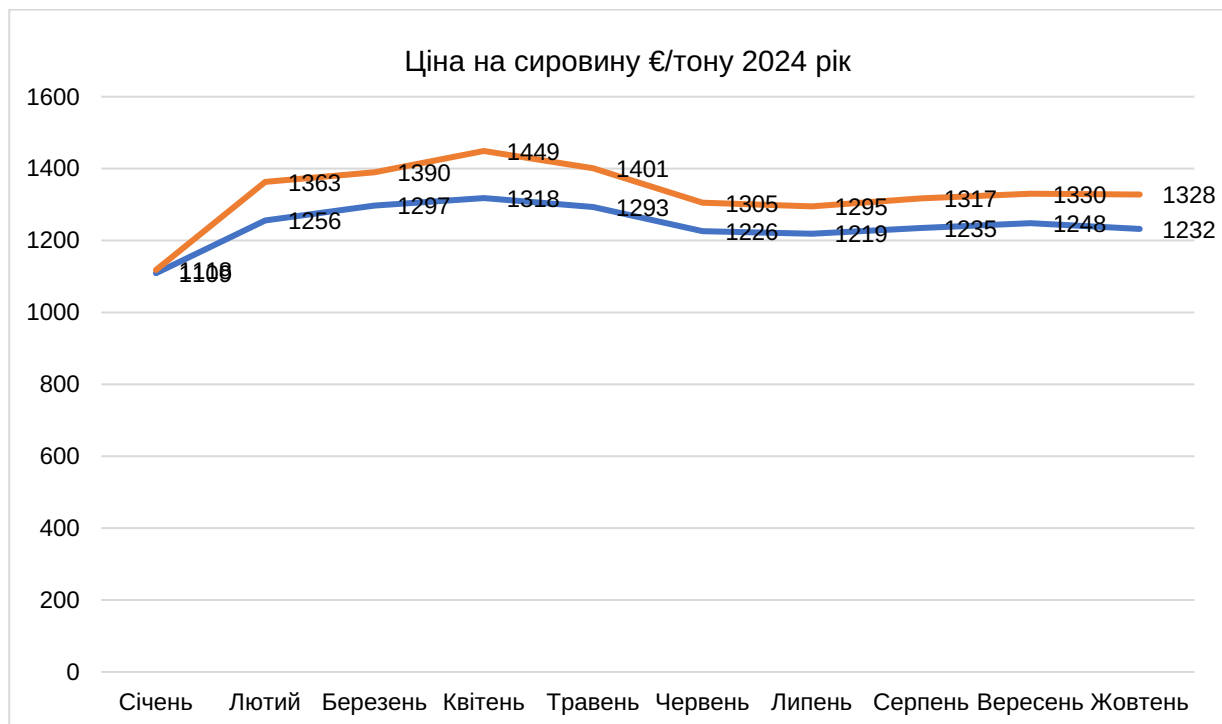


Рис. 2. Динаміка ціни первинної сировини (поліетилену та поліпропілену) за 2024 рік на підприємстві з виробництва хімічних волокон

Джерело: складено автором

промислових споживачів витрати на електроенергію складатимуть 17 856 грн або 401,26 євро. Таким чином, для виготовлення 1 тони переробленого поліпропілену потрібно витрати 200,62 євро на електроенергію.

Для розрахунку витрат на З/П оператора необхідно оцінити середню заробітну плату оператора екструзійної лінії по Україні. В середньому оператор екструзійної лінії в місяць отримує від 15 до 20 тис. грн. на руки. Для реалізації безперервної переробки необхідно задіяти 3 оператора в 3 зміни по 8 годин. При середній заробітній платі в 20 тис. грн. в місяць, при 3-х змінному графіку роботи, в середньому у одного оператора в місяць буде 21 робоча зміна. Заробітна плата одного оператора за зміну складатиме 954 грн., а 3 операторів за добу – 2857 грн. Отже, при 3-х змінному графіку роботи витрати на заробітну плату становитимуть 64 євро на добу. Підсумовуючи розрахунки витрат на електроенергію та витрати на працю, собівартість 1 тони рециклінгу поліпропілену буде становити 232 євро, поліетилену – 254 євро за тону. Витрати на амортизацію є фіксованими і для даного типу обладнання становлять приблизно 50 євро/тону. Отже, собівартість переробки технологічних відходів на підприємстві виготовлення хімічних волокон складає: для поліпропіленових відходів – 282 євро/тону, для поліетиленових відходів 304 євро/тону переробленої продукції. При середній ціні в 1243 євро за тону поліпропілену, можна отримати від 900 до 1 тис євро прибутку за тону переробленої сировини, та

близько 1 тис. євро за тону поліетилену. При середньому обороті підприємств такого профілю в 500 тон сировини щомісяця, буде утворюватися близько 10% виробничих відходів. При економії в 900 євро на тоні сировини, якщо підприємство переробить та використає всі виробничі відходи, загальна економія підприємства за місяць становитиме в середньому 45000 євро.

Висновки. Переробка полімерних відходів є важливим процесом, що має економічні та екологічні переваги. З економічної точки зору, вторинна сировина, зокрема поліетилен і поліпропілен, значно дешевша за первинні матеріали, що забезпечує значну економію для підприємства. Розрахунки показують, що переробка полімерних відходів може приносити до 45 000 євро щомісяця для підприємства, що дозволяє знижувати витрати на сировину та сприяє підвищенню фінансової ефективності виробництва.

Що стосується екологічного аспекту, переробка полімерних відходів має низку переваг, серед яких зменшення обсягів полімерних відходів на полігонах, скорочення шкідливих викидів, покращення енергетичної ефективності та збереження природних ресурсів. Найбільш ефективними методами утилізації є механічний рециклінг та хімічний рециклінг, оскільки вони знижують забруднення та мінімізують екологічний слід. Спалювання полімерних відходів, хоча й може бути корисним для енергетичного відновлення, супроводжується викидами токсичних речовин і має більший екологічний вплив.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Федорова Ю. І., Чупріна М. О. Аналіз глобальних тенденцій породження з полімерними відходами та їх впливу на екосистеми. *Екологія та природокористування*. 2020. № 3 (10). С. 15–22.
2. Білявський О. О. Вплив полімерних відходів на екосистеми та еколого-економічне обґрунтування методів їх утилізації. *Екологічна безпека та природокористування*. 2019. № 4 (28). С. 37–45.
3. Шаніна Т. П., Сейфулліна І. Й., Кушнирєва В. О. Еколого-економічне обґрунтування вибору способу поводження з відходами пластичних мас. *Вісник Одеського національного університету. Серія: Хімія*. 2015. Т. 20 (2). С. 49–60.
4. Олійник П. В., Дмитренко С. І. Сучасні методи переробки полімерних відходів. *Проблеми технології та інженерії*. 2018. Т. 7. № 1. С. 85–92.
5. Про відходи: Закон України від 05.03.1998 р. № 187/98-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 09.12.2024)
6. Про затвердження Порядку формування тарифів на послуги з поводження з побутовими відходами: Постанова Кабінету Міністрів України від 26.07.2006 р. № 1010 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1010-2006-%D0%BF#Text> (дата звернення: 09.12.2024)
7. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text> (дата звернення: 09.12.2024)

REFERENCES:

1. Fedorova Yu. I., Chuprina M. O. (2020) Analiz hlobalnykh tendentsii porodzhennia z polimernymy vidkhodamy ta yikh vplyvu na ekosystemy [Analysis of global trends in polymer waste generation and their impact on ecosystems]. *Ekolohiia ta pryrodokorystuvannia*, vol. 3 (10), pp. 15–22.
2. Biliavskiy O. O. (2019) Vplyv polimernykh vidkhodiv na ekosystemy ta ekoloho-ekonomichne obgruntuvannia metodiv yikh utylizatsii [Impact of polymer waste on ecosystems and ecological and economic justification of methods of their utilization]. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia*, vol. 4 (28), pp. 37–45.
3. Shanina T. P., Seifullina I. I., Kushnyrova V. O. (2015) Ekoloho-ekonomichne obgruntuvannia vyboru sposobu povodzhennia z vidkhodamy plastychnykh mas [Ecological and economic justification of the choice of the method of handling plastic mass waste]. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Seriia: Khimiia*, vol. 20 (2), pp. 49–60.
4. Oliinyk P. V., Dmytrenko S. I. (2018) Suchasni metody pererobky polimernykh vidkhodiv [Modern methods of polymer waste processing]. *Problemy tekhnolohii ta inzhenerii*. Vol. 1. (7). pp. 85-92.
5. Pro vidkhody [About waste]: *Zakon Ukrainy* (1998, March 5) Vol. 187/98-VR. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80> (accessed December 09, 2024).
6. Pro zatverdzhennia Poriadku formuvannia taryfiv na posluhy z povodzhennia z pobutovymy vidkhodamy [On the approval of the Procedure for the formation of tariffs for household waste management services]: *Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy* (2006, July 26) Vol. 1010 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1010-2006-%D0%BF#Text> (accessed December 09, 2024).
7. Pro skhvalennia Natsionalnoi stratehii upravlinnia vidkhodamy v Ukraini do 2030 roku [On the approval of the National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030]: *Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy* (2017, November 8) Vol. 820-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text> (accessed December 09, 2024).