

ЕКОЛОГІЧНО ЕФЕКТИВНА ПЕРЕРОБКА ПОЛІМЕРІВ: ПРИКЛАД RECYCLE HUB У РУМУНІЇ

Василенко О.М.

Житомирський державний університет імені Івана Франка
вул. Велика Бердичівська, 40, 10008, м. Житомир
vasylenko-o@zu.edu.ua

У статті висвітлюються актуальні питання утилізації полімерних матеріалів в умовах зростаючого їх використання у світі. Пластикове забруднення залишається одним із найгостріших екологічних викликів сучасності, що зумовлює потребу у впровадженні ефективних рішень. Дослідження зосереджено на аналізі інноваційних підходів до переробки полімерів на прикладі діяльності підприємства Recycle Hub у Румунії, яке є зразком ефективної інтеграції принципів циркулярної економіки.

Розглянуто глобальні екологічні виклики, спричинені щорічним виробництвом значних обсягів пластику, значна частина якого не підлягає переробці. Досвід Recycle Hub демонструє успішну інтеграцію інноваційних технологій у сфері рециклінгу, що дозволяє не лише зменшити обсяги пластикових відходів, але й суттєво скоротити викиди парникових газів. У статті детально описано методи переробки, що застосовуються на підприємстві: подрібнення, очищення, сортування полімерів та їх трансформація у гранулят для подальшого використання у виробничих процесах.

Особливу увагу приділено аналізу міжнародних стандартів і нормативно-правових актів, що регламентують процеси переробки пластикових відходів. Порівняно практики країн Європейського Союзу щодо зменшення використання одноразового пластику та стимулювання переробки, які можуть слугувати орієнтиром для впровадження відповідних підходів в Україні.

Новизна дослідження полягає у систематичному аналізі міжнародного досвіду переробки полімерів із урахуванням специфічних викликів, що стоять перед Україною. Відзначено, що в Україні відсутня ефективна система збору, сортування та утилізації гнучкої упаковки, що потребує впровадження інноваційних технологій рециклінгу. Досвід Recycle Hub може бути адаптований до українських реалій, сприяючи розвитку національної системи циркулярної економіки.

Методологічне значення роботи полягає у застосуванні комплексного підходу до оцінки ефективності рециклінгових технологій з урахуванням їхнього екологічного, економічного і соціального впливу. Аналіз впровадження інноваційних рішень у сфері переробки полімерів сприяє розвитку міждисциплінарних досліджень, що інтегрують екологічні науки, економіку та соціологію.

У висновках підкреслено необхідність впровадження передових технологій переробки полімерів для підвищення екологічної безпеки та економічної конкурентоспроможності України. Інтеграція міжнародного досвіду сприятиме розвитку інфраструктури переробки, створенню нових робочих місць і стимулюванню інновацій у промисловості. Досвід Recycle Hub демонструє, що інноваційні підходи можуть ефективно знижувати екологічне навантаження та сприяти сталому розвитку. *Ключові слова:* циркулярна економіка, інноваційні технології рециклінгу, екологічна ефективність утилізації, розширена відповідальність виробника, міжнародні екологічні стандарти.

Ecologically efficient processing of polymers: the example of Recycle Hub in Romania. Vasylenko O.

The article highlights the current issues of recycling of polymeric materials in the context of their growing use in the world. Plastic pollution remains one of the most acute environmental challenges of our time, which necessitates the implementation of effective solutions. The research focuses on the analysis of innovative approaches to polymer recycling using the example of the Recycle Hub enterprise in Romania, which is an example of effective integration of the principles of the circular economy.

The global environmental challenges caused by the annual production of significant volumes of plastic, a significant part of which cannot be recycled, are considered. The Recycle Hub experience demonstrates the successful integration of innovative technologies in the field of recycling, which allows not only to reduce the volume of plastic waste, but also to significantly reduce greenhouse gas emissions. The article describes in detail the recycling methods used at the enterprise: crushing, cleaning, sorting polymers and their transformation into granulate for further use in production processes.

Particular attention is paid to the analysis of international standards and regulatory legal acts regulating the processes of recycling plastic waste. The practices of the European Union countries in reducing the use of single-use plastic and stimulating recycling are compared, which can serve as a guideline for the implementation of appropriate approaches in Ukraine.

The novelty of the study lies in the systematic analysis of international experience in polymer recycling, taking into account the specific challenges facing Ukraine. It is noted that Ukraine lacks an effective system for collecting, sorting and disposing of flexible packaging, which requires the implementation of innovative recycling technologies. The Recycle Hub experience can be adapted to Ukrainian realities, contributing to the development of the national circular economy system.

The methodological significance of the work lies in the application of an integrated approach to assessing the effectiveness of recycling technologies, taking into account their environmental, economic and social impact. The analysis of the implementation of innovative solutions in the field of polymer processing contributes to the development of interdisciplinary research that integrates environmental sciences, economics and sociology.

The conclusions emphasize the need to implement advanced polymer processing technologies to increase environmental safety and economic competitiveness of Ukraine. The integration of international experience will contribute to the development of recycling infrastructure, the creation of new jobs and the stimulation of innovation in industry. The Recycle Hub experience demonstrates that innovative approaches can effectively reduce the environmental burden and promote sustainable development. *Key words:* circular economy, innovative recycling technologies, environmental efficiency of disposal, extended producer responsibility, international environmental standards.

Постановка проблеми. У сучасних умовах стрімкого зростання обсягів виробництва та використання полімерних матеріалів проблема їхньої утилізації та рециклінгу постає як одне з найактуальніших екологічних завдань. Пластикове забруднення продовжує накопичуватися в навколишньому середовищі, створюючи серйозні екологічні та соціальні проблеми. Попри численні дослідження у цій галузі, ефективні та екологічно безпечні технології переробки полімерів залишаються недостатньо досконалими.

Однією з перспективних моделей є досвід підприємства Recycle Hub у Румунії, яке впровадило інноваційні підходи до переробки пластикових відходів. Оцінка екологічної ефективності та результативності цього прикладу дозволяє виявити ключові недоліки сучасних технологій і сформулювати рекомендації щодо їхнього вдосконалення.

Таким чином, проблема ефективної та екологічно безпечної переробки полімерів залишається актуальною у багатьох регіонах світу та потребує глибокого аналізу з урахуванням міжнародного досвіду для розробки успішних стратегій.

Актуальність дослідження. Глобальні екологічні виклики, пов'язані із забрудненням пластиком, зумовлюють необхідність пошуку інноваційних рішень у сфері переробки полімерів. Щорічно у світі виробляється понад 400 мільйонів тонн пластику [1], значна частина якого потрапляє на звалища або у водойми, завдаючи шкоди екосистемам та здоров'ю населення. Екологічно ефективна переробка полімерів сприяє зменшенню обсягів відходів, зниженню навантаження на природні ресурси та скороченню викидів парникових газів.

Досвід підприємства Recycle Hub у Румунії демонструє успішне впровадження інноваційних технологій у сфері рециклінгу, що може слугувати прикладом для інших країн. Вивчення цього досвіду є важливим для розробки нових підходів до управління відходами та впровадження екологічно безпечних рішень у глобальному масштабі. Це дослідження сприятиме поширенню кращих практик та вдосконаленню існуючих технологій, що є важливим кроком до сталого розвитку та збереження довкілля [2].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Представлене дослідження має безпосередній зв'язок із вирішенням актуальних наукових та практичних завдань у галузі екологічно безпечної переробки полімерів. З наукової точки зору, робота спрямована на вдосконалення методологічних підходів до оцінки ефективності рециклінгових технологій, що дозволяє більш точно визначити їхній екологічний вплив і ефективність. Аналіз впровадження інноваційних рішень у контексті міжнародного досвіду сприяє розширенню наукового розуміння механізмів циркулярної економіки.

У практичному аспекті дослідження орієнтоване на адаптацію успішних моделей переробки поліме-

рів до умов різних регіонів, включаючи рекомендації щодо інтеграції таких технологій у виробничі процеси. Результати роботи можуть бути використані для формування політик управління відходами, розробки стандартів екологічної безпеки та оптимізації співпраці між державними структурами, бізнесом і громадянським суспільством у сфері сталого розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема переробки полімерних відходів, зокрема поліетилену та поліпропілену, є однією з ключових екологічних викликів сучасності. Розробка ефективних технологій переробки цих матеріалів є пріоритетом як для наукової спільноти, так і для промислових підприємств. У цьому контексті важливу роль відіграють міжнародні стандарти, які регламентують процеси переробки відходів, та нормативно-правові акти, що стимулюють підприємства до впровадження екологічно відповідальних практик.

Згідно з Директивою Європейського Союзу № 94/62/ЕС «Про упаковку та відходи упаковки», країни-члени зобов'язані забезпечити переробку певного відсотка пластикових відходів [3]. Наприклад, до 2025 року рівень переробки пластику має досягти 50%, а до 2030 року – 55%. Виконання цих нормативів супроводжується жорсткими санкціями. У Німеччині, відповідно до «Закону про упаковку» (Verpackungsgesetz), підприємства, які не дотримуються вимог щодо переробки, можуть бути оштрафовані на суму до 50 тисяч євро [4].

Важливу роль у регулюванні глобальної торгівлі пластиковими відходами відіграє Базельська конвенція [5]. З 2019 року у документ внесено зміни, які обмежують експорт пластикових відходів до країн, що не мають відповідної інфраструктури для їхньої переробки. Це зобов'язує країни-експортери розвивати власні системи утилізації. Крім того, міжнародний стандарт ISO 14001:2015 регламентує екологічний менеджмент підприємств і передбачає управління відходами як ключовий компонент. Наявність цього сертифіката зобов'язує компанії впроваджувати ефективні системи переробки [6].

Наукові дослідження також підтверджують необхідність модернізації процесів утилізації полімерів. У роботі Дж. Гоупвелл та ін. «Механічна та хімічна переробка твердих пластикових відходів» розглянуто сучасні методи механічної та хімічної переробки полімерів [7]. Автори зазначають, що механічний рециклінг є найпоширенішим методом, однак з кожним циклом якість переробленого матеріалу знижується. Як альтернатива пропонується хімічний рециклінг, який дозволяє відновлювати мономери, зменшуючи екологічне навантаження. Дослідження Рахімі А., Гарсія Дж. М. акцентує увагу на використанні інноваційних каталізаторів, що підвищують ефективність хімічної переробки та забезпечують отримання високоякісних хімічних продуктів [8]. У роботі С. Лю та ін. пропонуються новітні методи хімічного апсайклінгу, які дозволяють перетворю-

вати полімерні відходи на цінні дрібні молекули з мінімальними енергетичними витратами [9].

Інтеграція міжнародних стандартів, економічних стимулів і технологічних інновацій сприяє розвитку системи переробки полімерних відходів. Впровадження розширеної відповідальності виробника, екологічного менеджменту та інноваційних методів утилізації може значно зменшити негативний вплив полімерів на довкілля.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на значний прогрес у сфері переробки полімерів, існує низка аспектів, які залишаються недостатньо дослідженими. Зокрема, потребує подальшого вивчення інтеграція інноваційних технологій рециклінгу у великомасштабні промислові процеси з урахуванням економічної ефективності та впливу на навколишнє середовище. Важливим є також аналіз довгострокових наслідків застосування новітніх методів переробки для екосистем та здоров'я населення.

Окрему увагу слід приділити специфічним викликам у контексті України, де проблема переробки полімерних матеріалів залишається особливо гострою. Зокрема, в Україні не існує ефективних систем для переробки та сортування гнучкої упаковки, що використовується в аграрному та промисловому секторах. Відсутність належної інфраструктури для збору, сортування та утилізації цих матеріалів призводить до накопичення значних обсягів пластикових відходів, що становлять загрозу для навколишнього середовища та здоров'я населення.

Новизна дослідження. Новизна цього дослідження полягає у комплексному підході до аналізу екологічної ефективності інноваційних технологій переробки полімерів із врахуванням міжнародного досвіду. Особлива увага приділяється специфічним викликам в Україні, де відсутня ефективна система переробки гнучкої упаковки. Це дослідження є першим, що зосереджується на інтеграції інноваційних методів рециклінгу у промислові процеси в умовах недостатньо розвиненої інфраструктури та правового регулювання вітчизняного ринку.

Методологічне та загальнонаукове значення. Методологічне значення цього дослідження полягає у систематичному аналізі міжнародного досвіду, зокрема діяльності підприємства Recycle Hub у Румунії, з метою визначення ефективних підходів до переробки полімерних відходів. Особливий акцент зроблено на можливості інтеграції цих підходів у національні практики України, з урахуванням екологічних, економічних та соціальних чинників. Запропонована методика дозволяє оцінити ефективність рециклінгових технологій, враховуючи їхній вплив на довкілля, економіку та суспільство.

Загальнонаукове значення роботи полягає у внеску в розвиток міждисциплінарних досліджень, що поєднують екологічні науки, економіку та соці-

ологію. Аналіз досвіду Recycle Hub дозволяє сформувати нові підходи до управління полімерними відходами на основі принципів циркулярної економіки, що є ключовим для забезпечення сталого розвитку. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення державної політики у сфері екологічного регулювання та розвитку інноваційних технологій у галузі переробки полімерів. Таким чином, дослідження має потенціал стати основою для розробки галузевих методичних рекомендацій щодо управління полімерними відходами в Україні.

Викладення основного матеріалу. Більшість країн Європейського Союзу запровадили податки та регуляції, спрямовані на зменшення використання одноразового пластику та стимулювання переробки відходів. Ці заходи базуються на Директиві (ЄС) 2019/904 Європейського Парламенту та Ради від 5 червня 2019 року «Про зменшення впливу деяких пластикових виробів на навколишнє середовище» [10].

У Великій Британії з квітня 2022 року введено податок на пластикову упаковку, яка містить менше ніж 30% переробленого матеріалу. Цей захід спрямований на стимулювання використання перероблених матеріалів у виробництві упаковки.

В Італії впроваджено податок на пластикові вироби, що не підлягають переробці, з 2024 року. Це відповідає загальноєвропейським тенденціям щодо зменшення використання одноразового пластику.

Крім того, країни як Франція, Німеччина, Нідерланди та Швеція впровадили податкові стимули для виробників, які використовують перероблені матеріали, та штрафи для тих, хто не відповідає екологічним стандартам. Ці заходи сприяють переходу до циркулярної економіки та зменшення екологічного навантаження.

Варто зазначити, що Європейський Союз також запровадив загальноєвропейський збір за пластик, який розраховується на основі кількості не перероблених пластикових відходів упаковки в кожній державі-члені. Цей збір спрямований на стимулювання переробки та зменшення утворення пластикових відходів.

Для України, яка прагне експортувати товари до ЄС, впровадження ефективних систем переробки полімерних відходів стає необхідністю. Відсутність таких систем може стати бар'єром для виходу української продукції на європейські ринки, враховуючи суворі екологічні стандарти та регуляції ЄС.

Recycle HUB у Негрешті, Румунія, є інноваційним підприємством, що спеціалізується на переробці поліпропіленових і поліетиленових матеріалів після їх використання. Це частина масштабного проєкту компанії Flexible Packaging Solutions (FPS), спрямованого на зменшення кількості полімерних відходів і розвиток циркулярної економіки. Діяльність хабу демонструє ефективне впровадження принципів сталого розвитку в промислове виробництво, сприяючи збереженню природних ресурсів та зниженню екологічного навантаження.

Переробка на Recycle HUB починається з доставки використаних мішків на підприємство. Вони завантажуються на конвеєрну стрічку, де проходять кілька етапів обробки:

Подрібнення: мішки подрібнюються до дрібних фрагментів, що полегшує подальше очищення та сортування. Подрібнення дозволяє зменшити об'єм відходів і підвищити ефективність наступних етапів.

Очищення: матеріал очищується від залишків мінеральних добрив, бруду та інших домішок. Використання сучасних технологій очищення гарантує високу якість вторинної сировини.

Сортування: полімери розділяються на поліпропілен і поліетилен для подальшої переробки. Це забезпечує максимальне використання відновлених матеріалів у виробничих процесах.

Переробка в гранулат: отримані матеріали розплавляються, утворюючи гранулат – перероблений поліпропілен (PCR) та поліетилен. Гранулат використовується для виробництва нових пакувальних матеріалів.

Перероблена смола використовується для виробництва тканини FlexiGreen by FPS, що відповідає високим стандартам якості. Контейнери FlexiGreen FIBC із 30% переробленого матеріалу відповідають стандарту ISO 21898 і забезпечують аналогічну продуктивність, що й вироби з первинної сировини. Завдяки суворому контролю якості, продукція FlexiGreen демонструє високу надійність і довговічність.

Recycle HUB переробляє до 14 000 тонн полімерних матеріалів на рік, що дозволяє виготовляти близько 23 мільйонів біг-бегів FlexiGreen із вмістом щонайменше 30% вторинної сировини. Такий підхід сприяє щорічному скороченню викидів CO₂ на 18 000 тонн [2].

Глобально компанія FPS виробляє понад 50 мільйонів мішків на рік, з яких 45% виготовлені з переробленої сировини. Для очищення полімерів використовується до 840 мільйонів літрів води на рік.

Завдяки замкнутій системі очищення до 85% цієї води повторно використовується, що суттєво знижує водний слід підприємства. Збереження понад 714 мільйонів літрів води щороку демонструє ефективність екологічної політики компанії.

Recycle HUB дотримується принципів циркулярної економіки, забезпечуючи замкнутий цикл переробки. Використані матеріали повертаються у виробництво, зменшуючи кількість відходів і залежність від первинної сировини. Це сприяє збереженню природних ресурсів, знижує витрати на сировину та підтримує стійкий розвиток промисловості.

В Україні рівень переробки полімерних відходів становить лише 4–7%. Досвід Recycle HUB демонструє, як інноваційні підходи можуть знизити екологічне навантаження і сприяти розвитку національної системи циркулярної економіки, що є важливим кроком до досягнення сталого розвитку.

Висновки. Recycle HUB у Румунії є прикладом успішної інтеграції інноваційних технологій і сталого розвитку у сфері переробки полімерних матеріалів. Цей досвід може бути адаптований для вдосконалення системи управління відходами в Україні, сприяючи зниженню вуглецевого сліду та розвитку циркулярної економіки. Впровадження подібних практик допоможе Україні не лише зменшити екологічне навантаження, але й підвищити конкурентоспроможність на міжнародному ринку.

Перспективи для України. Впровадження передових технологій переробки є критично важливим для екологічної безпеки та економічної конкурентоспроможності України. Інтеграція міжнародного досвіду, такого як діяльність Recycle HUB, сприятиме розвитку інфраструктури переробки та зменшенню екологічного навантаження. Це стане ключовим фактором для доступу українських товарів на європейські ринки. Розвиток системи переробки сприятиме не лише екологічній безпеці, але й створенню нових робочих місць і стимулюванню інновацій у промисловості.

Література

1. Екологія в Україні. Кругообіг пластику в природі : веб-сайт. URL: <https://ecolog-ua.com/news/krugooobig-plastyku-v-pryrodi?> (дата звернення: 01.02.2025)
2. FPS – Flexible Packaging Solutions : веб-сайт. URL: <http://www.fps.com>. (дата звернення: 01.02.2025)
3. Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste. 1994. URL: <https://eur-lex.europa.eu> (дата звернення: 27.01.2025).
4. Verpackungsgesetz (Packaging Act) 2019. URL: <https://www.verpackungsgesetz.com> (дата звернення: 27.01.2025).
5. Basel Convention. Amendments to the Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal 2019. URL: <http://www.basel.int> (дата звернення: 27.01.2025).
6. ISO 14001:2015. Environmental management systems – Requirements with guidance for use 2015. URL: <https://www.iso.org> (дата звернення: 27.01.2025).
7. Hopewell J., Dvorak R., Kosior E. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. Waste Management. 2017. № 69. С. 68–77. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.07.044.
8. Rahimi A., García J. M. Chemical recycling of waste plastics for new materials production. Nature Reviews Chemistry. 2017. Т. 1, № 6. С. 125–134. DOI: 10.1038/s41570-017-0046.
9. Liu S., Li Y., Zhang Z. Chemical Upcycling of Polyolefin Waste into High-Value Small Molecules. ACS Catalysis. 2020. Т. 10, № 2. С. 923–931. DOI: 10.1021/acscatal.0c04102.
10. Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment. 2019. URL: <https://eur-lex.europa.eu> (дата звернення: 27.01.2025).