

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТУСА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТУСА

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

УЛЬЯНЕНКО Дмитро Валерійович

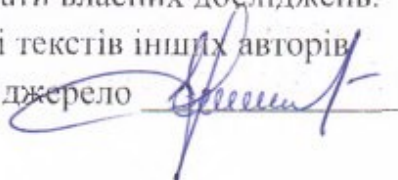
УДК 338.45:628.4.043:502.131.1:330.15

ДИСЕРТАЦІЯ

**РЕЦИКЛІНГ У ПРОЦЕСІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ
ДО МОДЕЛІ «ЗЕЛЕНОГО» ЛАНЦЮГА ДОДАНОЇ ВАРТОСТІ**

Спеціальність 051 – Економіка
Галузь знань 05 «Соціальні та поведінкові науки»

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів
мають посилання на відповідне джерело  Дмитро УЛЬЯНЕНКО

Науковий керівник: Тетяна ОРЕХОВА, доктор економічних наук, професор

Вінниця – 2026

Ульяненко Д. В. Рециклінг у процесі трансформації промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 051 – Економіка. Донецький національний університет імені Василя Стуса, Вінниця, 2026.

Дисертацію присвячено розвитку теоретико-методологічних засад дослідження процесу трансформації промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості, а також розробці науково-практичних рекомендацій щодо ефективного впровадження технологій рециклінгу у промисловому секторі економіки України.

У першому розділі роботи «Теоретико-методологічні засади дослідження процесів трансформації промисловості до моделі “зеленого” ланцюга доданої вартості» узагальнено підходи до дослідження природи поняття «зелена економіка» у контексті реалізації принципів сталого розвитку; систематизовано теоретико-методологічні основи дослідження концепції управління «зеленими» ланцюгами доданої вартості у сучасній економічній теорії; визначено детермінанти дослідження процесу рециклінгу як складника формування «зелених» ланцюгів доданої вартості.

Запропоновано концептуальні основи формування «зеленого» ланцюга доданої вартості, які ґрунтуються на інтеграції екологічних компонентів у всі етапи створення вартості – від дизайну продукту, логістики, виробництва до управління інформаційними системами, збуту продукції, споживання та утилізації продукції.

Зроблено висновок, що систематизація напрямів впровадження практик управління «зеленими» ланцюгами доданої вартості має формуватися за такими ознаками: управлінські (залученість керівництва, управління витратами, управління компетентностями, управління торгівлею викидами вуглецю, управління іміджем бренду та культурою компанії) та технологічні (екологізація технологій виробничого процесу, мінімізація авіап перевезень, інвестиції у модернізацію транспортної інфраструктури, формування циркулярних ланцюгів

постачання, використання адитивних технологій, цифровізації ланцюга постачання тощо).

Дістала подальшого розвитку система детермінант дослідження процесу рециклінгу як складника формування «зелених» ланцюгів доданої вартості як сукупність екологічних, економічних, технологічних, соціальних та інституційних чинників, що визначають необхідність, масштаби та ефективність переробки промислових відходів у системі циркулярної економіки.

У другому розділі роботи «Аналіз тенденцій розвитку рециклінгу у процесі трансформації промисловості до моделі “зеленого” ланцюга доданої вартості» проаналізовано сучасну динаміку та тенденції розвитку рециклінгу у промисловому виробництві країн світу; узагальнено динаміку формування моделі управління відходами в Україні; розроблено науково-методичні підходи до оцінки ефективності впровадження технологій рециклінгу для підприємств.

У роботі узагальнено основні світові тренди розвитку рециклінгу у промисловому виробництві, до яких пропоновано відносити перехід до циркулярної економіки, зростання рівня переробки та повторного використання ресурсів, впровадження енергоефективних і низьковуглецевих технологій, розвиток компостування та анаеробного зброджування органічних відходів, а також цифровізації процесів управління відходами.

Отримало подальший розвиток визначення основних ознак динаміки формування моделі управління відходами в Україні, до яких належить поступовий перехід від переважно екстенсивної системи захоронення відходів до впровадження принципів циркулярної економіки та розвитку рециклінгу, посилення екологічного регулювання, адаптація законодавства до стандартів ЄС, формування стратегічних орієнтирів переходу України до ресурсоефективної та «зеленої» моделі управління відходами.

Запропоновано метод оцінювання рівня переходу до циркулярної моделі управління відходами на основі інтегрального Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами (ІПЦМУВ), апробація якого дала можливість зробити висновок про нелінійний процес структурно-інституційної трансформації системи

управління відходами в Україні, результативність якого залежить одночасно від економічної структури, державної політики та здатності сформувати інфраструктуру замкненого ресурсного циклу.

Запропоновано науково-методичні підходи до оцінки ефективності впровадження технологій рециклінгу для підприємств, що ґрунтуються на комплексному поєднанні екологічних та економічних критеріїв оцінювання в межах концепції циркулярної економіки та «зелених» ланцюгів доданої вартості.

У третьому розділі роботи «Механізми впровадження рециклінгу у процесі трансформації промисловості до моделі “зеленого” ланцюга доданої вартості» визначено циркулярну стійкість підприємства як індикатор оцінки ефективності технологій рециклінгу; розроблено модель впровадження «зеленого» ланцюга доданої вартості як елементу циркулярної економіки; запропоновано підходи до формування механізму стимулювання ефективного управління відходами.

Під час дослідження обґрунтовано:

- поняття «циркулярність підприємства» як характеристику ступеня замкненості та ефективності використання ресурсних і матеріальних потоків у процесі створення вартості, яка визначається масштабом повторного використання, відновлення, рециклінгу та повернення ресурсів і матеріалів у господарський обіг, а також рівнем запобігання утворенню відходів та їх залучення до подальших виробничих процесів;

- поняття «циркулярна стійкість підприємства» як інтегральну характеристику здатності підприємства забезпечувати довгострокову економічну життєздатність і адаптивність шляхом системної інтеграції принципів циркулярної економіки у процесі створення вартості, що передбачає ефективне використання ресурсів, замкнення матеріальних потоків, мінімізацію утворення відходів та їх повторне залучення до господарського обігу з одночасним забезпеченням позитивних екологічних і соціальних результатів.

На основі імітаційного моделювання інтегрального еколого-економічного ефекту визначено умови результативності технологій рециклінгу та обґрунтовано необхідність синхронізації розвитку рециклінгу як елементу «зеленого» ланцюга

доданої вартості з доступністю промислових відходів та сформованістю ринку вторинної продукції.

Результати апробації авторської методики розрахунку Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами (ІПЦМУВ) на вибірці країн ЄС-27 засвідчили суттєву диференціацію рівня циркулярної трансформації національних систем управління відходами в країнах ЄС, а також виявили нерівномірність формування окремих компонентів циркулярної моделі в країнах ЄС.

Проведений аналіз кращих практик трансформації систем управління відходами до циркулярних принципів у країнах ЄС дав змогу запропонувати комплексний механізм стимулювання ефективного управління відходами, що базується на поєднанні економічних важелів (податки на захоронення та спалювання відходів, плата за утворення та вивезення ТПВ, принцип «забруднювач платить», принцип «користувач платить», субсидії та податкові пільги, «зелені» тарифи, депозитно-поворотні системи, схеми розширеної відповідальності виробника, податки на ресурси та первинну сировину, систему торгівлі квотами на викиди парникових газів, «зелені» державні закупівлі, фінансування екологічних фондів), організаційних важелів (національні та регіональні плани управління відходами, координація між рівнями влади, інформаційні системи моніторингу, роздільний збір та логістика відходів, міжмуніципальна співпраця, публічно-приватне партнерство, екологічна освіта та інформаційні кампанії, підготовка кадрів та нарощування потенціалу, координація інспекцій та контролю, інтеграція принципів циркулярної економіки) та адміністративних важелів (законодавче регулювання, ліцензування та дозвільна система, екологічні стандарти та нормативи, обов'язкові цільові показники переробки, моніторинг і звітність, інспекції та перевірки, санкції та штрафи, контроль перевезення небезпечних відходів, ризик-орієнтований нагляд, сертифікація «зелених» продуктів, державний екологічний контроль, міжнародна координація та імплементація директив). Результатами впровадження цього механізму мають стати: скорочення захоронення відходів, зростання рівня переробки, підвищення ресурсоефективності, розвиток циркулярної економіки,

зниження екологічних ризиків, залучення інвестицій у переробну інфраструктуру, формування екологічно відповідальної поведінки.

Ключові слова: рециклінг, зелені ланцюги доданої вартості, циркулярна економіка, сталий розвиток, управління відходами, ланцюги постачання, сталий розвиток ланцюга постачання, зелений перехід, зелена економіка.

ABSTRACT

Ulyanenko D. V. Recycling in the Process of Transforming Industry towards a “Green” Value Chain Model. – Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 051 – Economics. Vasyl Stus Donetsk National University, Vinnytsia, 2026.

The dissertation is devoted to the development of theoretical and methodological foundations for the study of the process of industrial transformation to the model of a «green» value chain, as well as the development of scientific and practical recommendations for the effective implementation of recycling technologies in the industrial sector of the Ukrainian economy.

The first section of the work «Theoretical and methodological foundations for the study of the processes of industrial transformation to the model of a “green” value chain» summarizes approaches to the study of the nature of the concept of «green economy» in the context of the implementation of the principles of sustainable development; systematizes the theoretical and methodological foundations for the study of the concept of green value chain management in modern economic theory; determines the determinants of the study of the recycling process as a component of the formation of green value chains.

Conceptual foundations for the formation of a green value chain are proposed, which are based on the integration of environmental components into all stages of value creation – from product design, logistics, production to information systems management, product sales, consumption and product disposal.

It was concluded that the systematization of the directions of implementation of green value chain management practices should be formed according to the following characteristics: managerial (management involvement, cost management, competence management, carbon trading management, brand image management and company culture) and technological (greening of production process technologies, minimization of air transportation, investments in modernization of transport infrastructure, formation of

circular supply chains, use of additive technologies, digitalization of the supply chain, etc.).

The system of determinants of the study of the recycling process as a component of the formation of green value chains as a set of environmental, economic, technological, social and institutional factors that determine the need, scale and efficiency of industrial waste processing in the circular economy system has been further developed.

The second section of the work «Analysis of recycling development trends in the process of transforming industry into a “green” value chain model» analyzes the current dynamics and trends in recycling development in industrial production in countries around the world; summarizes the dynamics of the formation of a waste management model in Ukraine; develops scientific and methodological approaches to assessing the effectiveness of implementing recycling technologies for enterprises.

The work summarizes the main global trends in the development of recycling in industrial production, which are proposed to include the transition to a circular economy, increasing the level of recycling and reuse of resources, the introduction of energy-efficient and low-carbon technologies, the development of composting and anaerobic digestion of organic waste, as well as the digitalization of waste management processes.

The definition of the main features of the dynamics of the formation of the waste management model in Ukraine was further developed, which include the gradual transition from a predominantly extensive waste disposal system to the implementation of the principles of the circular economy and the development of recycling, strengthening environmental regulation, adapting legislation to EU standards, and forming strategic guidelines for Ukraine’s transition to a resource-efficient and green waste management model.

A method for assessing the level of transition to a circular waste management model based on the Integrated Index of Transition to a Circular Waste Management Model (ICPWMV) was proposed, the testing of which made it possible to conclude about the nonlinear process of structural and institutional transformation of the waste management system in Ukraine, the effectiveness of which depends simultaneously on the economic structure, state policy, and the ability to form a closed resource cycle infrastructure.

Scientific and methodological approaches to assessing the effectiveness of implementing recycling technologies for enterprises are proposed, based on a comprehensive combination of environmental and economic evaluation criteria within the framework of the concept of a circular economy and green value chains.

In the third section of the work «Mechanisms for implementing recycling in the processes of industrial transformation to a “green” value chain model», the circular sustainability of the enterprise is defined as an indicator for assessing the effectiveness of recycling technologies; a model for implementing a green value chain as an element of the circular economy is developed; approaches to forming a mechanism for stimulating effective waste management are proposed.

The study substantiated the concept of «enterprise circularity» as a characteristic of the degree of closure and efficiency of use of resource and material flows in the process of value creation, which is determined by the scale of reuse, recovery, recycling and return of resources and materials to economic turnover, as well as the level of prevention of waste generation and their involvement in further production processes, as well as the concept of «circular sustainability of the enterprise» as an integral characteristic of the ability of the enterprise to ensure long-term economic viability and adaptability through the systematic integration of the principles of the circular economy into value creation processes, which involves the effective use of resources, closure of material flows, minimization of waste generation and their re-involvement in economic turnover, while ensuring positive environmental and social results.

Based on the simulation modeling of the integral ecological and economic effect, the conditions for the effectiveness of recycling technologies were determined and the need to synchronize the development of recycling as an element of the green value added chain with the availability of man-made raw materials and the formation of the secondary products market was substantiated.

The results of testing the author’s methodology for calculating the Index of Transition to a Circular Waste Management Model (ICPWMM) on a sample of EU-27 countries showed a significant differentiation of the level of circular transformation of

national waste management systems in EU countries, and also revealed the uneven formation of individual components of the circular model in EU countries.

The analysis of best practices for transforming waste management systems to circular principles in EU countries allowed us to propose a comprehensive mechanism for stimulating effective waste management, based on a combination of economic levers (taxes on waste disposal and incineration, fees for the generation and removal of MSW, the polluter pays principle, the user pays principle, subsidies and tax breaks, green tariffs, deposit-return systems, extended producer responsibility schemes, taxes on resources and primary raw materials, a system for trading greenhouse gas emission quotas, green public procurement, financing of environmental funds), organizational levers (national and regional waste management plans, coordination between levels of government, monitoring information systems, separate waste collection and logistics, intermunicipal cooperation, public-private partnership, environmental education and information campaigns, training and capacity building, coordination of inspections and control, integration of the principles of the circular economy) and administrative levers (legislative regulation, licensing and permitting system, environmental standards and regulations, mandatory recycling targets, monitoring and reporting, inspections and audits, sanctions and fines, control of hazardous waste transportation, risk-based supervision, certification of green products, state environmental control, international coordination and implementation of directives). The results of the implementation of this mechanism should be: reduction of waste disposal, increase in the level of recycling, increase in resource efficiency, development of the circular economy, reduction of environmental risks, attraction of investments in recycling infrastructure, formation of environmentally responsible behavior.

Keywords: recycling, green value chains, circular economy, sustainable development, waste management, supply chains, supply chain sustainability, green transition, green economy.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України:

1. Ульяненко Д. В., Савченко М. В. Циркулярна стійкість підприємства як індикатор оцінки ефективності технологій рециклінгу. *Актуальні проблеми економіки*. 2024. № 4(274). С. 22–37. DOI: 10.32752/1993-6788-2024-1-274-22-37 (1,14 д. а. / 0,57 д. а.). *Особистий внесок автора: здійснено систематизацію наукових підходів до визначення понять «циркулярна економіка підприємства» та «циркулярність підприємства», обґрунтовано їх відмінність від запропонованої категорії «циркулярна стійкість підприємств» та розвинуто теоретичне підґрунтя її формування.*

2. Ульяненко Д. В. Концепція «зелених» ланцюгів доданої вартості у контексті реалізації принципів сталого розвитку. *Економіка і організація управління*. 2023. № 1(49). С. 181–189. DOI: [10.31558/2307-2318.2023.1.18](https://doi.org/10.31558/2307-2318.2023.1.18) (0,6 д. а.).

3. Миценко В. І., Ульяненко Д. В. Концепія глобальних ланцюгів доданої вартості у фреймах сталого розвитку. *Економіка і організація управління*. 2024. № 3(55). С. 80–93. DOI: [10.31558/2307-2318.2024.3.9](https://doi.org/10.31558/2307-2318.2024.3.9) (1,12 д. а. / 0,57 д. а.). *Особистий внесок автора: удосконалено концептуальні основи формування зеленого ланцюга вартості, які ґрунтуються на інтеграції екологічних компонентів у всі етапи створення вартості.*

4. Ульяненко Д. В. Розвиток технологій рециклінгу в рамках трансформації промисловості до моделі циркулярної економіки. *Економіка і організація управління*. 2025. № 4(60). С. 243–258. DOI: 10.31558/2307-2318.2025.4.23 (1 д. а.).

5. Ульяненко Д. В. Динаміка формування моделі управління відходами в Україні. *Економічний простір*. 2026. № 215. С. 449–454. DOI: [10.30838/EP.215.449-454](https://doi.org/10.30838/EP.215.449-454) (0,86 д. а.).

Публікації за матеріалами конференцій:

6. Ульяненко Д. В. Напрями трансформації промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості. *Проблеми розвитку соціально-економічних*

систем в національній та глобальній економіці: праці XXIII Всеукраїнської наукової конференції студентів та молодих вчених (м. Вінниця, 21 квітня 2023 р.) / ред. кол. Т. В. Орехова та ін. Вінниця: ДонНУ імені Василя Стуса, 2023. Т. 1. С. 125–128 (0,25 д. а.).

7. Миценко В. І., Ульяненко Д. В. Концепція 3R у «зелених» патернах ланцюгів створення вартості. *Проблеми розвитку соціально-економічних систем в національній та глобальній економіці: праці XXV Всеукраїнської наукової конференції студентів та молодих вчених (м. Вінниця, 2 квітня 2025 р.) / ред. кол. Т. В. Орехова та ін. Вінниця: ДонНУ імені Василя Стуса, 2025. Т. 2. С. 44–48 (0,3 д. а. / 0,15 д. а.). Особистий внесок автора: обґрунтовано роль принципів 3R (скорочення, повторне використання та рециклінг) у формуванні «зелених» патернів ланцюгів створення вартості, сформульовано пропозиції щодо трансформації ланцюгів створення вартості на засадах ресурсоефективності та мінімізації відходів.*

8. Ульяненко Д. В. Рециклінг як одна з основних складових трансформації промисловості до моделі циркулярної економіки. *Управління розвитком соціально-економічних систем: глобалізація, підприємництво, стале економічне зростання: праці XXV Міжнародної наукової конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (м. Вінниця, 27 листопада 2025 р.) / ред. кол. Т. В. Орехова та ін. Вінниця: ДонНУ імені Василя Стуса, 2025. Т. 1. С. 176–178 (0,2 д. а.).*

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

10R (Refuse, Rethink, Reduce, Reuse, Repair, Refurbish, Remanufacture, Repurpose, Recycle, Recover) – комплекс циклічних принципів: відмова, переосмислення, скорочення споживання, повторне використання, ремонт, відновлення, повторне виробництво, перепрофілювання, перероблення та відновлення ресурсів

3R (Reduce, Reuse, Recycle) – принципи скорочення споживання, повторного використання та перероблення ресурсів

4Ps (Green 4Ps; Product, Price, Place, Promotion) – чотири складники зеленого маркетингу: продукт, ціна, місце (канали збуту), просування

CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism) – механізм вуглецевого коригування на кордоні

EPA (Environmental Protection Agency) – Агентство з охорони навколишнього середовища США

EPP (Environmentally Preferred Purchasing) – екологічно пріоритетні закупівлі

EU ETS (European Union Emissions Trading System) – система торгівлі викидами парникових газів Європейського Союзу

GSCM (Green Supply Chain Management) – управління зеленим ланцюгом постачання

RECP (Resource Efficient and Clean Production) – ресурсоефективне та чисте виробництво

SCM (Supply Chain Management) – управління ланцюгом постачання

UNCTAD (United Nations Conference on Trade And Development) – Конференція ООН з торгівлі та розвитку

UNIDO (United Nations Industrial Development Organization) – Організація Об'єднаних Націй з промислового розвитку

WMS (Warehouse Management System) – система управління складськими процесами

BEEQ / WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) – відходи електричного та електронного обладнання

ЗІС / GIS (**Green Information Systems**) – зелені інформаційні системи

ІПЦМУВ – індекс переходу до циркулярної моделі управління відходами

МСП – малі та середні підприємства

ОВВ – організація з виробництва відходів

ОВО / PRO (**P**roducer **R**esponsibility **O**rganization) – організація розширеної відповідальності виробників

ОЕСР – Організація економічного співробітництва та розвитку

РВВ – розширена відповідальність виробника

ТПВ – тверді побутові відходи

ШІ / AI (**A**rtificial **I**ntelligence) – штучний інтелект

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	13
ВСТУП.....	16
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ДО МОДЕЛІ «ЗЕЛЕНОГО» ЛАНЦЮГА ДОДАНОЇ ВАРТОСТІ	28
1.1. «Зелена економіка» у контексті реалізації принципів сталого розвитку.....	28
1.2. Концепція управління зеленими ланцюгами вартості у сучасній економічній теорії.....	41
1.3. Процес рециклінгу як складова формування «зелених» ланцюгів вартості.....	50
Висновки розділу 1	67
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ РЕЦИКЛІНГУ У ПРОЦЕСІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ДО МОДЕЛІ «ЗЕЛЕНОГО» ЛАНЦЮГА ДОДАНОЇ ВАРТОСТІ	70
2.1. Аналіз трендів розвитку рециклінгу у промисловому виробництві країн світу	70
2.2. Динаміка формування моделі управління відходами в Україні	88
2.3. Науково-методичні підходи до оцінки ефективності технологій рециклінгу для підприємств.....	112
Висновки до розділу 2	124
РОЗДІЛ 3. МЕХАНІЗМИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЦИКЛІНГУ У ПРОЦЕСІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ДО МОДЕЛІ «ЗЕЛЕНОГО» ЛАНЦЮГА ДОДАНОЇ ВАРТОСТІ	128
3.1. Циркулярна стійкість підприємства як індикатор оцінки ефективності технологій рециклінгу	128
3.2. Моделювання інтегрального еколого-економічного ефекту рециклінгової діяльності у процесі трансформації промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості.....	139
3.3. Напрями формування інституційних рамок політики управління відходами	159
Висновки до розділу 3	190
ВИСНОВКИ.....	194
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	199
ДОДАТКИ	226

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У сучасних умовах трансформації економічних систем у відповідь на глобальні виклики, пов'язаних із ресурсними обмеженнями, зміною клімату та зростанням екологічних ризиків, формування «зелених» ланцюгів доданої вартості стає одним із пріоритетних напрямів модернізації промисловості у провідних країнах світу. На відміну від традиційної лінійної моделі виробництва, заснованої на принципі «видобуток – виробництво – споживання – утилізація», «зелений» ланцюг доданої вартості передбачає максимально ефективне використання ресурсів, мінімізацію відходів, повторне використання матеріалів та інтеграцію принципів циркулярної економіки на всіх етапах створення вартості. Ключовим інструментом такої трансформації виступає рециклінг, який забезпечує повернення вторинних матеріальних ресурсів у виробничий цикл, скорочує потребу у первинній сировині, знижує енергоємність виробництва та сприяє декарбонізації промисловості.

Дослідження компанії McKinsey визначили 15 перспективних напрямів підвищення продуктивності використання ресурсів, зокрема в енергетиці, транспорті, сільському господарстві та промисловості, і засвідчили, що вже до 2030 року приблизно 75 % загального потенціалу ресурсозбереження може бути реалізовано за умови економічно доцільного співвідношення витрат та вигод [172]. Це свідчить про те, що перехід до циркулярної моделі господарювання є не лише екологічною необхідністю, а й вагомим фактором економічного зростання.

Світові тенденції також демонструють динамічне зростання «зелених» технологій, оскільки циркулярна економіка створює величезні можливості для зростання, зайнятості та конкурентоспроможності. Як зазначено у Національній стратегії циркулярної економіки Німеччини, перехід до циркулярної економіки відіграє важливу роль у забезпеченні постачання сировини. Він підвищує стійкість ланцюгів постачання та економіки завдяки ширшому використанню вторинної сировини та підвищенню ефективності використання ресурсів [197].

Особливої актуальності процес трансформації промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості набуває у контексті реалізації в ЄС Європейського зеленого курсу та Плану дій ЄС щодо циркулярної економіки, які визначають ресурсну ефективність, повторне використання матеріалів, розвиток ринків вторинної сировини та декарбонізацію виробництва як ключові напрями промислової політики. Формування «зелених» ланцюгів доданої вартості розглядається як стратегічний механізм забезпечення конкурентоспроможності економіки, досягнення кліматичної нейтральності та зміцнення ресурсної безпеки.

Для України проблема розвитку рециклінгу набуває додаткового значення в умовах післявоєнного відновлення економіки, масштабних руйнувань виробничої інфраструктури та необхідності інтеграції до єдиного економічного простору Європейського Союзу. Гармонізація національної політики управління відходами з європейським законодавством, розвиток індустрії вторинної переробки, створення замкнених виробничих циклів і впровадження принципів циркулярної економіки є важливими передумовами модернізації промисловості, підвищення її ресурсної ефективності інтеграції українських підприємств до європейських «зелених» ланцюгів доданої вартості. У зв'язку з цим дослідження теоретичних і практичних засад розвитку рециклінгу як інструменту трансформації промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості набуває своєї особливої актуальності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Концепції циркулярної економіки та сталого розвитку сьогодні визнані ключовими орієнтирами для подолання глобальних екологічних викликів. З огляду на це, Європейська комісія у 2019 р. ухвалила Європейську зелену угоду [194] як керівну основу для досягнення кліматичної нейтральності до 2050 р. Важливим складником цієї ініціативи став Новий план дій із циркулярної економіки [28], розроблений на базі попереднього Плану дій [59]. Впровадження циркулярної економіки розглядається як інструментальна стратегія для підтримки досягнення глобальних цілей сталого розвитку. Такої ж думки дотримуються зарубіжні науковці П. Шредер, К. Ангтраені, У. Вебер, Е. Россі, А. К. Бертасіні, К. С. Феррейра, В. А. Н. до Амарал, А. Р. Ометто,

які вбачають у циркулярній економіці потенціал зробити внесок у інші виміри сталого розвитку, включаючи кілька Цілей сталого розвитку [57; 177]. Новий план дій циркулярної економіки розширює фокус до мікрорівня, заохочуючи підприємства рухатися до провадження технологій циркулярної економіки у «зелені» ланцюги доданої вартості. Питанням формування «зелених» ланцюгів доданої вартості та інтеграції до них принципів циркулярної економіки приділено увагу у працях З. Атаманчук та В. Рильського [2], А. Вайона та Д. Деметріу [205], І. Зварич та Т. Драпак [225], С. Козловського, І. Заюкова, В. Козловського, О. Трегубова, С. Сторчака, В. Міщенко, Р. Лаврова [171], М. Лаубшер, Т. Марінеллі [117], Т. Орехової, В. Роледерс, І. Сисоєвої [174], С. Сегеди, С. Батажок та Т. Приходько [13; 14], М. Смол, Я. Кульчицької, А. Авдющенко [182], М. Шкурат, А. Лозінського [24] та ін.

Питання відновлення національної економіки на принципах Build Back Greener та трансформації промислового виробництва до моделі «зелених» ланцюгів вартості присвячені праці вітчизняних вчених – М. Солдак [190], Т. Орехової, О. Рябчина [12] тощо.

Незважаючи на численні наукові праці як зарубіжних, так і вітчизняних вчених, потребують подальшого дослідження трансформації промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості через впровадження технологій рециклінгу, що зумовлює вибір теми дисертаційної роботи, постановку мети і завдань дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано в Донецькому національному університеті імені Василя Стуса відповідно до тематики науково-дослідної роботи кафедри менеджменту та поведінкової економіки «Стратегія розвитку складних соціально-економічних систем в новій економіці» (номер держреєстрації 0122U201632, 2022–2024 рр.), в рамках якої було досліджено розвиток концепції «Двоетапного процесу зеленого виробництва».

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розвиток теоретико-методологічних засад дослідження процесу трансформації

промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості та розробка науково-практичних рекомендацій щодо ефективного впровадження технологій рециклінгу у промисловому секторі економіки України.

Досягнення поставленої мети зумовило необхідність вирішення низки таких завдань:

- узагальнити природу поняття «зелена економіка» у контексті реалізації принципів сталого розвитку;
- систематизувати теоретико-методологічні основи дослідження концепції управління «зеленими» ланцюгами вартості у сучасній економічній теорії;
- визначити детермінанти дослідження процесу рециклінгу як складника формування «зелених» ланцюгів вартості;
- проаналізувати сучасну динаміку та тенденції розвитку рециклінгу у промисловому виробництві країн світу;
- узагальнити динаміку формування моделі управління відходами в Україні;
- розробити науково-методичні підходи до оцінки ефективності впровадження технологій рециклінгу для підприємств;
- визначити циркулярну стійкість підприємства як індикатор оцінки ефективності технологій рециклінгу;
- розробити модель впровадження «зеленого» ланцюга доданої вартості як елементу циркулярної економіки;
- запропонувати підходи до формування механізму стимулювання ефективного управління відходами.

Об’єктом дослідження є процес трансформації промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості через впровадження технологій рециклінгу.

Предметом дослідження є теоретичні засади й організаційно-економічні важелі процесу трансформації промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості через впровадження технологій рециклінгу.

Методи дослідження. Теоретичним та методологічним підґрунтям дисертаційної роботи виступають положення економічної теорії, наукові праці вітчизняних і зарубіжних вчених із проблем трансформації промисловості до

моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості через впровадження технологій рециклінгу.

Під час дослідження використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів, зокрема *метод логічного аналізу та синтезу* (для дослідження взаємозв'язків між трансформацією економічних процесів, розвитком концепції циркулярної економіки та змінами у системі управління відходами), *метод наукової абстракції* (для уточнення та розвитку понятійно-категоріального апарату дослідження, зокрема сутності понять «циркулярна економіка підприємства», «циркулярність підприємства» та «циркулярна стійкість підприємства»), *методи індукції та дедукції* (для формування теоретичних узагальнень, обґрунтування наукових положень, інтерпретації результатів дослідження та розроблення практичних рекомендацій), *метод порівняння* (для зіставлення наукових підходів до визначення ключових понять, а також порівняльного аналізу особливостей управління відходами та рівня переходу до циркулярної моделі управління відходами в країнах ЄС); *метод статистичного аналізу* (для дослідження динаміки, структури та взаємозалежностей показників утворення, перероблення, утилізації, спалення та видалення відходів); *індексний метод* (для розроблення та апробації інтегрального показника переходу до циркулярної моделі управління відходами (ІПЦМУВ) та порівняльного оцінювання рівня циркулярної трансформації систем управління відходами в Україні та ЄС-27); *метод нормування та агрегування показників* (для забезпечення порівнюваності та формування інтегральних оцінок); *метод економіко-математичного та імітаційного моделювання* (для дослідження розвитку рециклінгу та оцінювання інтегрального еколого-економічного ефекту впровадження технологій перероблення відходів на підприємстві); *сценарний метод* (для порівняння альтернативних траєкторій розвитку системи рециклінгу та визначення умов досягнення максимального еколого-економічного ефекту); *графічний метод* (для наочного представлення динаміки, структури та результатів порівняльного аналізу та моделювання).

Інформаційну базу дослідження становили законодавчі та нормативно-правові акти з питань моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості, статистичні та аналітичні матеріали Світового банку, UNCTAD, ОЕСР, законодавча база України та ЄС, монографії з теми дослідження, наукові статті вітчизняних і зарубіжних вчених, звітність міжнародних компаній.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні важливого наукового завдання – розвитку теоретико-методологічних засад дослідження процесу трансформації промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості та розробці науково-практичних рекомендацій щодо ефективного впровадження технологій рециклінгу у промисловому секторі економіки України.

У процесі дослідження одержано такі найсуттєвіші наукові результати, які розкривають особистий внесок автора в розробку проблеми та характеризують новизну роботи, зокрема:

вперше:

– запропоновано науково-методичні підходи до оцінки ефективності впровадження технологій рециклінгу для підприємств, який, на відміну від традиційного оцінювання за окремими екологічними та економічними показниками, ґрунтується на комплексному поєднанні екологічних та економічних критеріїв оцінювання в межах концепції циркулярної економіки та «зелених» ланцюгів доданої вартості. На основі імітаційного моделювання інтегрального еколого-економічного ефекту визначено умови результативності технологій рециклінгу та обґрунтовано необхідність синхронізації розвитку рециклінгу як елементу «зеленого» ланцюга доданої вартості з доступністю промислових відходів та сформованістю ринку вторинної продукції;

– запропоновано метод оцінювання рівня переходу до циркулярної моделі управління відходами на основі інтегрального Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами (ІПЦМУВ), сформованого як середньозважена величина чотирьох функціональних складників: Індексу запобігання утворенню відходів, Індексу рециклінгу, Індексу енергетичного відновлення ресурсів та Індексу скорочення захоронення, що забезпечує комплексне кількісне оцінювання

трансформації системи управління відходами від лінійної до циркулярної моделі. Запропонований Індекс переходу до циркулярної моделі управління відходами також може використовуватися для міжкраїнних порівнянь та ідентифікації структурних проблем визначення пріоритетних напрямів удосконалення політики управління відходами на національному рівні;

удосконалено:

– концептуальні основи формування «зеленого» ланцюга вартості, які ґрунтуються на інтеграції екологічних компонентів у всі етапи створення вартості – від дизайну продукту, логістики, виробництва до управління інформаційними системами, збуту продукції, споживання та утилізації продукції. Адаптована автором концептуальна модель формування зеленого ланцюга вартості демонструє взаємозв'язок між екологічною відповідальністю та результативністю бізнесу, прибутковість якого формується як комплексний ефект від економії ресурсів, зростання інноваційного потенціалу, підвищення репутаційної цінності та доступу до нових ринків і джерел фінансування;

– систематизація напрямів впровадження практик управління «зеленими» ланцюгами вартості за такими ознаками: управлінські (залученість керівництва, управління витратами, управління компетентностями, управління торгівлею викидами вуглецю, управління іміджем бренду та культурою компанії) та технологічні (екологізація технологій виробничого процесу, мінімізація авіаперевезень, інвестиції у модернізацію транспортної інфраструктури, формування циркулярних ланцюгів постачання, використання адитивних технологій, цифровізації ланцюга постачання тощо). Сукупність зазначених напрямів забезпечує підвищення ресурсної ефективності, скорочення екологічного навантаження, оптимізацію логістичних процесів і формування довгострокових конкурентних переваг підприємств у межах переходу до моделі сталого розвитку;

дістали подальшого розвитку:

– система детермінант дослідження процесу рециклінгу як складника формування «зелених» ланцюгів вартості як сукупність екологічних, економічних, технологічних, соціальних та інституційних чинників, що визначають

необхідність, масштаби та ефективність переробки промислових відходів у системі циркулярної економіки. До підсистеми екологічних детермінант пропонувано відносити зростання обсягів промислових відходів, загрози забруднення довкілля, виснаження природних ресурсів та негативний вплив відходів на здоров'я населення, до підсистеми економічних детермінант – потребу у зниженні витрат на сировину, формування ринку вторинних ресурсів, підвищення ресурсоефективності виробництва, до підсистеми технологічних детермінант – розвиток інноваційних методів рециклінгу, хімічної та механічної переробки, автоматизованого сортування, біотехнологій, відновлення енергії та цифрових рішень в управлінні відходами, до інституційних чинників – екологічне законодавство, принципи розширеної відповідальності виробника, стандарти сталого розвитку та міжнародні ініціативи щодо переходу до циркулярної економіки;

- визначення основних ознак динаміки формування моделі управління відходами в Україні, до яких належить: поступовий перехід від переважно екстенсивної системи захоронення відходів до впровадження принципів циркулярної економіки та розвитку рециклінгу, посилення екологічного регулювання, адаптація законодавства до стандартів ЄС, впровадженням принципу розширеної відповідальності виробника, формування стратегічних орієнтирів переходу України до ресурсоефективної та «зеленої» моделі управління відходами;

- механізм стимулювання ефективного управління відходами, який включає економічні важелі (податки на захоронення та спалювання відходів, плата за утворення та вивезення ТПВ, принцип «забруднювач платить», принцип «користувач платить», субсидії та податкові пільги, «зелені» тарифи, депозитно-поворотні системи, схеми розширеної відповідальності виробника, податки на ресурси та первинну сировину, систему торгівлі квотами на викиди парникових газів, «зелені» державні закупівлі, фінансування екологічних фондів), організаційні важелі (національні та регіональні плани управління відходами, координація між рівнями влади, інформаційні системи моніторингу, роздільний збір та логістика відходів, міжмуніципальна співпраця, публічно-приватне партнерство, екологічна

освіта та інформаційні кампанії, підготовка кадрів та нарощування потенціалу, координація інспекцій та контролю, інтеграція принципів циркулярної економіки) та адміністративні важелі (законодавче регулювання, ліцензування та дозвільна система, екологічні стандарти та нормативи, обов'язкові цільові показники переробки, моніторинг і звітність, інспекції та перевірки, санкції та штрафи, контроль перевезення небезпечних відходів, ризик-орієнтований нагляд, сертифікація «зелених» продуктів, державний екологічний контроль, міжнародна координація та імплементація директив). Результатами впровадження цього механізму мають стати: скорочення захоронення відходів, зростання рівня переробки, підвищення ресурсоефективності, розвиток циркулярної економіки, зниження екологічних ризиків, залучення інвестицій у переробну інфраструктуру, формування екологічно відповідальної поведінки;

– визначення понятійно-категоріального апарату дослідження, зокрема сутності понять «циркулярність підприємства» (як характеристики ступеня замкненості та ефективності використання ресурсних і матеріальних потоків у процесі створення вартості, що визначається масштабом повторного використання, відновлення, рециклінгу й повернення матеріалів у господарський обіг, а також рівнем запобігання утворенню відходів та їх залучення до подальших виробничих процесів) і «циркулярна стійкість підприємства» (як інтегральної характеристики здатності підприємства забезпечувати довгострокову економічну життєздатність і адаптивність шляхом системної інтеграції принципів циркулярної економіки у процеси створення вартості, що передбачає ефективне використання ресурсів, замкнення матеріальних потоків, мінімізацію утворення відходів та їх повторне залучення до господарського обігу з одночасним забезпеченням позитивних екологічних і соціальних результатів).

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що отримані в процесі дослідження теоретичні результати стали основою для формування рекомендацій щодо ефективного впровадження технологій рециклінгу у промисловому секторі економіки України.

Основні наукові положення, висновки і практичні результати дослідження впроваджено:

- у діяльність Донецької торгово-промислової палати (довідка № 54/1/01-04-01 від 24.04.2026) – механізм стимулювання ефективного управління відходами, який включає економічні, організаційні та адміністративні важелі;
- у діяльність ТОВ «Український центр екології та теплоенергетики» (довідка № 0705-26 від 07.05.2026) – система екологічних, економічних технологічних, соціальних та інституційних детермінант, які визначають можливості, масштаби та ефективність рециклінгу як складника формування «зелених» ланцюгів вартості;
- у діяльність ТОВ «УКРМЕГАПРОМ» (довідка № 06/04-01 від 06.04.2026) – науково-методичні підходи до оцінки ефективності впровадження технологій рециклінгу для підприємств, що базуються на комплексному поєднанні екологічних та економічних критеріїв оцінювання в межах концепції циркулярної економіки та «зелених» ланцюгів доданої вартості;
- у діяльність ТОВ «Спеціалізоване підприємство «Універсал» (довідка № 25/03 від 25.03.2026) – авторське узагальнення основних світових трендів розвитку рециклінгу у промисловому виробництві.

Результати досліджень також використовуються в навчальному процесі Донецького національного університету імені Василя Стуса під час викладання навчальних дисциплін «Збалансований територіальний розвиток в ЄС», «Міжнародний стратегічний менеджмент», «Макроекономіка» (довідка № 42-26/12.0-24 від 20.05.2026).

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійно виконаною науковою працею, в якій викладено авторські розробки концептуальних засад дослідження процесу трансформації промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості. Наукові результати та висновки, які виносяться на захист, одержані автором самостійно. З наукових праць, що опубліковані у співавторстві, в дисертаційній роботі використані лише ті ідеї та положення, що є результатом власних досліджень здобувача.

Апробація результатів дисертації. Основні ідеї та положення дисертації доповідались та отримали схвалення на трьох міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях і семінарах: XXIII Всеукраїнської наукової конференції студентів та молодих вчених (м. Вінниця, 21.04.2023 р.); XXV Всеукраїнській науковій конференції студентів та молодих вчених «Проблеми розвитку соціально-економічних систем в національній та глобальній економіці» (02.04.2025, м. Вінниця); XXV Міжнародній науковій конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Управління розвитком соціально-економічних систем: глобалізація, підприємництво, стале економічне зростання» (27.11.2025, м. Вінниця); а також у доповіді «Циркулярна економіка: практичні кейси технологій рециклінгу» на Круглому столі в рамках проєкту ERASMUS+ напряму Жан Моне «Збалансований територіальний розвиток в ЄС» 101127100 – BOON – ERASMUS-JMO-2023-HEI-TCH-RSCH «Розвиток малого та середнього підприємництва як драйвер структурних перетворень в ЄС: можливості та перспективи впровадження в Україні» (м. Вінниця, 10.12.2024).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи знайшли своє відображення у 8 наукових працях загальним обсягом 5,47 д. а., з них особисто автору належить 4,2 д. а., в тому числі 5 статей у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України (з них 3 одноособові), 3 публікації за матеріалами науково-практичних конференцій.

Обсяг та структура роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації – 245 сторінок. Робота містить 26 таблиць, 46 рисунків, 7 додатків на 19 сторінках, список використаних джерел із 225 найменувань на 26 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації становить 198 сторінок.

Декларація щодо використання інструментів штучного інтелекту. В ході підготовки роботи було використано інструменти генеративного штучного інтелекту для виправлення технічних, граматичних, орфографічних та стилістичних помилок. Жоден текст, згенерований за допомогою штучного

інтелекту, не використовувався без критичного редагування. Автор несе повну відповідальність за науковість, точність та цілісність контенту.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ДО МОДЕЛІ «ЗЕЛЕНОГО» ЛАНЦЮГА ДОДАНОЇ ВАРТОСТІ

1.1. «Зелена економіка» у контексті реалізації принципів сталого розвитку

Зменшення кількості відходів, повторне використання відходів і переробка їх як побічного продукту або як сировини для інших продуктів можуть знизити витрати завдяки екологічно чистим процесам [181]. Дж. Маковер обґрунтовує бізнес-ефекти екологізації, наголошуючи на її потенціалі щодо підвищення продуктивності, прибутковості та скорочення витрат, зокрема завдяки зменшенню відходів, підвищенню енергоефективності та ефективнішому використанню ресурсів [127]. Я. Моленаар і Я. Кесслер [133] зазначають, що впровадження принципів сталого розвитку приносить бізнесу переваги на п'яти різних рівнях діяльності: операційному, рівні закупівель, продажів та маркетингу, залучення зацікавлених сторін, а також на рівні змін у всьому секторі. Ці переваги включають зниження витрат, підвищення прибутковості, зростання продуктивності, покращення репутації, надійність постачання, відповідність законодавству, сприятливе політичне середовище та рівні умови гри. До того ж Я. Моленаар і Я. Кесслер визначили три фактори, що впливають на більшість переваг зеленого бізнесу. До них належать характеристики компанії, характеристики сектору та характеристики стандартних систем. Також галузі можуть змінювати свої можливості та брати участь у покращенні ефективності свого бізнесу й екологічних інноваціях, зосередившись на трьох предикторах зеленого бізнесу – засвоєнні, набутті і перетворенні.

Більш ранні дослідження відомих дослідників [48; 67; 89; 152] визначають різні переваги зеленого бізнесу. Озеленення основних елементів бізнесу дає деякі екологічні переваги через підвищення прибутковості. Приклади включають зменшення використання та вартості ресурсів, економію грошей через

цифровізацію, покращення бюджетів для підвищення доходів, отримання інвестиційного капіталу, встановлення бізнес-статусу та високого рівня зростання бізнесу й отримання стимулів від уряду через податкові пільги. До того ж зелений перехід капіталізує деякі конкурентні переваги, залучаючи інновації та сприяючи зеленим споживачам, покращенню репутації бренду за допомогою операційної ефективності й економії коштів, підвищенню продуктивності та здатності бізнесу виконувати умови регулювання. Також він пом'якшує ризики через дотримання законодавчих і нормативних вимог, прогнозування нових нормативних актів, активне залучення зацікавлених сторін та вдосконалення процесів управління ризиками.

На міжнародній арені суспільство стикається з фінансовими, промисловими, економічними та екологічними кризами через безгосподарність, а також нецільове використання соціальних і природних ресурсів [35]. У цій перспективі зелені практики, можливості, стратегії та вплив екологізації в усьому світі вважаються надзвичайно важливими питаннями будь-якої ділової практики, які завдають позитивний вплив на економіку, суспільство, навколишнє середовище та бізнес [139]. Наприклад, кліматична зміна є однією зі складних і небезпечних загроз для бізнесу та сталого розвитку [82]. Посилення впливу зміни клімату вимагає більш цілісного підходу для зменшення та запобігання її несприятливим наслідкам [132]. Т. Чін, Х. Х. Тат і З. Сулайман [52] висвітлюють зміну клімату, захист навколишнього середовища, стабільність навколишнього середовища та екологічно чисті продукти безпосередньо через зв'язки з екологічними практиками та стратегіями екологізації.

Д. Альстром [31] припускає, що бізнес робить внесок у розвиток суспільства також через максимізацію прибутку, тому що це може вплинути на довгострокові перспективи бізнесу. З цієї позиції, необхідно вивчити стратегії екологізації будь-якої бізнес-поведінки, організаційну «еко-культуру», екологічну досконалість і корпоративну екологічну стратегію [138]. До того ж бізнес стикається з проблемами в бізнес-конкуренції, зеленій співпраці, стійкості, продуктивності,

розкритті інформації та прозорості, залученні працівників та збереженні енергії [127].

Г. Нулкар [140] зазначив, що зелений бізнес може забезпечити чотири конкурентні переваги: це можливості на ринку, що розвиваються, переваги для людей, управління витратами та ризиками й піклування про навколишнє середовище. Це також створює переваги в діапазоні від класифікації охорони навколишнього середовища до управління персоналом та операційної ефективності [126]. Компанії, які практикують вищий ступінь екологічності управління, отримують вищі ділові вигоди, ніж ті, які можна отримати за нижчого рівня піклування про навколишнє середовище [98]. Іншим важливим фактом є те, що розмір бізнесу не впливає на зв'язок між бізнес-практикою та впливом на навколишнє середовище. Навіть для малих і середніх підприємств немає способу ігнорувати вплив на навколишнє середовище. Ось чому МСП акцентують на важливості впливу на навколишнє середовище.

Існують різні організаційні фактори, як-от визначення стратегії, підтримка з боку вищого керівництва. Підтримка «знизу вгору», організаційна структура, людські ресурси, залучення до бізнесу, інноваційні здібності та особисті фактори мотивації також відіграють ефективну роль у сприянні зеленої бізнес-практики через організаційні зміни. До того ж внутрішнє управління навколишнім середовищем та екологічні інформаційні системи безпосередньо й позитивно впливають на закупівлю, співпрацю з клієнтами, проектування та відновлення інвестицій. Навіть за наявності екологічно орієнтованого процесу управління екологічне управління ланцюгом постачання та зелені технології мають функціонувати в синергії для забезпечення сталого розвитку бізнесу.

Екологічний бізнес-процес вимагає координації та інтеграції всього зеленого середовища. У дослідженні М. М. Хасана, М. Некмахмуда, Я. Лу та М. А. Патварі виявлено, що всі елементи ланцюга створення вартості зеленого бізнесу глибоко пов'язані між собою [96]. По-перше, зелені інформаційні системи (ЗІС / GIS – Green Information Systems) об'єднують усі бізнес-функції в межах масштабу та потужності єдиної інформаційної платформи. У цьому контексті цифрові

технології забезпечують інтеграцію та ефективну взаємодію між різними підрозділами компанії. До того ж управління зеленим ланцюгом постачання, зелений маркетинг та концепція «зелених 3R» пов'язані між собою послідовно. Загалом ці чотири складники – зелені інформаційні системи, зелений менеджмент, зелені технології та концепція 3R – є взаємозалежними та інтегрованими у кожен бізнес-функцію підприємства.

М. М. Хасан, М. Некмахмуд, Я. Лу та М. А. Патварі класифікують ланцюг створення вартості зеленого бізнесу на кілька частин [96], як показано на рис. 1.1. Це зелений менеджмент, менеджмент зелених ланцюгів вартості, зелений маркетинг, зелена інформація, зелені технології, зелені технології, зелений облік та концепція зелених 3R.



Рисунок 1.1 – Концептуальні основи формування зеленого ланцюга вартості

Джерело: адаптовано автором за матеріалами [96]

Управління зеленим ланцюгом постачання (GSCM) М. М. Хасан, М. Некмахмуд, Я. Лу та М. А. Патварі пропонують відносити до інтеграції екологічної турботи про бізнес-діяльність, наприклад, закупівель, виробництва, управління матеріалами, розподілу або маркетингу, зворотної логістики задля підвищення продуктивності та прибутковості бізнесу.

Н. Дарнолл, Дж. Дж. Джоллі та Р. Гендфілд визначають GSCM з огляду на екологічні показники всього ланцюга доданої вартості, вжиття необхідних заходів для забезпечення екологічно чистих продуктів або послуг, зменшення транспорту, складів і відходів, зменшення впливу всіх елементів SCM на середовище [66].

Згідно з дослідженням М. М. Хасана, М. Некмахмуда, Я. Лу та М. А. Патварі [96] до системи GSCM пропоновано включати зелений дизайн, зелені закупівлі, зелене виробництво та зелену логістику з усіма її складниками (зелений склад, зелений транспорт, зелений офіс, контроль запасів).

Зелений дизайн розглядають як один з найбільш критичних факторів зеленого бізнес-процесу. Він є важливим для кожної промисловості, щоб підготувати необхідний фундамент для майбутнього зеленого ланцюга вартості, та включає проєктування повного ланцюга постачання, процес закупівлі екологічних матеріалів, планування виробничого процесу та дизайн всього логістичного процесу.

У своєму дослідженні У. Дівекар [75] пояснює, що попередній процес екологічного дизайну сприяє стійкості підприємства. Він починається на етапі планування і закінчується на етапі прийняття рішення.

До того ж С. Срівастава [184] визначив чотири частини, безпосередньо пов'язані з процесом зеленої генерації: перша – скорочення, друга – контроль, третя – усунення, і завершальна – повторний контроль.

Зелені закупівлі, також відомі як екологічні закупівлі (environmentally preferred purchasing – EPP), належать до закупівель екологічно чистих продуктів, які мають найменший шкідливий вплив на навколишнє середовище, а також є соціально корисними [50]. Наміри щодо закупівлі зеленої продукції зумовлені турботою про довкілля, рівнем екологічних знань, споживчими настроями, відповідною

поведінкою та соціальними нормами. Рішення споживачів про здійснення екологічних покупок залежить від п'яти факторів, а саме: захисту навколишнього середовища, екологічної відповідальності, досвіду використання продукту, екологічної безпечності та універсальної привабливості [115].

Цей екологічний вплив має контролюватися впродовж усього процесу життєвого циклу продукту – від закупівлі сировини до утилізації відходів – задля досягнення максимального позитивного соціального ефекту та мінімізації негативних наслідків для довкілля.

Як зазначають М. М. Хасан, М. Некмахмуд, Я. Лу та М. А. Патварі [96], спостерігається зростання стратегій *екологізації у виробничому процесі* з виробництва продуктів або надання послуг в екологічно чистий спосіб. Це охоплює зменшення джерела відходів або забруднення та переробку. Також *зелений дизайн продукту* демонструє зелений виробничий процес, який включає три аспекти трансформації промислових операцій: розробка та продаж зелених продуктів на ринках із використанням екологічно чистої енергії та зелених процедур у бізнес-операціях.

У таких випадках технології відіграють ключову роль, оскільки виробництво повністю залежить від технологічних інновацій. Дотримання екологічних стратегій у виробництві може допомогти керувати різними типами ризиків.

Т. Доуї [76] запропонував концепцію 3R «Відрізнити продукти від частин», яка враховує концепцію повторного використання, повторного виробництва та переробки. М. М. Хасан, М. Некмахмуд, Я. Лу та М. А. Патварі у своєму дослідженні пропонують нову модель виробництва, яку представлено на рис. 1.2, розглядаючи двоетапний екологічний процес виробництва, що включає ідею повторного використання, повторного виробництва та переробки (3R).

Перший крок двоетапного екологічного виробничого процесу – це *екологічний дизайн виробництва*. Дизайн екологічного виробничого процесу поділяється на два підрозділи – дизайн виготовлення готової продукції та виробничого процесу переробки відходів.

– *третья* орієнтована на використання окремих деталей і компонентів, отриманих після демонтажу відпрацьованих виробів, для їх інтеграції в дизайн та виготовлення нової продукції з відходів.

Зелений спосіб виробництва та доставки товарів і послуг до цільових споживачів вважається суттєвою детермінантою соціальної відповідальності за споживачів і навколишнє середовище. З позиції зелена логістика розглядається як суттєва частина діяльності компанії та сучасної системи ланцюга постачання для забезпечення сталого розвитку компанії.

Ф. Котлер і Дж. Армстонг [113] виділяють три ключові типи логістики: вхідну, вихідну та зворотну. *Вхідна логістика* забезпечує переміщення матеріалів і товарів від постачальників до внутрішніх підрозділів компанії для підтримки її операційної діяльності. *Вихідна логістика* пов'язана зі збутом і доставкою готової продукції від компанії до роздрібних торговців або кінцевих споживачів. *Зворотна логістика* охоплює процеси руху товарів у зворотному напрямку – від споживача до виробника. Варто зазначити, що у сучасних наукових дослідженнях зворотну логістику часто пов'язують із концепцією зеленої логістики, проте ці терміни не є тотожними: зелена логістика має ширший екологічний контекст і спрямована на мінімізацію антропогенного впливу на кожному етапі ланцюга постачання.

О. Серока-Столька [179] зазначає, що різні зацікавлені сторони, включно з компаніями, клієнтами, політикою і суспільством, безпосередньо впливають на процес зеленої логістики.

Зелений облік, облік екологічної підтримки або екологічний облік відіграє значну роль у сталому розвитку. Концепція зеленого обліку втілюється в інтегруючій формі середовища, управління, обліку та фінансування, яке підтримує системи прийняття стратегічних рішень, враховуючи і екологічні, і економічні заходи.

Зелена система бухгалтерського обліку відрізняється від традиційної системи бухгалтерського обліку тим, що вона безпосередньо пов'язана з добровільними або регулятивними програмами. Нефінансова звітність стає реалією не тільки великих, а й малих і середніх підприємств. Екологізація фінансів підприємства та системи

його обліку включає послідовність, визначеність і точність та розглядається як складна мета. Існує матеріальна відмінність серед важливості точності, визначеності та послідовності у звітах про викиди вуглецю.

Концепція 3R (зменшення, повторне використання, переробка відходів) вважається досягнутою у довгостроковій екологічній стійкості промислового виробничого процесу [166]. Такий підхід несе в собі різні можливості завдяки мінімізації споживання природних ресурсів і максимальному зменшенню тиску на навколишнє середовище. До того ж відходи визнано ресурсом для переробки.

Зелені інформаційні системи (ЗІС) є інтегрованою формою інформаційно-комунікаційної системи, яка безпосередньо підтримує ініціативи щодо екологічної стійкості в економіці. Вона поєднує всі функції бізнесу через технології, а також об'єднує поняття інформаційних технологій та корпоративних інформаційних систем для подолання викликів зелених і стійких практик.

Ефективність сталого ланцюга постачання класифікується на внутрішню ефективність (економічні результати) та зовнішні показники (екологічні й соціальні показники).

Порівняно з традиційними показниками ланцюга постачання, ефективність зеленого ланцюга постачання впливає на економіку, навколишнє середовище та суспільство, тоді як ефективність традиційного ланцюга постачання впливає на вартість, якість, гнучкість, надійність і швидкість.

Промислова революція змінила відносини між людством та екологією Землі за допомогою технологій, тому *концепція зелених технологій* розглядається через використання відновлюваних природних ресурсів, які ніколи не мають бути вичерпані, та через мінімізацію негативного впливу технологічних інновацій і зеленої інженерії. Вона включає в себе стійкість завдяки дизайну «від колиски до колиски» для переробки та повторного використання, скорочення джерел завдяки зменшення відходів і забруднення, інноваціям шляхом розробки альтернативних передових технологій, демонстрації економічних вигод через захист навколишнього середовища та зменшення впливу людини на навколишнє середовище через втілення на практиці принципів сталого розвитку.

Зелені технології мають втілювати такі принципи екологічності:

- Екологічне використання: мінімізація енергоспоживання технологічних інновацій завдяки використанню системи в екологічно безпечний спосіб.
- Екологічна утилізація: повторне використання та відновлювання старих технологічних інновацій, переробка в належний спосіб непотрібного обладнання.
- Зелений дизайн: розробка енергоефективної та екологічно чистої технологічної системи.
- Зелене виробництво: виробництво обладнання, яке має мінімальний вплив на навколишнє середовище або зовсім не впливає на нього.

Зелений маркетинг – це цілісний процес управління, який виходить із концепції зеленого маркетингу. М. Полонський і П. Дж. Розенбергер III визначають зелений маркетинг як систему заходів, спрямованих на створення та полегшення будь-яких запланованих обмінів, щоб задовольнити людські потреби чи бажання в такий спосіб, щоб задоволення цих потреб та бажань відбувалося із мінімальним шкідливим впливом на природне середовище [155]. Ф. Котлер і К. Келлер уточнюють низку основних термінів маркетингових напрямів, як-от комплекс маркетингу (продукт, ціна, місце, просування), маркетингова стратегія (сегментація, диференціація, таргетинг, позиціонування), комунікаційний мікс-маркетинг і брендинг [114].

М. Полонський і П. Дж. Розенбергер III сформулювали «Зелені 4П» (Green 4Ps) (продукт, ціна, місце та просування) для впровадження стратегій зеленого маркетингу.

І насамкінець – всеохопний термін *«зелений менеджмент»*. Стратегії екологізації для покращення бізнес- та екологічних показників в управлінській діяльності розглядаються як зелений менеджмент. Зелений менеджмент передбачає вирішення екологічних проблем шляхом реалізації екологічного плану чи політики, планування зменшення негативних впливів на навколишнє середовище, забезпечення необхідного навчання працівників та моніторинг і оцінку екологічних норм. Також він передбачає економію коштів, людських ресурсів, ефективно

управління ресурсами, перевірку клієнтів, здатність до інновацій, екологічні міркування та прибутковість.

С.-Х. Чун, Х. Дж. Хванг, Й.-Х. Бьон зазначають, що практики зеленого управління повинні містити три елементи: екологічно чисті операції, допомогу партнерам у ланцюзі постачання та підтримку внутрішнього контролю. Це забезпечує ефективний, комплексний, системний підхід до моніторингу, збору, управління та аналізу інформації про організаційну стійкість, прибутковість, надмірність витрат і ефективність структури управління [55].

Одним з інструментів, які запроваджують міжнародні організації задля сприянню зеленому переходу у ланцюгах вартості глобального та національного рівнів є Платформа Зеленої промисловості UNIDO. Метою Платформи Зеленої промисловості UNIDO є введення соціальних та екологічних міркувань в основний курс діяльності підприємств у всіх країнах та регіонах шляхом більш ефективного використання енергії та сировинних матеріалів, інноваційної практики та застосування нових зелених технологій [3].

Це дає змогу підвищити конкурентоспроможність завдяки зниженню витрат та/або кращій відповідності міжнародним стандартам. UNIDO виходить з того, що дематеріалізація, тобто розмежування економічного зростання від збільшення використання природних ресурсів, вимагатиме узгоджених зусиль уряду, бізнесу та громадянського суспільства на міжнародному рівні для швидкого масштабування наявних рішень. У цьому плані Платформа Зеленої промисловості була розроблена як глобальна багатостороння ініціатива, яка сприяє технічному співробітництву та дослідженням, а також обміну кращими практичними рішеннями.

Ця платформа дає можливість забезпечити конкретні зобов'язання та мобілізувати дії, спрямовані на підтримку сталих промислових моделей, а також залучити до трансформаційних партнерських відносин, що розширюють зелену (екологічну) політику та практику. Члени Платформи Зеленої Промисловості (компанії, уряди, міжнародні організації, неурядові організації та науково-дослідні інститути) беруть на себе зобов'язання активно підтримувати політику та практику

у сфері зеленої промисловості, зокрема підвищення ефективності використання ресурсів, поліпшення управління відходами, зменшення токсичних матеріалів, енергоефективність та відновлювані джерела енергії, підхід до виробництва продукції з позицій життєвого циклу, екологізацію ланцюгів доданої вартості, дослідження та інновації, забезпечення фінансів для зелених галузей та створення робочих місць. Платформа Зеленої Промисловості була офіційно започаткована під час Конференції ООН зі сталого розвитку в 2012 р. (також відома під назвою «Ріо+20») як розвиток Ініціативи Зеленої промисловості, розробленої трьома роками раніше [3].

Ця ініціатива впроваджує стратегію зеленого економічного зростання, що забезпечується без шкоди для соціального та екологічного здоров'я. Вона допомагає підприємствам підвищити свою ресурсну продуктивність та екологічну результативність (озеленення промисловості) та вводить нові заходи з постачання екологічних товарів та послуг (створення зелених галузей промисловості).

UNIDO також сприяє покращенню порядку денного зеленої промисловості через спільну роботу з Програмою ООН з навколишнього середовища у сфері Ресурсоефективного та Чистого Виробництва (Resource Efficient and Cleaner Production – RECP). Як показано на рис. 1.3, RECP стосується використання практики попереджувального екологічного менеджменту в промислових продуктах, процесах та послугах із потрібною метою підвищення продуктивності використання ресурсів, управління навколишнім середовищем та людського розвитку. Це вимагає сприятливих рамкових умов, згідно з якими UNIDO розглядає політику та стратегію, передачу технологій, фінансові інструменти та розвиток потенціалу.

Державні органи можуть стати рушійною силою «озеленення» ланцюгів вартості, прагнучи до більшої екологічної сталості шляхом розроблення та виконання нормативних актів та надання прямої підтримки фірмам у їх зусиллях з озеленення. Однак головними рушіями є ті фірми, які вирішують займатися озелененням своїх власних операцій або тих ділових партнерів, які знаходяться на

вхідному та вихідному потоках ланцюга, з метою забезпечення регулювання, економічності витрат або маркетингу / іміджу.

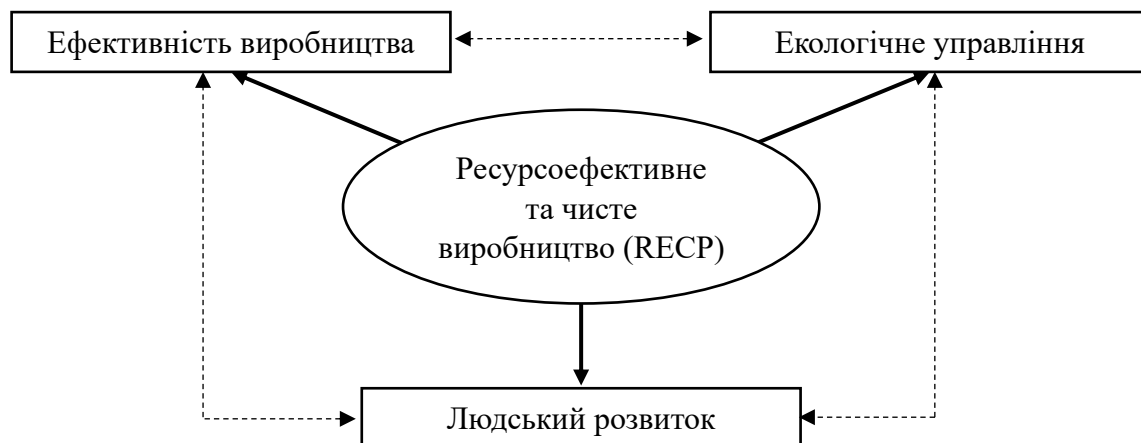


Рисунок 1.3 – Ресурсоефективне та чисте виробництво

Джерело: адаптовано автором за матеріалами [50]

Ініціативи зелених ланцюгів створення вартості мають різні форми і можуть впливати на розвиток ланцюга по-різному. У цьому контексті можна виділити чотири основні напрями:

1. Надання порад з питань політики. Мета цього напрямку полягає в тому, щоб залучити розробників політики, осіб, які приймають рішення у фірмах, та інших зацікавлених осіб до діалогу для підвищення обізнаності про екологічні проблеми, пов'язані з ланцюгом доданої вартості. Такий діалог повинен привести до розробки та введення в дію законів і нормативних актів, а також до розвитку програм «озеленення» ланцюгів доданої вартості, реалізованих урядами та приватним сектором.

2. Звітування про потенціал екологізації (озеленення) та пропозиції щодо технологій найкращої практики: зазвичай надаються шляхом галузевих досліджень, що проводяться міждисциплінарними командами експертів у різних сферах екологізації, в основному пов'язаних із технологіями та операційним менеджментом. Очікується, що такі звіти слугуватимуть керівними орієнтирами для практиків у процесі прийняття ними екологічної політики та практики для підвищення екологічної результативності.

3. Ідентифікація потенціалів більш чистого виробництва та енергозбереження в національних ланцюгах доданої вартості: вони зазвичай базуються на запитах уряду або приватного сектору та включають експертний аналіз на місцевому рівні.

4. Сприяння передачі та розповсюдженню більш чистих та енергозберігаючих технологій: може бути досягнуто за допомогою проєктів і програм, що реалізуються урядами та агенціями розвитку. Основний фокус може полягати у впровадженні пілотних та демонстраційних проєктів, які надихають інших операторів у країні на копіювання та впровадження нових технологій.

1.2. Концепція управління зеленими ланцюгами вартості у сучасній економічній теорії

Зелений бізнес дає можливість забезпечувати механізми впливу на екологічний, економічний та соціальний розвиток з різних сторін [77]. Не тільки менш розвинені або країни, що розвиваються, але й розвинені країни прийняли різні підходи з розвитку зеленого бізнесу для захисту свого навколишнього середовища, бізнесу і суспільства [100; 204]. Промисловий розвиток, заснований на екологічному управлінні, знаходить своє відображення у зростанні та розвитку товарів, управління сферою послуг, використанні відновлюваних ресурсів, управлінні відходами як побічним продуктом тощо [141; 151].

Зелений бізнес передбачає впровадження принципів, процедур, практик та політики для всіх елементів бізнесу, заснованих на безперервному вдосконаленні бізнесу, захисті навколишнього середовища, соціальному забезпеченні та соціальній відповідальності [78; 125]. Хоча традиційні ділові практики все ще впливають на енергетику, зміни клімату та екосистем, важливість зеленого бізнесу швидко зростає.

Враховуючи вплив традиційної промисловості на навколишнє середовище, багато підприємців у всьому світі включили у свої стратегії екологізацію бізнесу [189]. Для цього є дві причини: внутрішня (соціальна відповідальність,

конкурентоспроможність) та зовнішня мотивація (тиск клієнтів і уряду або тиск зацікавлених сторін).

Однак у більшості компаній є стимули для впровадження зелених практик, які в основному обумовлені конкурентоспроможністю та питанням витрат, а не лише соціальною відповідальністю [37]. Окрім впливу на навколишнє середовище, практики зеленого бізнесу є дуже важливими як в економічному, так і в соціальному розвитку.

Зелений бізнес асоціюється із зеленою економікою, зеленим суспільством та екологічним плануванням, яке формується через екологічно чисту ланцюгову систему. Крім соціального бізнесу і максимізації прибутку, екологічні бізнес-практики мають значний вплив на використання природних ресурсів на різних етапах діяльності та виробництва.

Фундаментальним принципом екологічних ланцюгів постачання є зменшення відходів і загального споживання енергії. За даними Inbound Logistics, роздрібний продавець офісних товарів Staples щорічно економив 3 млн дол. США на паливі, просто попросивши своїх водіїв-постачальників знизити швидкість [108]. Інші способи використання практик Управління зеленими ланцюгами вартості (GVCM) для покращення екологічних показників і зниження витрат включають:

- переосмислення природи матеріалів – використання перероблених матеріалів під час виробничого процесу може заощадити гроші;
- повторне використання відходів або побічних продуктів;
- спрощення упаковки;
- зменшення ризику для бізнесу – проактивне планування впровадження розумніших і екологічніших практик ланцюга постачання може допомогти підприємству підготуватися до майбутнього;
- перепланування бізнес-процесів – зміни в організації бізнес-процесів можуть привести до значної економії енергії та витрат;
- оптимізація транспорту – оптимізація транспортної логістики пропонує багато способів заощадити гроші та зменшити вуглецевий слід. Екологічні

ланцюги постачання використовують етичні та екологічно безпечні практики на кожному етапі з метою зменшення забруднення повітря, води та відходів.

Розробка сталого ланцюга постачання вимагає різних практик на кожному етапі шляху продукту від початкової концепції до дому клієнта:

- **зелені закупівлі** – пошук постачальників екологічно чистих продуктів і послуг є так само важливим, як і екологізація власних операцій. Зрештою, екологічне постачання матеріалів стає основою, на якій тримається решта ланцюга постачання. Для деяких брендів пошук перероблених або відновлених матеріалів – це шлях. Іншим потрібно буде знайти екологічно заготовлену сировину, наприклад, пиломатеріали, від постачальників, які вживають заходів для збереження середовища існування дикої природи;

- **зелене виробництво** – зосереджується на використанні меншої кількості невідновлюваних природних ресурсів, зменшенні забруднення та відходів, а також зведенні до мінімуму викидів, серед інших екологічних практик. Найважливішим компонентом екологізації на цьому етапі є зменшення споживання енергії. Все, від живлення обладнання та освітлення, до підтримки тепла чи прохолоди на заводі, потребує значної кількості енергії. Альтернативні джерела енергії, як-от гідроенергія, енергія вітру, сонячна енергія та біопаливо, можуть допомогти зменшити вашу залежність від викопного палива;

- **зелена упаковка** – враховує кожну фазу життєвого циклу упаковки. Це стосується всього: від того, як постачальник отримує матеріали, до того, як споживачі утилізують упаковку. Інший варіант – біорозкладний пакувальний матеріал;

- **зелене складування** – зосереджується на забезпеченні ефективнішої роботи складів, зменшенні відходів і споживання енергії. Однією з великих проблем є те, що склади швидко застарівають;

- **зелений транспорт** – за даними U.S. Environmental Protection Agency (EPA), у 2018 р. транспорт спричинив 28,2 % викидів парникових газів, що зробило його найбільшим джерелом таких викидів у США [109];

- **управління життєвим циклом**: екологічне управління ланцюгами постачання та стале управління ланцюгами постачання мають спільні

характеристики, однак не є тотожним поняттями. Зелені ланцюги постачання передусім орієнтовані на мінімізацію негативного впливу господарської діяльності на довкілля шляхом скорочення використання ресурсів, енергії, утворення відходів, тоді як концепція сталого ланцюга постачання охоплює широкий спектр екологічних, соціальних та економічних аспектів, спрямованих на забезпечення довгострокової життєздатності бізнесу та галузі. Екологічний складник є невід’ємною частиною сталості, проте водночас підприємства мають враховувати соціальну відповідальність, зокрема дотримання принципів справедливої торгівлі, належних умов та оплати праці, а також вплив економічної діяльності на місцеві громади. До того ж економічний вимір сталості передбачає забезпечення фінансової життєздатності та управління довгостроковим зростанням. Практики, характерні для зелених ланцюгів постачання, зокрема перехід на біопаливо, використання вторинних матеріалів у виробництві та підвищення енергоефективності, одночасно сприяють досягненню цілей сталого розвитку. Проте не всі заходи сталого управління ланцюгами постачання мають безпосередньо екологічний характер. Наприклад, забезпечення належних умов праці, справедливої оплати та дотримання трудових прав працівників формує соціальний складник сталості та сприяє підвищенню загального рівня добробуту. Отже, зелений ланцюг постачання доцільно розглядати як переважно екологічно орієнтований складник ширшої концепції сталого ланцюга постачання.

На рис. 1.4 представлені напрями впровадження практик управління зеленими ланцюгами вартості, розроблені автором за матеріалами Agility Global [46].

Одним з напрямів впровадження практик GVCM є залученість керівництва. Активна участь керівництва є важливою передумовою формування та реалізації узгодженої стратегії екологізації ланцюга постачання. Високий рівень залученості менеджменту забезпечує єдність управлінських підходів, координацію дій учасників ланцюга та підтримку впровадження екологічно орієнтованих практик. Натомість відсутність узгодженої позиції керівництва щодо вибору та реалізації відповідних заходів може зумовлювати управлінські суперечності, порушення координації між учасниками ланцюга, зниження його операційної ефективності та

ускладнення контролю якості. Це може обмежувати результативність екологічних ініціатив і перешкоджати досягненню визначених екологічних та економічних цілей.



Рисунок 1.4 – Систематизація напрямів впровадження практик управління зеленими ланцюгами вартості

Джерело: розроблено автором за матеріалами [109]

Позитивне сприйняття екологізації з боку бренду та відповідність екологічних ініціатив корпоративним цінностям створює сприятливі умови для послідовного впровадження екологічних практик на всіх етапах ланцюга постачання. Важливу роль у цьому процесі відіграє кадрове забезпечення, зокрема учать HR-підрозділів у залученні фахівців, компетентних у сфері екологічного управління та сталих ланцюгів постачання. Водночас недостатня підтримка екологічних змін з боку корпоративної культури, а також слабка мотивація споживачів до придбання екологічно орієнтованої продукції можуть обмежувати результативність відповідних трансформацій і знижувати ефективність ланцюга постачання.

Залежно від специфіки підприємства та галузі, перехід до екологічно орієнтованого ланцюга постачання може потребувати значних початкових інвестицій. *Основними статтями витрат* можуть бути модернізація виробничої та логістичної інфраструктури, оновлення обладнання, впровадження енергоефективних технологій та використання відновлюваних джерел енергії. Водночас такі витрати доцільно розглядати як довгострокові інвестиції, здатні забезпечити скорочення операційних витрат і підвищення ресурсної ефективності. Наприклад, встановлення фотоелектричних панелей на даху складського комплексу дає змогу частково забезпечити підприємство альтернативною енергією, зменшити залежність від викопного палива та скоротити витрати на енергопостачання.

Рівень професійних компетентностей учасників безпосередньо впливає на ефективність функціонування ланцюга постачання та результативність його екологічної трансформації. Залучення фахівців у сфері екологічного проєктування, сталого розвитку, зеленої логістики та управління ланцюгами постачання дає змогу обґрунтовано визначати напрями використання ресурсів, впроваджувати екологічно ефективні рішення та мінімізувати операційні ризики. Залучення спеціалізованих консультантів на етапі проєктування логістичних процесів, зокрема маршрутів транспортування та систем розподілу, сприяє підвищенню їх ресурсної та екологічної ефективності. Водночас недостатній рівень відповідних компетентностей може призвести до помилкових управлінських рішень і знизити результативність реалізації стратегії зеленого ланцюга постачання.

Поширення практик зеленого ланцюга постачання є закономірною реакцією бізнесу на посилення екологічних обмежень, виснаження природних ресурсів та зростання негативного впливу господарської діяльності на довкілля. Масштаби споживання природних ресурсів людством упродовж останніх десятиліть дедалі частіше перевищують природну здатність екосистеми до їх відновлення. Це зумовлює необхідність переходу від традиційних моделей виробництва та постачання до ресурсоефективних і циркулярних моделей. Зростання екологічної відповідальності споживачів, підприємств і держав стимулює розвиток інновацій у

сфері виробництва, логістики, управління відходами та ресурсами, що формує нові підходи до організації ланцюгів постачання.

Модернізація портової, залізничної та автомобільної інфраструктури створює передумови для підвищення ефективності транспортних операцій і скорочення їх екологічного навантаження. Особливого значення такі інвестиції набувають у країнах і регіонах, де транспортна інфраструктура потребує масштабного оновлення.

Циркулярні ланцюги постачання орієнтовані на повернення продукції, компонентів і матеріалів у виробничий цикл шляхом повторного використання, ремонту, відновлення та перероблення. Такий підхід передбачає відновлення використаної продукції для її повторного продажу, повторне використання окремих компонентів або перероблення матеріалів для виготовлення нової продукції. Формування циркулярних ланцюгів дає змогу скорочувати обсяги відходів, зменшувати потребу у первинній сировині, зберігати економічну цінність матеріалів та створювати додаткові джерела доходу для підприємств.

Механізми торгівлі викидами передбачають встановлення економічної вартості права на викиди парникових газів та створення фінансових стимулів для їх скорочення. У межах системи торгівлі квотами підприємства, які можуть скоротити викиди з меншими витратами, отримують можливість продавати надлишкові квоти, тоді як суб'єкти з вищими витратами на скорочення можуть придбавати необхідні дозволи. Такий механізм сприяє включенню екологічних витрат до економічних рішень підприємств і стимулює інвестиції у низьковуглецеві технології, енергоефективність та декарбонізацію виробництва. Поширення систем ціноутворення на вуглець посилює роль цього інструменту трансформації бізнес-моделей та ланцюгів створення вартості.

Розвиток цифрових рішень і впровадження сучасних технологій створює важливі передумови для екологізації ланцюга постачання на різних етапах його функціонування. Зокрема, використання систем управління складськими процесами (WMS) сприяє оптимізації логістичних операцій, підвищенню ефективності використання ресурсів, тоді як сучасні виробничі технології дають

змогу скорочувати енергоспоживання, зменшувати використання небезпечних матеріалів та мінімізувати негативний вплив виробничих процесів на довкілля. Результативність технологічної трансформації значною мірою залежить від готовності персоналу до освоєння та практичного застосування нових рішень. Висока сприятливість працівників до технологічних змін сприяє успішній інтеграції екологічних практик у діяльність підприємства, тоді як опір змінам або недостатнє прийняття нових технологій може ускладнювати їх упровадження та знижувати довгострокову ефективність екологізації ланцюга постачання.

Технології Інтернету речей забезпечують постійний моніторинг обладнання, запасів, енергоспоживання та інших параметрів функціонування ланцюга постачання. Використання сенсорів дає змогу в режимі реального часу контролювати температуру, освітлення, енергоспоживання та умови зберігання продукції.

Штучний інтелект (AI) розширює можливості автоматизації та оптимізації управлінських рішень у ланцюгах постачання. AI може застосовуватися для прогнозування попиту, оптимізації виробничих процесів, планування запасів, визначення ефективних маршрутів доставки та управління транспортним потоками. Аналіз значних масивів даних допомагає підвищити точність прогнозів і скоротити кількість помилок у прийнятті рішень. Зокрема, алгоритми оптимізації маршрутів можуть зменшувати тривалість і відстань перевезень, що сприяє одночасному скороченню споживання пального, транспортних витрат та викидів CO₂.

Автоматизація за допомогою роботизованих систем створює значний потенціал для підвищення продуктивності та ресурсної ефективності операцій у ланцюгах постачання. Найбільш перспективним напрямом є використання роботів на складах, у процесах сортування, комплектування та переміщення продукції. Подальший розвиток автономних транспортних засобів і безпілотних систем може сприяти оптимізації маршрутів, скороченню доставки та ефективнішому використанню енергетичних ресурсів.

Технології 3D-друку сприяють підвищенню матеріальної та енергетичної ефективності виробничих процесів. Завдяки високій точності адитивного

виробництва кількість матеріальних відходів може бути суттєво зменшена, порівняно з традиційним методами обробки матеріалів. До того ж можливість виготовлення продукції відповідно до фактичного попиту знижує ризик надвиробництва та накопичення запасів. Використання переробленої сировини у 3D-друці додатково сприяє замиканню матеріальних циклів і скороченню вуглецевого сліду виробництва.

Досягнення сучасного матеріалознавства створює передумови для формування більш екологічних моделей виробництва та пакування. Нові технології дають змогу розробляти легші, міцніші та довговічніші матеріали, а також підвищувати ефективність використання вторинної сировини. Важливим напрямом є створення матеріалів, придатних для повторного використання або перероблення після завершення терміну експлуатації продукції. Поєднання інновацій у матеріалознавстві з принципами оцінювання життєвого циклу продукції дає змогу враховувати екологічні наслідки на всіх етапах – від вибору сировини до завершення життєвого циклу виробу.

Отже, систематизація напрямів просування практик управління зеленими ланцюгами вартості засвідчує, що їх ефективна екологізація потребує комплексного поєднання управлінських та технологічних інструментів. До ключових управлінських передумов належать залученість керівництва, управління витратами, управління компетентностями, управління торгівлею викидами вуглецю, управління іміджем бренду та культурою компанії. Водночас технологічний складник охоплює екологізацію технологій виробничого процесу, мінімізацію авіап перевезень, інвестиції у модернізацію транспортної інфраструктури, формування циркулярних ланцюгів постачання, використання адитивних технологій, цифровізації ланцюга постачання тощо. Сукупність зазначених напрямів забезпечує підвищення ресурсної ефективності, скорочення екологічного навантаження, оптимізацію логістичних процесів і формування довгострокових конкурентних переваг підприємств у межах переходу до моделі сталого розвитку.

1.3. Процес рециклінгу як складник формування «зелених» ланцюгів вартості

Законом України «Про управління відходами» рециклінг визначений як «операція з відновлення, у результаті якої відходи переробляються у продукцію, матеріали або речовини для їх використання за первинною або іншою метою. Ця операція включає перероблення органічного матеріалу, але не включає виробництва енергії чи перетворення відходів у матеріали, що можуть бути використані як паливо або як матеріали для зворотного заповнення» [11].

Індустріалізація та урбанізація протягом останнього століття значно сприяли економічному розвитку та підвищенню рівня життя. Однак ці досягнення також призвели до утворення значної кількості твердих промислових відходів, що створює серйозні екологічні та економічні проблеми. Тверді промислові відходи включають широкий спектр матеріалів, що викидаються внаслідок кількох промислових процесів [208]. Джерелами твердих промислових відходів є такі промислові підприємства: гірничодобувна, харчова, фарбувальна та хімічна промисловість. Наприклад, гірничодобувна промисловість виробляє шлаки та хвости, а цементна та лакофарбова галузі утворюють велику кількість пилу, хімічних відходів, бракованих товарів та металобрухту.

Тверді промислові відходи можна розділити на кілька ключових типів, як-от небезпечні відходи, безпечні відходи, тверді побутові відходи, сміття від будівництва та знесення, електронні відходи, відходи гірничодобувної промисловості, сільськогосподарські відходи, відходи промислових процесів та відходи від упаковки – це основні категорії, на які можна розділити ТПВ [39]. Ненебезпечні відходи, як-от органічні та неорганічні матеріали, менш небезпечні, ніж небезпечне сміття, що містить токсичні та реактивні елементи. Якщо не управляти в належний спосіб твердими промисловими відходами, це може призвести до серйозного забруднення навколишнього середовища, виснаження ресурсів та негативного впливу на здоров'я людей. Значні небезпеки для здоров'я, пов'язані з твердими промисловими відходами, включають неврологічні захворювання, викликані впливом токсичних хімічних речовин, онкологію, опіки

шкіри, респіраторні проблеми та отруєння [79]. Інфекційні захворювання, як-от гепатит та ВІЛ, можуть поширюватися через біомедичні відходи, якщо їх у належний спосіб не контролювати. Окрім спричинення променевої хвороби та генетичних аномалій, радіоактивні відходи підвищують ризик виникнення онкології [210]. Громадське здоров'я може серйозно постраждати від забруднення повітря, води та ґрунту внаслідок твердих промислових відходів, що підкреслює важливість суворих процедур безпеки, належного управління відходами та методів утилізації для зменшення цих ризиків.

Кожна категорія твердих промислових відходів має свої особливості та створює унікальні проблеми для переробки й утилізації. Металеві відходи в основному включають металобрухт, шлак і пил, що утворюються в металообробній промисловості, як-от виробництво сталі, алюмінію та міді.

Металобрухт можна переробити для створення нових металевих виробів, а шлак можна використовувати в будівельних матеріалах, як-от цемент і дорожні заповнювачі. Неметалеві відходи охоплюють широкий спектр матеріалів, наприклад, скло, пластмаси, гума та кераміка. Ці відходи утворюються в таких галузях промисловості: будівництво, автомобільна промисловість та електроніка. Переробка неметалевих відходів включає процеси дроблення, плавлення та переробки для виробництва нових продуктів [221].

Небезпечні відходи містять речовини, які потенційно шкідливі для здоров'я людини та навколишнього середовища. Ця категорія включає хімічні залишки, розчинники та токсичні сполуки з фармацевтичної, хімічної та нафтової галузей промисловості. Переробка небезпечних відходів вимагає спеціалізованих методів для безпечного відновлення цінних матеріалів та зниження токсичності [36].

Небезпечні відходи включають органічні матеріали, папір, картон та інертні матеріали. Ці відходи менш шкідливі, але все ж вимагають належного управління для запобігання забрудненню довкілля. Органічні відходи можна компостувати або використовувати для виробництва біогазу, тоді як папір та картон можна переробляти на нові паперові вироби [163].

Досягнення в технологіях переробки відкрили нові можливості для ефективного управління твердими промисловими відходами. Деякі з ключових технологій переробки та практик утилізації включають переробку металобрухту, утилізацію шлаку, хімічне відновлення, переробку скла та пластику, а також утилізацію органічних відходів [222].

Переробка металобрухту включає збір, сортування та плавлення металобрухту для виробництва нових металевих виробів. Цей процес зберігає природні ресурси, зменшує споживання енергії та викиди парникових газів. Використання шлаку не лише зменшує потребу в первинних матеріалах, але й запобігає їх захороненню на сміттєзвалищах. Хімічне відновлення небезпечних відходів передбачає вилучення цінних хімічних речовин та сполук для повторного використання. Цей процес допомагає мінімізувати вплив небезпечних відходів на навколишнє середовище та відновлює корисні ресурси. Переробка скла та пластику включає процеси дроблення, плавлення та переробку для виробництва нових продуктів.

Ці методи допомагають зменшити вплив на навколишнє середовище відходів, що не розкладаються біологічним шляхом [27]. Органічні відходи можна компостувати для отримання багатого на поживні речовини компосту або використовувати в анаеробному розкладанні для виробництва біогазу. Ці методи сприяють зменшенню кількості відходів та виробництву відновлюваної енергії [104].

Для досягнення Цілей сталого розвитку необхідне ефективне управління твердими промисловими відходами. Ефективні методи управління відходами зменшують їх негативний вплив на навколишнє середовище та стимулюють економіку, зберігаючи ресурси та створюючи нові бізнес-проекти. Переробка та використання твердих промислових відходів вважаються найбільш екологічно чистими методами управління відходами [214]. Завдяки переробці відходів зменшуються потреби в сировині та мінімізується забруднення навколишнього середовища. Переробка передбачає перетворення відходів на нові товари. Утилізація – це процес надання відходам цінних нових застосувань та перетворення їх на корисні ресурси або продукти [38].

Існує кілька категорій, на які поділяються тверді промислові відходи. На рис. 1.5 показано кілька поширених категорій твердих промислових відходів.



Рисунок 1.5 – Класифікація твердих промислових відходів

Джерело: адаптовано автором на основі [34]

Основні джерела твердих промислових відходів наведено в табл. 1.1.

Тверді промислові відходи є значним побічним продуктом промислових процесів, що включає різноманітні компоненти, які необхідно в належний спосіб утилізувати, щоб зменшити їх негативний вплив на довкілля та захистити здоров'я населення. Різні типи твердих промислових відходів класифікуються на небезпечні відходи, безпечні відходи, побутові тверді відходи, сміття від будівництва та знесення, електронні відходи, гірничодобувні відходи, сільськогосподарські відходи, промислові технологічні відходи та відходи упаковки. Кожна категорія створює унікальні виклики та можливості для управління відходами та їх переробки [38].

Таблиця 1.1 – Джерела та категорії твердих промислових відходів

Промисловість	Джерела утворення відходів	Тип відходів
Цементна, лакофарбова та хімічисткова промисловість	Виробничі процеси, упаковка, обслуговування	Металобрухт, пластмаси, пакувальні матеріали, браковані товари
Видобуток корисних копалин	Видобуток та переробка	Хвости, шлак, розкривні породи, гірські породи
Хімічна промисловість	Хімічні реакції, обробка	Хімічний шлак, забруднені контейнери, побічні продукти
Текстильна промисловість	Виготовлення, фарбування, оздоблення	Обрізки тканини, барвники, хімікати, шлак
Харчова промисловість	Обробка, упаковка	Органічні відходи, пакувальні матеріали, побічні продукти
Будівельна промисловість	Будівництво, знесення	Бетон, дерево, метал, ізоляційні матеріали
Енергетика	Горіння, охолодження	Зола, шлак, відпрацьоване паливо, шлак градірень
Електроніка	Збірка, виробництво	Електронні відходи, пластик, метали, друковані плати
Папір та целюлоза	Виробництво, відбілювання	Паперовий шлак, кора, деревна тріска, очищення стічних вод

Джерело: узагальнено автором на основі [34]

Небезпечні відходи включають матеріали, які становлять значний ризик для здоров'я людини та навколишнього середовища через їх токсичні, легкозаймисті, корозійні або реакційні властивості [196]. Небезпечні відходи, що утворюються в промисловості, охороні здоров'я, сільському господарстві та побуті, включають важкі метали, пестициди, фармацевтичні препарати та електронні відходи. Неправильна утилізація може забруднити ґрунт, повітря та воду, що призводить до серйозних екологічних проблем та проблем із здоров'ям населення [33]. Ефективні стратегії управління включають мінімізацію відходів, сегрегацію, обробку та безпечну утилізацію за допомогою методів спалювання, хімічної стабілізації або захоронення на спеціально розроблених сміттєзвалищах. До того ж досліджуються новітні технології, як-от біоремедіація та передові методи переробки, для пом'якшення довгострокового впливу небезпечних відходів [88].

Ненебезпечні відходи – це матеріали, які не становлять безпосередньої загрози для здоров'я чи навколишнього середовища за нормальних умов [99]. Ця категорія включає тверді побутові відходи (наприклад, харчові відходи, папір та

пластмаси), будівельне сміття та деякі промислові побічні продукти [203]. Хоча вони менш небезпечні, ніж небезпечні відходи, неналежне управління безпечними відходами може сприяти погіршенню стану навколишнього середовища, як-от переповнені сміттєзвалища та збільшення викидів парникових газів. Процеси переробки, компостування та перетворення відходів на енергію є важливими для мінімізації екологічного сліду безпечних відходів. Сприяння сталому споживанню, ефективній сегрегації відходів та інноваційним ініціативам щодо повторного використання мають вирішальне значення для зменшення обсягу утворених відходів та сприяння циркулярній економіці.

Відходи, що утворюються з комерційних, інституційних та житлових джерел, називаються ТПВ (твердими побутовими відходами), і зазвичай вони оброблюються місцевими органами влади. Ця категорія включає комерційне сміття від підприємств та установ, як-от канцелярське приладдя та пакувальні матеріали, а також відходи від домогосподарств, наприклад, харчові відходи, папір, пластик та текстиль. Муніципалітети стикаються з величезними проблемами через зростання кількості ТПВ, спричинене урбанізацією та збільшенням споживання [134].

Для заохочення переробки та зменшення кількості сміття необхідні ефективні системи управління відходами та програми підвищення обізнаності громадськості.

Будівельні та демонтажні відходи утворюються під час будівництва, реконструкції та демонтажу споруд. Ця категорія складається з будівельних матеріалів, як-от бетон, цегла, плитка та асфальт, а також будівельного сміття, як-от дерева, метал, гіпсокартон та ізоляційні матеріали [216]. Вага та об'єм відходів, що утворюються під час будівництва та демонтажу, вимагають спеціальних методів обробки та утилізації. Деякі матеріали цієї категорії підлягають переробці; наприклад, бетон можна подрібнити та повторно використовувати як заповнювач, метали можна розплавити та переробити, а деревину можна використовувати повторно або як біопаливо [45]. Зменшення впливу будівельного сектору на навколишнє середовище вимагає використання

екологічно чистих методів, як-от відновлення матеріалів та селективне розбирання (деконструкція), а не повне знесення будівлі.

Через короткий термін служби електронних виробів та швидкий розвиток технологічних інновацій електронне сміття, або *електронні відходи*, складається з покинутих електронних пристроїв та обладнання і стає дедалі більшою екологічною проблемою. Електронні пристрої, зокрема комп'ютери, мобільні телефони, телевізори та батареї, є прикладами електронних відходів. Багато з цих пристроїв містять небезпечні матеріали, як-от свинець, ртуть і кадмій. У разі неправильної утилізації електронних відходів ці небезпечні речовини можуть потрапляти в навколишнє середовище та забруднювати землю і воду [173]. Ефективне управління електронними відходами передбачає їх збирання, розбирання та переробку задля повторного використання цінних ресурсів і знешкодження токсичних елементів. Важливим кроком є також впровадження програм повернення техніки виробникам та стимулювання випуску більш довговічних товарів [198].

Відходи гірничодобувної промисловості, які включають значну кількість розкривних порід та хвостів, утворюються під час видобутку й переробки корисних копалин та металів із землі [60]. Хвости – це залишкові продукти видобутку цінних корисних копалин, тоді як розкривні породи – це ґрунт і порода, що видаляються для доступу до запасів корисних копалин. Гірничодобувні операції можуть виробляти великі обсяги відходів, і ці відходи часто зберігаються у хвостосховищах або відвалах пустої породи, що становить небезпеку забруднення та погіршення стану навколишнього середовища [131]. Щоб запобігти потраплянню небезпечних сполук у навколишнє середовище, відходи гірничодобувних операцій необхідно стабілізувати та утримувати. До того ж досягнення в гірничодобувних технологіях та методах обробки відходів можуть допомогти зменшити обсяг утворених відходів і сприяти вилученню корисних побічних продуктів гірничодобувних операцій.

Сільськогосподарські відходи включають залишки рослин, як-от стебла, листя та лушпиння, що залишаються після збору врожаю, а також відходи тваринного походження, як-от гній і підстилка від худоби. Правильне управління

сільськогосподарськими відходами є важливим для запобігання забрудненню навколишнього середовища [64].

Органічні сільськогосподарські відходи часто можна компостувати або використовувати для виробництва біогазу шляхом анаеробного розкладання, що забезпечує відновлюване джерело енергії та зменшує залежність від хімічних добрив. Впровадження стійких сільськогосподарських практик, як-от сівозміна та інтегровані системи управління відходами, може підвищити ефективність використання відходів та зміцнити здоров'я ґрунту.

Відходи промислового процесу утворюються як результат різних промислових процесів. Ці відходи потребують спеціальних методів утилізації через свій склад та потенційний вплив на навколишнє середовище [86]. Ця категорія включає шлам від процесів очищення стічних вод, відпрацьовані матеріали, як-от використані розчинники, каталізатори та фільтри, що досягли кінця свого терміну корисного використання [49]. Правильне оброблення та утилізація промислових технологічних відходів мають вирішальне значення для запобігання забрудненню ґрунту та водних ресурсів. Передові технології очищення, як-от хімічне осадження, мембранна фільтрація та біоремедіація можуть допомогти пом'якшити вплив промислових технологічних відходів на навколишнє середовище [185].

До того ж впровадження методів чистішого виробництва та стратегій мінімізації відходів може зменшити обсяг утворених відходів і підвищити стійкість промислових операцій.

Відходи упаковки утворюються з матеріалів, що використовуються для упакування товарів у різних галузях промисловості, як-от споживчі товари, електроніка та харчові продукти. Ця категорія охоплює пакувальні матеріали (папір, фольгу, пластикове пакування), а також контейнери й тару, як-от скляні, металеві та пластикові пляшки й банки. Відходи упаковки становлять значну частину загального потоку відходів і часто утилізуються як сміття або на звалищах [51]. Сприяння використанню матеріалів, що підлягають переробці та біорозкладанню, втілення ідей щодо зменшення кількості упаковки на практиці та заохочення залучення споживачів до програм переробки є необхідними для

ефективного управління відходами упаковки [137]. Вплив відходів упаковки на навколишнє середовище також можна зменшити за допомогою використання екологічно чистих матеріалів та інновацій у дизайні легкої упаковки.

Деякі основні впливи промислових твердих відходів на здоров'я наведено в табл. 1.2.

Заклади охорони здоров'я утворюють біомедичні відходи, які становлять додатковий ризик. Використані голки, продукти крові та ліки є одними з забруднених предметів у цьому смітті, які можуть поширювати інфекційні захворювання, такі як гепатит та інші інфекції, що передаються через кров. Коли біомедичні відходи не утилізуються в належний спосіб, інфекції можуть поширюватися через повітря, воду та ґрунт, завдаючи шкоди не лише населенню, а й медичним працівникам. Це може призвести до серйозних катастроф у сфері охорони здоров'я. Ефективне управління біомедичними відходами, що передбачає їхнє спалювання та застосування належних методів стерилізації, є вкрай важливим для захисту здоров'я і безпеки населення [149].

Таблиця 1.2 – Небезпечний вплив промислових твердих відходів на здоров'я

Тип небезпечних відходів	Опис	Вплив на здоров'я	Приклади
Хімічні відходи	Містить токсичні, легкозаймисті, реактивні або корозійні матеріали	Проблеми з диханням, опіки шкіри, отруєння, онкологія, неврологічні розлади, репродуктивні проблеми	Розчинники, кислоти, основи, важкі метали
Біомедичні відходи	Забруднені матеріали з медичних закладів	Передача інфекційних захворювань, як-от ВІЛ, гепатит, респіраторні інфекції та шкірні інфекції	Використані шприци, продукти крові, фармацевтичні препарати
Радіоактивні відходи	Відходи, що містять радіоактивні матеріали	Гостра променева хвороба, підвищений ризик виникнення онкології, генетичні мутації, пошкодження тканин та органів	Відпрацьоване ядерне паливо, радіоактивне медичне обладнання

Джерело: узагальнено автором за матеріалами [42; 80; 87; 180]

Управління твердими промисловими відходами включає збір, обробку, переробку та утилізацію відходів, що утворюються як результат промислової діяльності (рис. 1.6).

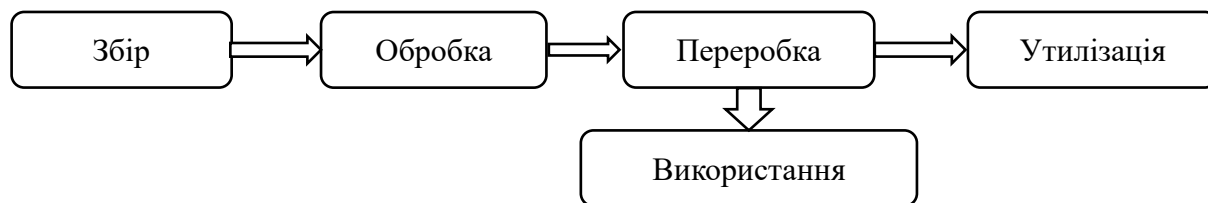


Рисунок 1.6 – Етапи управління ТПВ

Джерело: адаптовано автором за матеріалами [34]

Ефективні методи управління зменшують вплив на навколишнє середовище, мінімізують ризики для здоров'я та сприяють сталому розвитку шляхом перетворення відходів на корисні ресурси за допомогою різних методів. Управління твердими промисловими відходами є критичним аспектом сталого розвитку, що включає переробку різних видів відходів, як-от металеві, неметалеві, небезпечні та безпечні відходи. Ефективні технології переробки можуть значно зменшити забруднення навколишнього середовища, зберегти природні ресурси та забезпечити економічні вигоди.

Переробка металевих відходів є важливим процесом у пом'якшенні забруднення навколишнього середовища, збереженні природних ресурсів та сприянні сталому розвитку [29]. Цей процес включає відновлення цінних металів із промислових, електронних та побутових відходів матеріалів. Відновлення металів із відходів також допомагає зменшити потребу в первинному видобутку металів. Ефективні технології переробки, як-от гідрометалургія, пірометалургія та електрохімічні методи, є ключовими у регенерації металів, зокрема алюмінію, міді та рідкоземельних елементів.

До того ж досягнення в автоматизованому сортуванні, подрібненні та плавленні підвищили економічну доцільність переробки металевих відходів. Однак проблеми залишаються, зокрема розділення складних сплавів, видалення домішок та управління небезпечними побічними продуктами. Також підвищення

обізнаності громадськості та нормативно-правова база відіграють важливу роль у підвищенні показників переробки та забезпеченні безпечного поводження з металевими відходами.

Загалом переробка металевих відходів не тільки зменшує навантаження на навколишнє середовище, але й сприяє циркулярній економіці [107].

Переробка неметалевих відходів має вирішальне значення в межах сталого управління відходами, оскільки вона зменшує забруднення навколишнього середовища та зберігає обмежені природні ресурси. Переробка цих матеріалів передбачає процедури подрібнення, миття та переробки, щоб полегшити їх повторне використання у виробничих процесах. Інновації в технологіях переробки, зокрема хімічна переробка та біотехнології, покращують експлуатаційну ефективність і розширюють спектр матеріалів, придатних для переробки [131]. Ефективне управління переробкою неметалевих відходів не тільки зменшує навантаження на звалища, але й зменшує споживання енергії та пом'якшує викиди парникових газів, у такий спосіб сприяючи циркулярній економіці та пропагуючи екологічну стійкість [102].

У переробці пластмас використовується кілька методів. Механічна переробка включає подрібнення, промивання та плавлення пластикових відходів для виробництва нових пластикових виробів. Хімічна переробка використовує передові методи, як-от піроліз, газифікація та деполімеризація, для розщеплення пластикових відходів на мономери [157]. До того ж постійні дослідження зосереджені на розробці та переробці біорозкладних пластмас, виготовлених із відновлюваних ресурсів, як-от кукурудзяний крохмаль та целюлоза, що можуть розкладатися природним шляхом і зменшувати вплив на навколишнє середовище [188]. Ці методи разом підвищують стійкість і ефективність переробки пластикових відходів, мінімізуючи потребу в пластикових матеріалах та зменшуючи забруднення.

Надкритичні рідини, особливо надкритичний CO_2 (scCO_2), продемонстрували ефективність у хімічній переробці, підвищуючи ефективність деградації полімерних матеріалів [65]. Я. Лю та інші автори [113] пояснюють, що

синергетичне застосування scCO_2 разом з гідроксидом натрію (NaOH) або соляною кислотою (HCl) посилює деградацію полістиролу шляхом зниження енергії активації.

Переробка скла в основному включає два методи: переробку склобою та подрібнення скла. Переробка склобою включає подрібнення відходів скла на дрібні шматочки, відомі як скlobій, які потім плавляться та перетворюються на нові скляні вироби [120]. Цей процес значно зменшує споживання енергії та сировини у виробництві скла. Механічне стирання (або тонке подрібнення), з іншого боку, дає змогу перетворити скlobій на дрібнодисперсний порошок. Він слугує вторинною сировиною для виготовлення кераміки, ізоляційних матеріалів та будівельних заповнювачів. Обидва методи забезпечують ефективний рециклінг скляних відходів у межах сталого розвитку, оскільки мінімізують потребу в первинних ресурсах та знижують екологічний слід від скляного виробництва.

Переробка паперу та картону включає два основні процеси: варіння целюлози та знебарвлення. Варіння целюлози передбачає змішування макулатури з водою та хімікатами для розщеплення волокон на целюлозу, яка потім очищається, знебарвлюється й переробляється на нові паперові вироби [79]. Видалення фарби з целюлози використовує передові методи флотації та промивання для видалення фарби і забруднюючих речовин з целюлози, що значно покращує якість переробленого паперу [43].

Переробка небезпечних відходів передбачає процедури відновлення та нейтралізації розчинником хімічних відходів, механічної обробки та хімічного вилуговування електронних відходів, а також термічну обробку для зменшення токсичності [39].

Ці методи забезпечують безпечну утилізацію та повторне використання небезпечних промислових відходів, одночасно пом'якшуючи екологічні небезпеки та безпечно відновлюючи цінні товари.

Існує багато важливих етапів переробки *електронного сміття*, або *електронних відходів*. Електронні відходи розкладаються механічно, а цінні компоненти, зокрема друковані плати, метали та полімери, видобуваються шляхом

сортування, подрібнення та магнітної сепарації [108]. Дорогоцінні метали, як-от золото, срібло та паладій, можна видобувати за допомогою хімічного вилуговування, що є екологічно вигідною заміною традиційного видобутку. Для зменшення токсичності та об'єму небезпечних компонентів електронних відходів використовуються термічні обробки, як-от піроліз і спалювання. Разом ці методи гарантують ефективне вилучення цінних матеріалів з електронних відходів, зменшують їх негативний вплив на довкілля та вдосконалюють екологічно чисті методи управління відходами [178].

Переробка хімічних відходів вимагає кількох важливих методів. Щоб зменшити потребу в первинних розчинниках, процес відновлення розчинників використовує методи екстракції та дистиляції для очищення та вилучення розчинників з промислових потоків відходів [30]. Кислотні відходи або лужні речовини нейтралізуються для створення безпечних сполук, які можна безпечно утилізувати або використовувати повторно у промислових процесах. Небезпечні відходи можна в належний спосіб утилізувати на суші, використовуючи процедури стабілізації та затвердіння, які поєднують зв'язуючі агенти зі сміттям для іммобілізації забруднюючих речовин і запобігання вилуговування [183]. У поєднанні ці методи покращують сталий розвиток та безпеку управління хімічними відходами, гарантуючи ефективну переробку й утилізацію небезпечних матеріалів із найменшим можливим негативним впливом на навколишнє середовище [30].

Переробка безпечних відходів включає процеси компостування органічних відходів, переробку бетону для будівельних відходів та хімічну переробку матеріалів, як-от пластмаси та папір. Ці методи перетворюють відходи на цінні ресурси, зменшуючи використання сміттєзвалищ і сприяючи екологічній стійкості завдяки ефективним практикам управління відходами [176].

Переробка органічних відходів використовує різні ефективні методи для управління та повторного використання біорозкладних матеріалів. Компостування використовує аеробне розкладання органічних відходів, як-от харчові відходи та сільськогосподарські залишки, мікроорганізмами, що виробляють компост, який збагачує родючість і структуру ґрунту [110]. Анаеробне перетравлення розкладає

органічні відходи за допомогою бактерій та грибів в умовах дефіциту кисню, генеруючи біогаз та дигестат, багате на поживні речовини добриво. Вермикомпостування передбачає розкладання органічної речовини дощовими черв'яками, що призводить до утворення вермикасту. Це дуже родючий компост, багатий на цінні поживні речовини [66]. Ці методи не тільки відводять органічні відходи від звалищ, але й сприяють сталому веденню сільського господарства, покращуючи здоров'я ґрунту та зменшуючи залежність від хімічних добрив [164]. Перетворюючи органічні відходи на цінні ресурси, як-от компост і біогаз, ці методи переробки підтримують цілі екологічної стійкості, сприяючи ефективному кругообігу поживних речовин та зменшуючи викиди парникових газів, пов'язані з розкладанням на звалищах.

Переробка будівельного та демонтажного сміття використовує різноманітні методи для ефективного управління й повторного використання матеріалів [202]. Переробка бетону – це процес дроблення та просіювання залишків бетону для створення заповнювача, який використовується для створення свіжого бетону, будівництва доріг та інших будівельних проєктів, у такий спосіб знижуючи потребу в первинних матеріалах [106]. Переробка деревини використовує методи подрібнення та обробки для перетворення відходів деревини на мульчу, ДСП та біопаливо.

Сталий розвиток, що охоплює різноманітні підходи до мінімізації відходів та відновлення цінності вторинної сировини, значною мірою спирається на утилізацію твердих промислових відходів [84]. Переробка має вирішальне значення, оскільки вона перетворює різні потоки відходів на нові товари або сировину.

Існує кілька методів утилізації промислових твердих відходів, вказаних у табл. 1.3.

Окрім переробки, рекуперація енергії є ще одним важливим методом утилізації промислових відходів [156]. Спалювання та газифікація відходів дає змогу перетворювати відходи на енергію, тепло або біопаливо, які є стійкими альтернативами викопному паливу та зменшують обсяги звалищ. Окрім переробки

та відновлення енергії, тверді промислові відходи можуть використовуватися в будівництві та сільському господарстві. Бетон та гіпс із будівельних майданчиків і майданчиків для знесення можна подрібнювати та повторно використовувати як заповнювач або для покращення ґрунту, що зменшує використання первинних матеріалів та заощаджує місце на звалищах. Органічні відходи, як-от компостована біомаса або шлам, підвищують родючість ґрунту та покращують врожайність сільськогосподарських культур. Завдяки використанню цих практик відходи вилучаються зі звалищ, а також впроваджуються принципи збереження ресурсів та циркулярної економіки.

Таблиця 1.3 – Методи утилізації твердих промислових відходів

Метод	Опис
Рециклінг	Перетворює відходи на нові продукти або сировину. Включає метали (плавка), пластмаси (механічна та хімічна переробка), скло та папір
Відновлення енергії	Перетворює неперероблювані або органічні відходи на тепло, електроенергію або біопаливо за допомогою процесів спалювання та газифікації
Будівельні матеріали	Повторно використовує матеріали, як-от бетон та гіпс, із будівельних відходів та відходів внаслідок знесення, як заповнювач або для нових будівельних проєктів
Використання у сільському господарстві	Використовує органічні відходи, як-от компостована біомаса або мульча, як добрива для ґрунту для підвищення родючості ґрунту та врожайності сільськогосподарських культур
Виробництво сировини	Перетворює відходи на сировину для промислових процесів, зменшуючи потребу в первинних ресурсах

Джерело: упорядковано автором за матеріалами [32; 97; 161; 162; 175]

Інновації в технологіях утилізації відходів продовжують підвищувати життєздатність і масштабованість стратегій сталого управління відходами в різних промислових секторах.

На рис. 1.7 наведену нову ієрархію «переробки як частини циркулярної економіки». Вона демонструє, що зелений дизайн є ключовим для забезпечення того, щоб «R» (скорочення, повторне використання та рециклінг) були безпечними, чистими та екологічними і могли пройти тривалий термін служби перед переробкою в новий матеріал або продукт, а також щоб процеси відповідали принципам ресурсоефективного чистого виробництва.



Рисунок 1.7 – Ієрархія вторинної сировини у моделі циркулярної економіки

Джерело: адаптовано автором за матеріалами [68]

Дизайн є невід’ємною частиною циркулярної економіки, оскільки він сприяє використанню безпечніших хімічних речовин, а стійкі виробничі процеси є важливими для зменшення викидів протягом життєвого циклу хімічних речовин та продуктів, включно з етапами повторного використання, переробки та утилізації. Ці рішення на початку виробництва, як-от зелений дизайн, також допомагають гарантувати, що вторинна сировина, яка перенаправляється в циркулярну економіку, не буде забруднена небезпечними хімічними речовинами.

Однією з перешкод для того, щоб дизайн став відправною точкою циклічного переходу (в контексті національної або субнаціональної структури), є те, що розробка дизайну переважно здійснюється в багатших, промислово розвинених країнах. Через це він не є конкурентною перевагою у країнах, де немає високотехнологічної індустрії або ринку дизайну. Проте цю проблему можна

вирішити за допомогою заходів розширеної відповідальності виробника (РВВ) та підтримати за допомогою технології блокчейн.

Ще одним аргументом для початку роботи у сфері циркулярної економіки з переробки та розвитку переробних галузей є гостра проблема управління відходами, з якою стикаються багато країн, що розвиваються. Це стосується й багатьох промислово розвинених країн, системи управління відходами в яких зазнали тиску після того, як Китай заборонив імпорт багатьох видів вторсировини та запровадив суворі вимоги щодо її чистоти.

Використання електронних пристроїв, швидка мода, зростаючі галузі промисловості тощо – все це створює «ідеальний шторм» поширення твердих відходів, які, якщо розглядати як цінний ресурс повторного використання, можна було б використовувати як сировину для повернення в циркулярну систему.

Міжнародний досвід допомагає країнам визначати орієнтири та пріоритети екологічної політики, проте масштаби глобальної проблеми відходів вимагають негайного зміцнення переробної галузі та створення стабільних ринків збуту для вторинної сировини. До того ж необхідно стимулювати розробку продукції з безпечних матеріалів, проходження та склад компонентів яких будуть повністю прозорими й простежуваними.

Висновки розділу 1

Узагальнення наукових підходів дає підстави визначити зелену економіку як модель економічного розвитку, у межах якого економічне зростання та підвищення конкурентоспроможності мають забезпечуватися за одночасного збереження природного капіталу, раціонального використання ресурсів, мінімізації негативного впливу господарської діяльності на довкілля та врахування соціальних інтересів. Її сутність полягає у зміні характеру взаємозв'язку між економічною діяльністю та природними ресурсами: від екстенсивного використання ресурсів і накопичення екологічних втрат – до ресурсоефективного, низьковуглецевого та циркулярного розвитку.

У контексті реалізації принципів сталого розвитку зелена економіка набуває системного характеру, оскільки поєднує економічну результативність, екологічну стійкість і соціальну відповідальність. Відповідно перехід до зеленої економіки створює передумови для формування зелених ланцюгів доданої вартості, у яких екологічні критерії інтегруються в управлінські та виробничі рішення, а економічні результати доповнюються екологічними та соціальними ефектами. Такий підхід забезпечує практичну реалізацію принципів сталого розвитку та формує основу для довгострокової трансформації промислового виробництва.

У роботі вдосконалено концептуальні основи формування зеленого ланцюга вартості, які ґрунтуються на інтеграції екологічних компонентів у всі етапи створення вартості – від дизайну продукту, логістики, виробництва до управління інформаційними системами, збуту продукції, споживання та утилізації продукції. Адаптована автором концептуальна модель формування зеленого ланцюга вартості демонструє взаємозв'язок між екологічною відповідальністю та результативністю бізнесу, прибутковість якого формується як комплексний ефект від економії ресурсів, зростання інноваційного потенціалу, підвищення репутаційної цінності та доступу до нових ринків і джерел фінансування.

Систематизація теоретичних підходів дає підстави розглядати трансформацію промисловості до моделі зеленого ланцюга доданої вартості як комплексний процес інтеграції екологічних принципів у всі етапи створення вартості.

Теоретичне підґрунтя цієї трансформації базується на концепціях зеленої економіки, сталого розвитку, управління зеленими ланцюгами постачання, ресурсоефективності та принципах 3R. Методологічно процес трансформації передбачає інтеграцію екологічних, економічних і соціальних критеріїв у систему управління підприємством, використання зелених технологій, цифровізації, інноваційних логістичних рішень, екологічного менеджменту та інструментів оцінки життєвого циклу продукції.

Узагальнення дослідження підходів дало змогу систематизувати основні теоретико-методологічні складники трансформації до зеленого ланцюга доданої вартості: управлінські та технологічні. До ключових передумов такої трансформації належать залученість керівництва, управління витратами, управління компетентностями, управління торгівлею викидами вуглецю, управління іміджем бренду та культурою компанії, а також екологізація технологій виробничого процесу, мінімізація авіаперевезень, інвестиції у модернізацію транспортної інфраструктури, формування циркулярних ланцюгів постачання, використання адитивних технологій, цифровізації ланцюга постачання тощо. Системне поєднання зазначених інструментів просування практик управління зеленими ланцюгами вартості забезпечує не лише зниження екологічного навантаження, а й підвищення ресурсної ефективності, оптимізацію логістичних процесів і формування довгострокових конкурентних переваг підприємств у межах переходу до моделі сталого розвитку. Отже, теоретико-методологічною основою подальшого дослідження доцільно визначити комплексний підхід, відповідно до якої екологізація розглядається як системна трансформація всієї моделі створення доданої вартості.

Дослідження процесу рециклінгу як складника формування зелених ланцюгів вартості свідчить, що ефективне управління промисловими відходами є одним із ключових напрямів переходу до циркулярної та ресурсоефективної економіки. Встановлено, що рециклінг забезпечує не лише зменшення екологічного навантаження та скорочення обсягів захоронення відходів, а й формування вторинної сировинної бази, збереження природних ресурсів, підвищення

енергоефективності та створення нових економічних можливостей. Особливе значення у розвитку зелених ланцюгів вартості мають інноваційні технології переробки металевих, неметалевих, органічних, електронних і небезпечних відходів, а також інтеграція принципів екодизайну, чистого виробництва та розширеної відповідальності виробника.

Зроблено висновок, що сучасні тенденції розвитку циркулярної економіки засвідчують необхідність поєднання технологічних інновацій, екологічного регулювання та інфраструктурної модернізації для забезпечення сталого використання ресурсів і підвищення конкурентоспроможності промислового виробництва.

Основні результати проведеного дослідження опубліковані у працях автора [8; 16; 19].

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ РЕЦИКЛІНГУ У ПРОЦЕСІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ДО МОДЕЛІ «ЗЕЛЕНОГО» ЛАНЦЮГА ДОДАНОЇ ВАРТОСТІ

2.1. Аналіз трендів розвитку рециклінгу у промисловому виробництві країн світу

Утворення відходів відповідає темпам урбанізації, економічного розвитку та зростання населення. Оскільки країни та міста стають більш густонаселеними та багатшими, продукти й послуги стають доступнішими для мешканців, а країни мають більше можливостей для участі у світовій торгівлі та обміні. Це відповідає збільшенню кількості відходів, які необхідно переробляти та утилізувати.

У серії звітів Світового банку (World Bank Group) «Що за відходи» за 2012 та 2018 рр. рівні утворення твердих побутових відходів у світі оцінювалися на рівні 1,3 млрд тонн та 2,1 млрд тонн відповідно [103; 218]. В останній версії доповіді «Що за відходи 3.0», опублікованій у 2026 р., зазначається, що обсяги сміття зростають значно швидше, ніж прогнозувалося раніше (де за базовий рік використовувався 2016-й). Якщо у попередньому звіті «Що за відходи 2.0» прогнозувалося утворення 2,59 млрд тонн відходів лише до 2030 р., то за найактуальнішими даними Світового банку, світове утворення відходів уже досягло 2,56 млрд тонн (округливши до 2,6 млрд тонн) у 2022 р. Це підтверджує тенденцію до прискорення темпів накопичення відходів у глобальному масштабі.

Відходи у світі за вагою утворюються нерівномірно в різних географічних регіонах. Регіон Східної Азії та Тихого океану має найбільшу частку світового населення – приблизно 30 % – і на нього припадає еквівалентна кількість світових відходів – 33 %, що за оцінками на 2022 р., становить 849 млн тонн від загального обсягу світового утворення відходів. Регіон Близького Сходу та Північної Африки нараховує приблизно 6 % світового населення та генерує найменшу кількість відходів (6 %, 161 млн тонн). Як регіон, Північна Америка має найменшу частку світового населення – 5 %, але генерує майже 12 % світових відходів [219].

Хоча країни з високим рівнем доходу становили лише приблизно 16 % населення світу у 2022 р., вони виробляли 29 %, або 754 млн тонн, світових відходів (рис. 2.1–2.2) і мають найвищий рівень утворення на душу населення серед груп доходів (рис. 2.3). Країни з рівнем доходу вище середнього становлять 36 % населення світу та виробляють найбільший абсолютний тоннаж відходів – 42 % світових відходів – 1 065 млн тонн відходів на рік (рис. 2.1). Країни з рівнем доходу нижче середнього становлять приблизно 40 % населення світу та виробляють приблизно 25 % світових відходів, або 638 млн тонн на рік (рис. 2.1) [219].

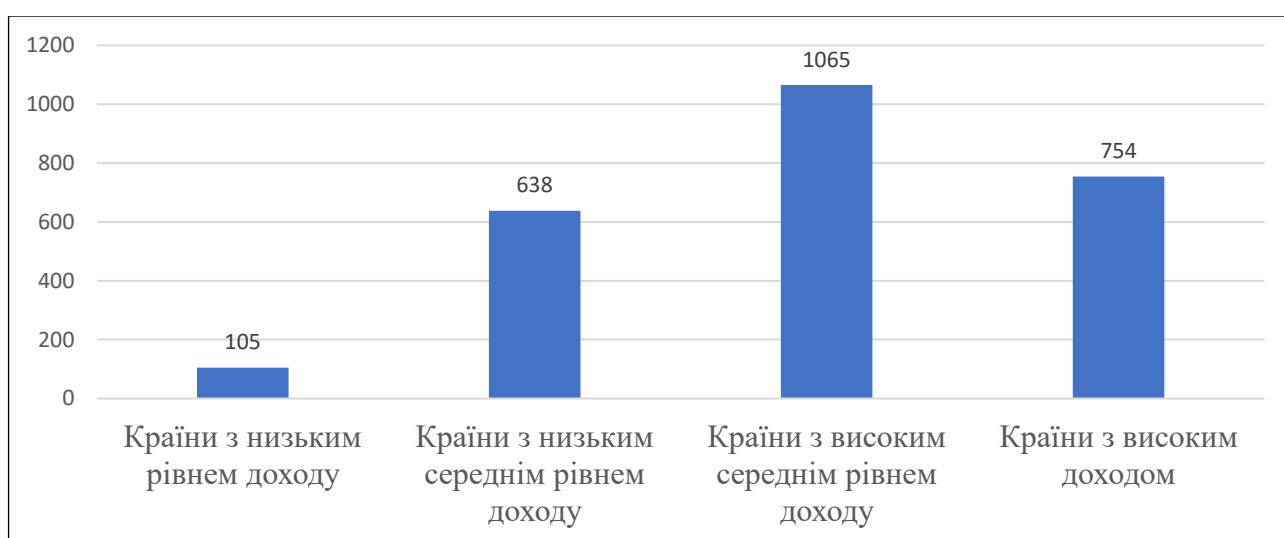


Рисунок 2.1 – Утворення твердих побутових відходів
за групами країн за рівнем доходів на душу населення, 2022 р.

Джерело: побудовано за даними [219]

Країни з низьким рівнем доходу становлять 9 % населення світу та виробляють лише приблизно 4 % світових відходів, або 105 млн тонн на рік (рис. 2.1).

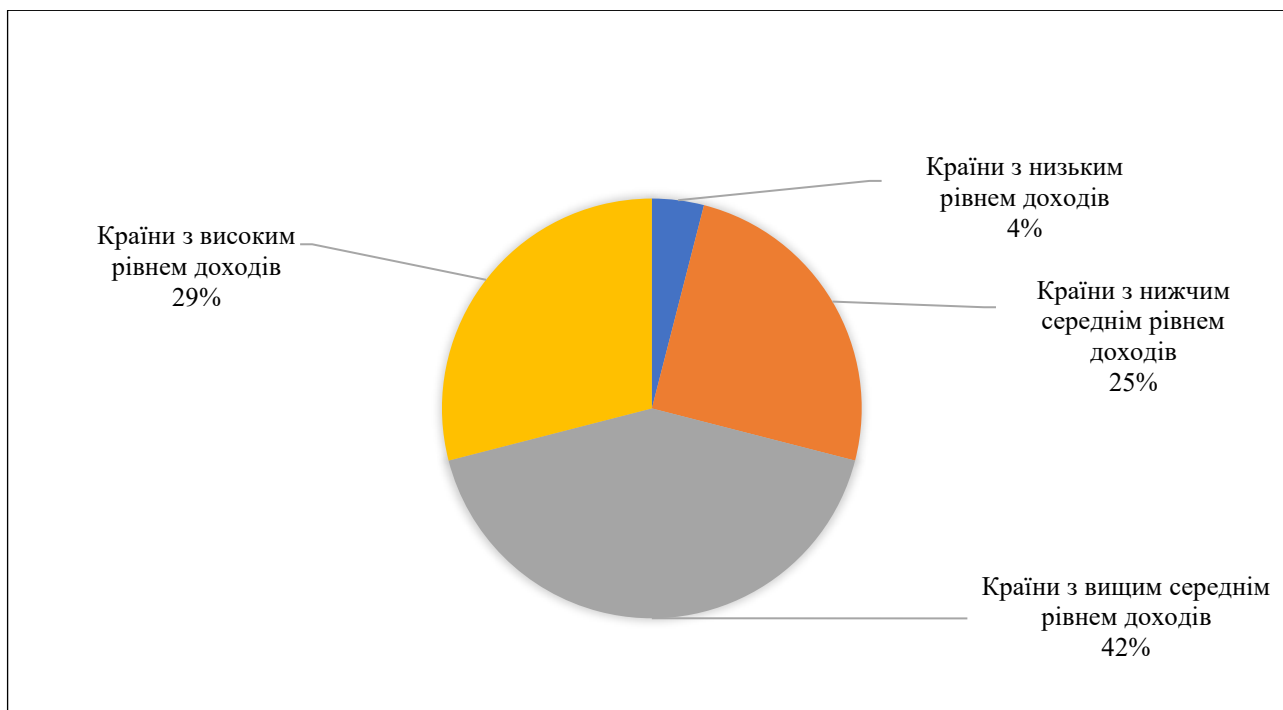


Рисунок 2.2 – Розподіл часток світового утворення твердих побутових відходів між групами країн за рівнем доходів на душу населення, 2022 р.

Джерело: побудовано за даними [219]

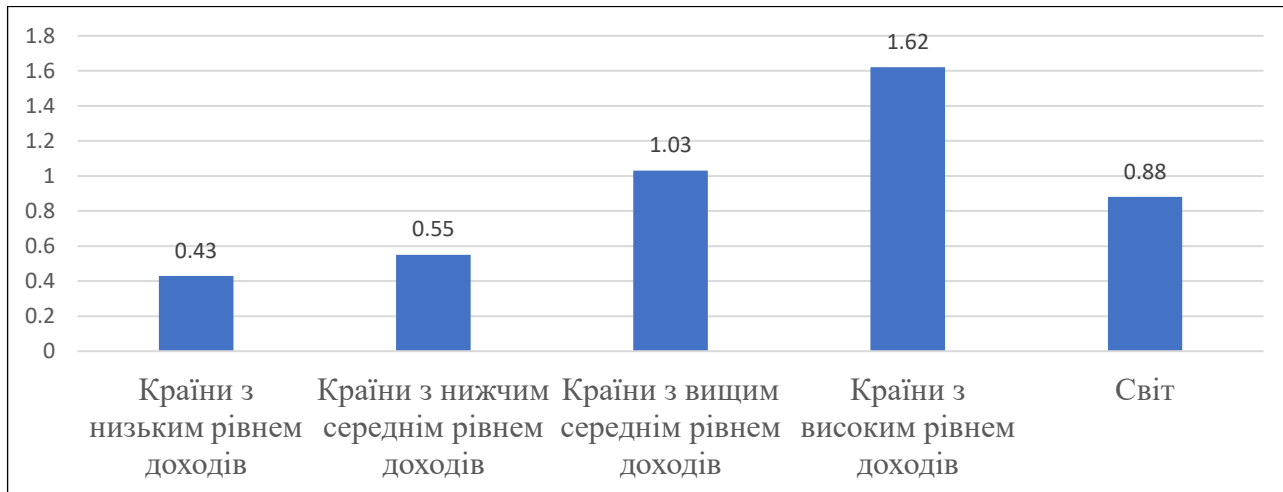


Рисунок 2.3 – Утворення твердих побутових відходів на душу населення за групами країн за рівнем доходів на душу населення, 2022 р.

Джерело: побудовано за даними [219]

Найбільший рівень утворення відходів на душу населення серед регіонів світу спостерігається в Північній Америці, де виробляється 2,25 кг відходів на душу населення на день (рис. 2.4). Усі три країни Північної Америки – Бермудські

острови, Канада та Сполучені Штати – є країнами з високим рівнем доходу. Регіонами з найнижчим рівнем утворення відходів на душу населення є країни Африки на південь від Сахари та Південна Азія, із середньозваженим показником 0,52 кг та 0,49 кг відходів на душу населення на день відповідно; ці регіони містять високу частку країн з низьким та середнім рівнем доходу. Завдяки чисельності населення Південна Азія є третім за величиною регіоном у світі за кількістю утворених відходів (рис. 2.5–2.6) [219].

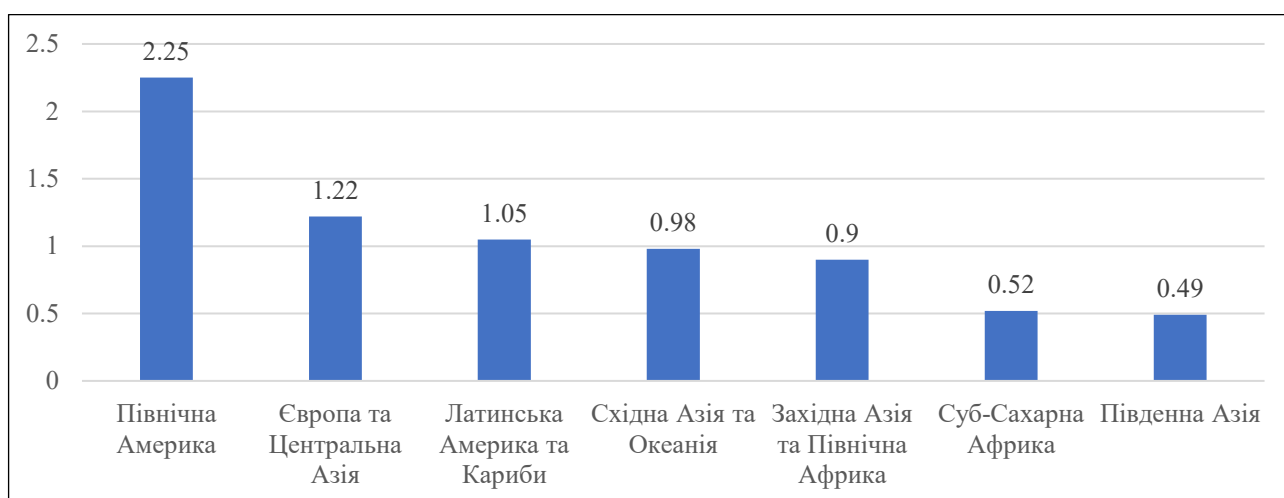


Рисунок 2.4 – Утворення твердих побутових відходів на душу населення за регіонами світу, 2022 р.

Джерело: побудовано за даними [219]

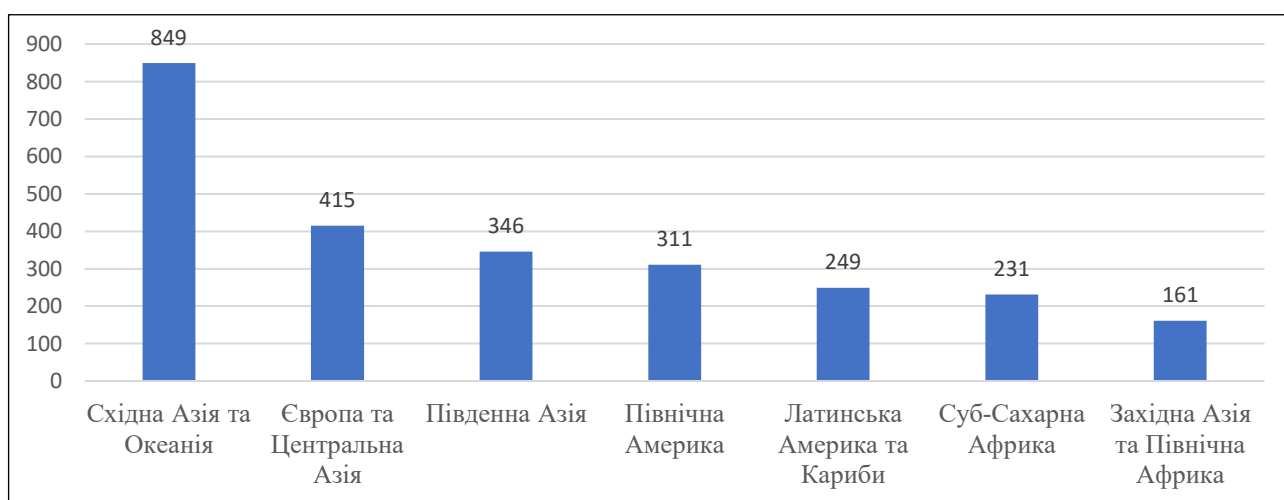


Рисунок 2.5 – Утворення твердих побутових відходів за регіонами світу, 2022 р.

Джерело: побудовано за даними [219]

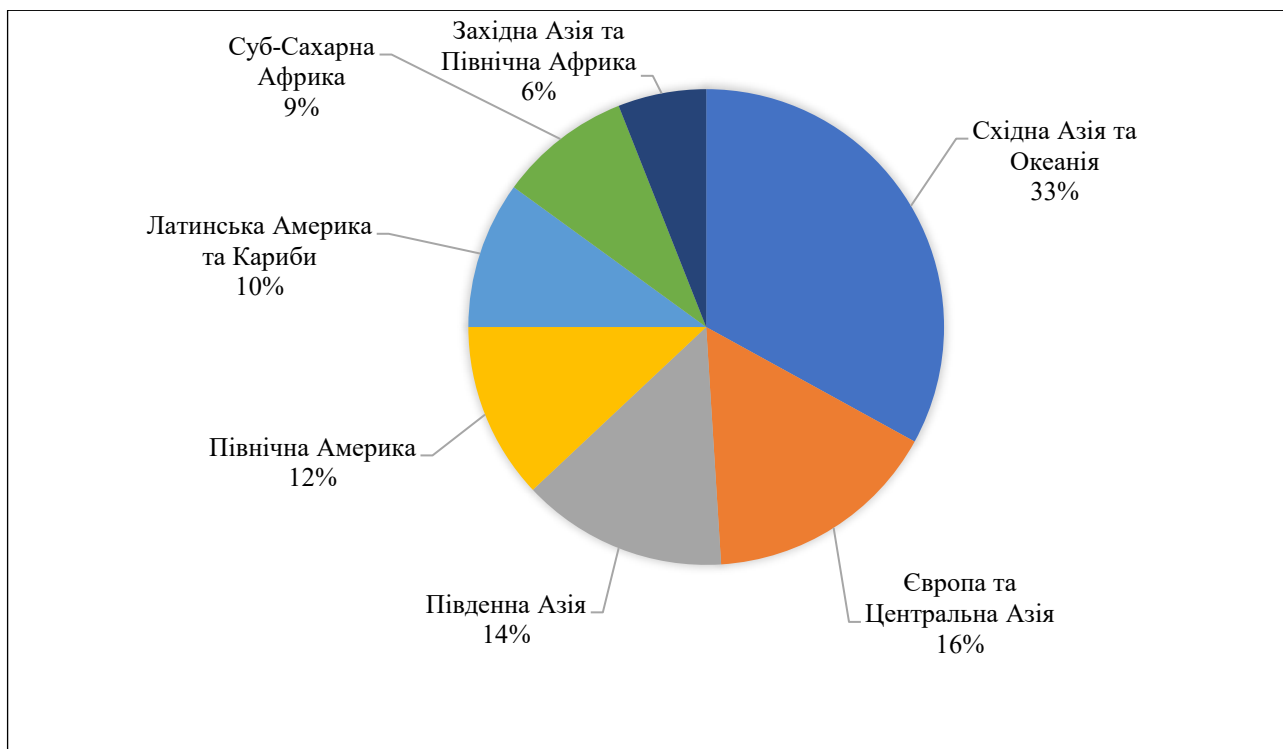


Рисунок 2.6 – Розподіл часток світового утворення твердих побутових відходів за регіонами світу, 2022 р.

Джерело: побудовано за даними [219]

Середній показник утворення відходів на душу населення у світі за 2022 р. становить 0,88 кг на день, що більше, ніж середній показник 2016 р., який становив 0,74 кг на душу населення на день, про який повідомлялося у виданні «Що з відходами» за 2018 р. [79]. Середній показник утворення відходів на душу населення в окремих країнах та економіках значно варіюється, від 0,16 кг на день до понад 3 кг на душу населення на день [218].

Утворення відходів загалом позитивно пов'язане з економічним розвитком, особливо в країнах з низьким або помірним рівнем розвитку (рис. 2.7).

Із поступовими змінами доходів від низького до високого рівня доходу утворення відходів збільшується (рис. 2.8). Регіони з вищим рівнем доходу, як-от Північна Америка, а також Європа та Центральна Азія, демонструють високий валовий внутрішній продукт (ВВП) на душу населення та високий рівень утворення відходів, тоді як регіони, які переживають піки економічного зростання, як-от Східна Азія, мають зростання ВВП і, як очікується, з часом покажуть вищий рівень

утворення відходів (рис. 2.9). Уповільнення зростання утворення відходів за вищих рівнів доходу може бути пов'язане зі зниженням граничного попиту на споживання, а отже, зі зменшенням кількості відходів.

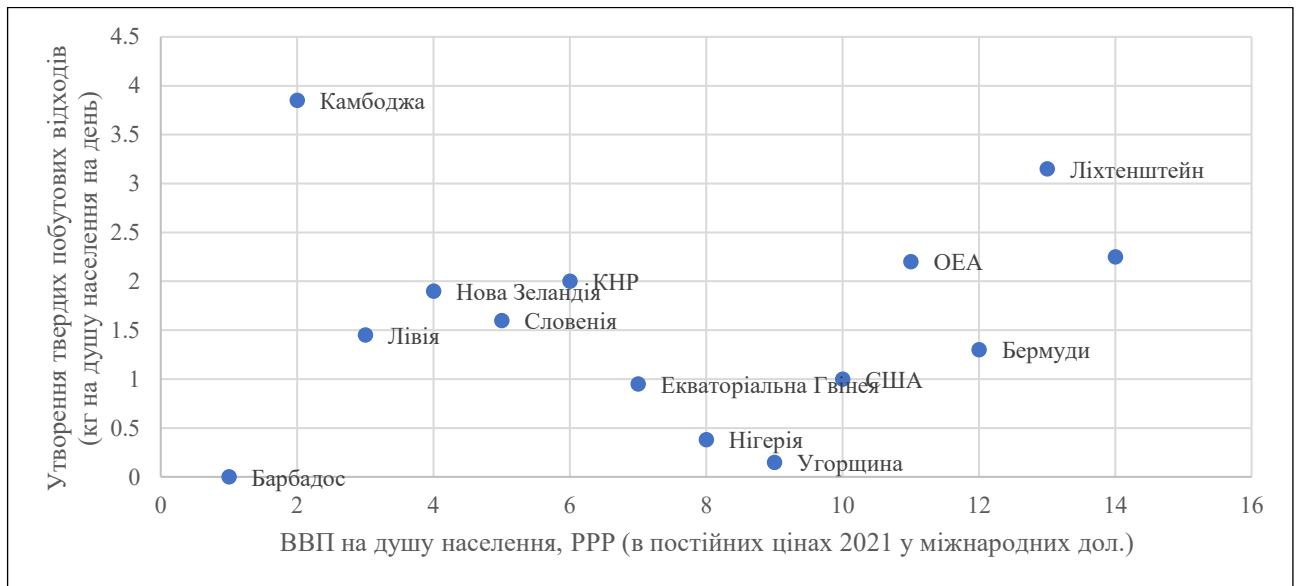


Рисунок 2.7 – Кореляція між утворенням відходів та ВВП на душу населення, ПКС

Джерело: побудовано за даними [91]

Утворення відходів також збільшується з урбанізацією. Країни з високим рівнем доходу зазвичай мають вищий рівень урбанізації та генерують більше відходів на душу населення (рис. 2.8).

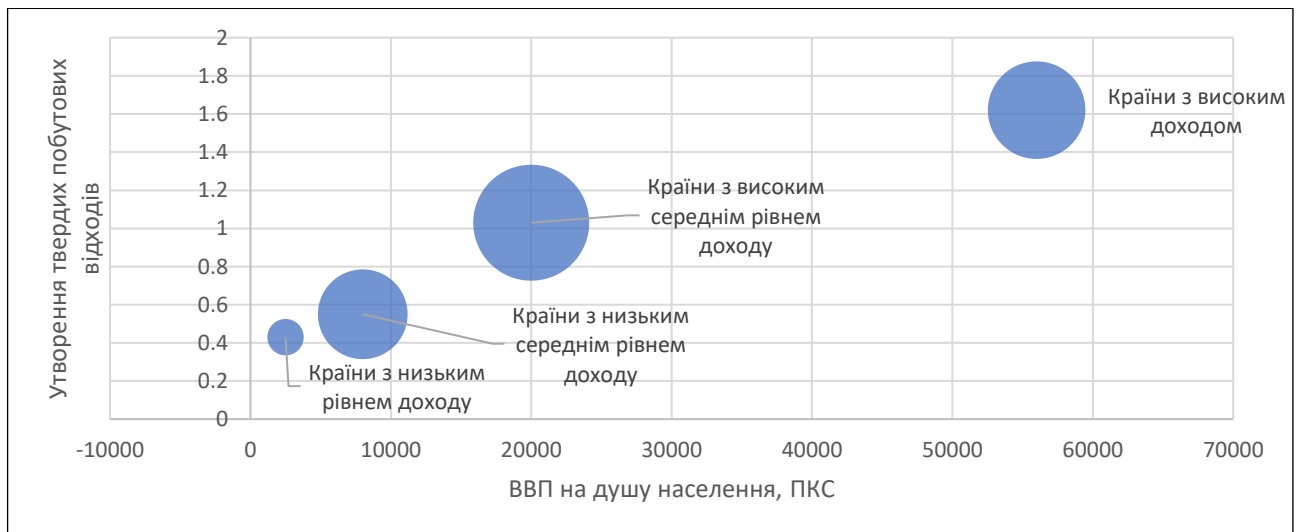


Рисунок 2.8 – Утворення відходів та ВВП на душу населення, ПКС, за групами доходів, 2022 р.

Джерело: побудовано за даними [91]

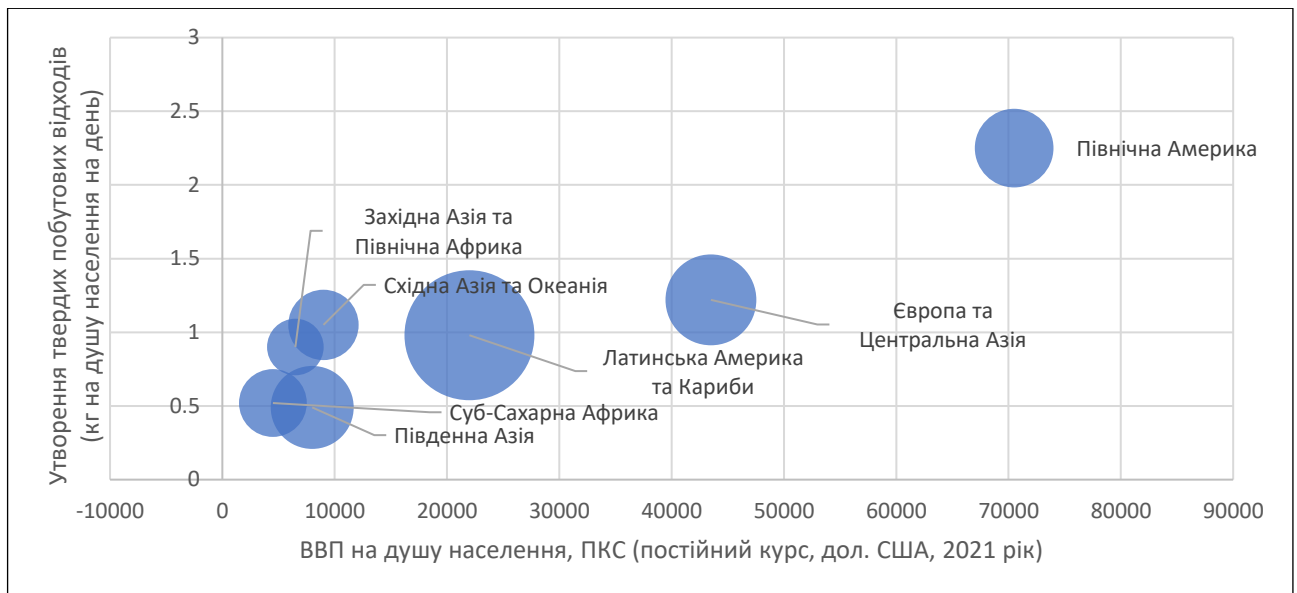


Рисунок 2.9 – Утворення відходів та ВВП на душу населення, ПКС за регіонами, 2022 р.

Джерело: побудовано за даними [91]

За даними Групи Світового банку, на регіональному рівні Північна Америка генерує приблизно 2,25 кг на душу населення на день з найвищим рівнем урбанізації 82,6 %, тоді як Південна Азія генерує 0,52 кг на душу населення на день (рис. 2.10) з рівнем урбанізації 36,6 % [220].

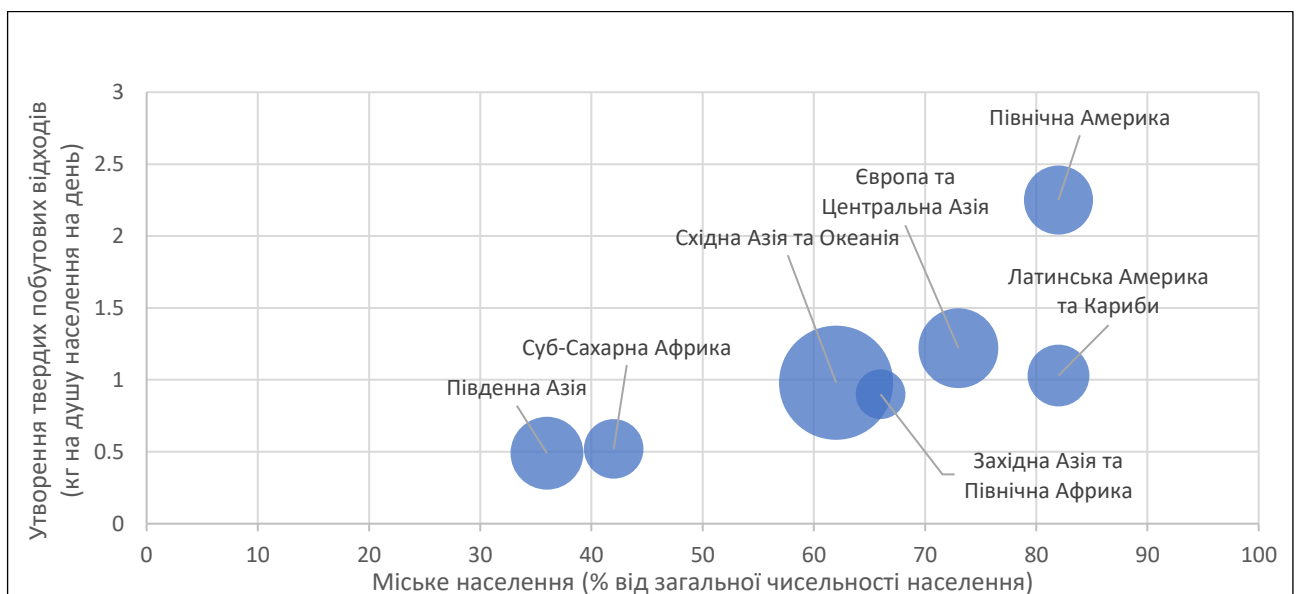


Рисунок 2.10 – Утворення відходів та міське населення за регіонами світу, 2022 р.

Джерело: побудовано за даними [219]

За прогнозами Групи Світового банку, не очікується, що загальний обсяг утворення відходів суттєво зміниться у країнах з високим рівнем доходу. Очікується, що у 2050 р. буде утворено трохи більше 137 млн тонн додаткових відходів, порівняно з 2022 р. (рис. 2.11). Хоча країни з низьким рівнем доходу мають лише невелику кількість відходів, порівняно з рештою світу, очікується, що до 2050 р. їх утворення відходів зросте на 128 %, що є найшвидшим показником серед усіх груп і зумовлене зростанням населення та багатства. В абсолютному вираженні найбільше зростання спостерігається в країнах з рівнем доходу вище середнього та нижче середнього, де очікується, що у 2050 р. буде утворено понад 1 млрд тонн додаткових твердих побутових відходів, порівняно з рівнями 2022 р.

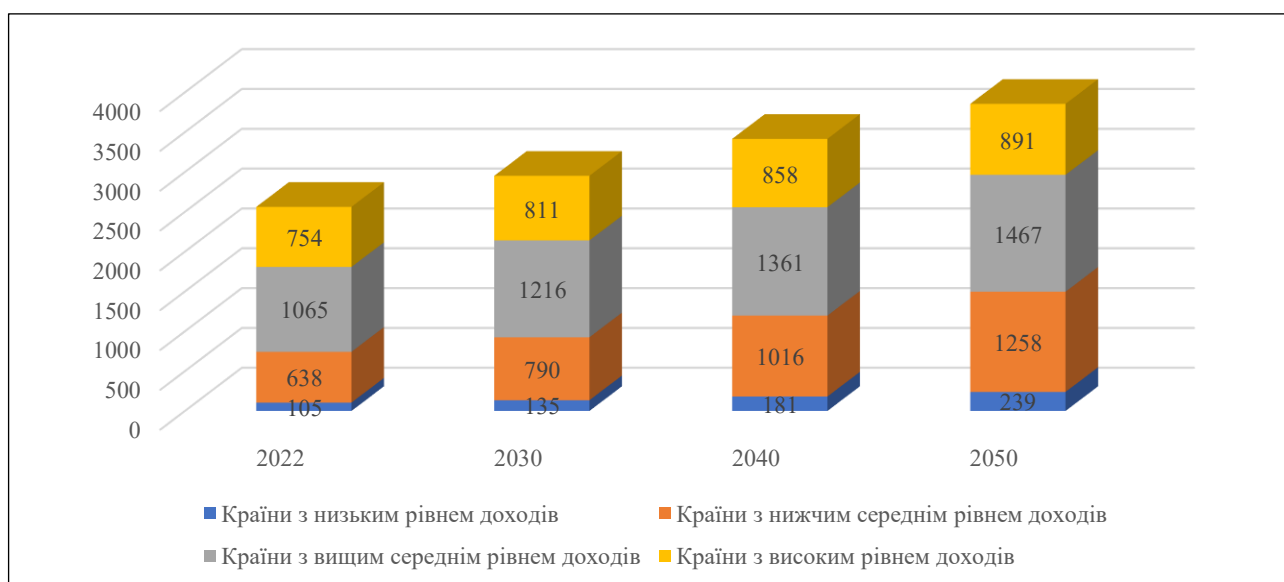


Рисунок 2.11 – Прогнозоване утворення відходів за групами країн за рівнем доходів

Джерело: побудовано за даними [219]

Однак очікується, що в розрахунку на душу населення утворення відходів у країнах з низьким рівнем доходу зросте на 21 %, тоді як у країнах з рівнем доходу нижче середнього та вище середнього воно зросте на 51 % та 37 % на душу населення відповідно (рис. 2.12). Очікується, що в країнах з високим рівнем доходу воно зросте найменше в розрахунку на душу населення – на 14 %, порівняно з середнім світовим показником зростання на душу населення у 25 % [219].

Значна частина зростання світового утворення відходів протягом наступних десятиліть відбудеться в країнах Африки на південь від Сахари, де воно збільшиться приблизно з 230 млн тонн до понад 0,5 млрд тонн до 2050 р. (рис. 2.13). Це зростання значною мірою зумовлене зростанням населення, оскільки зростання на душу населення в регіоні Африки на південь від Сахари становить 26 % за той самий період (рис. 2.14). Очікується, що в регіонах Південної Азії та Близького Сходу, а також Північної Африки абсолютна кількість утворених відходів збільшиться на 99 % та 85 % відповідно [219].

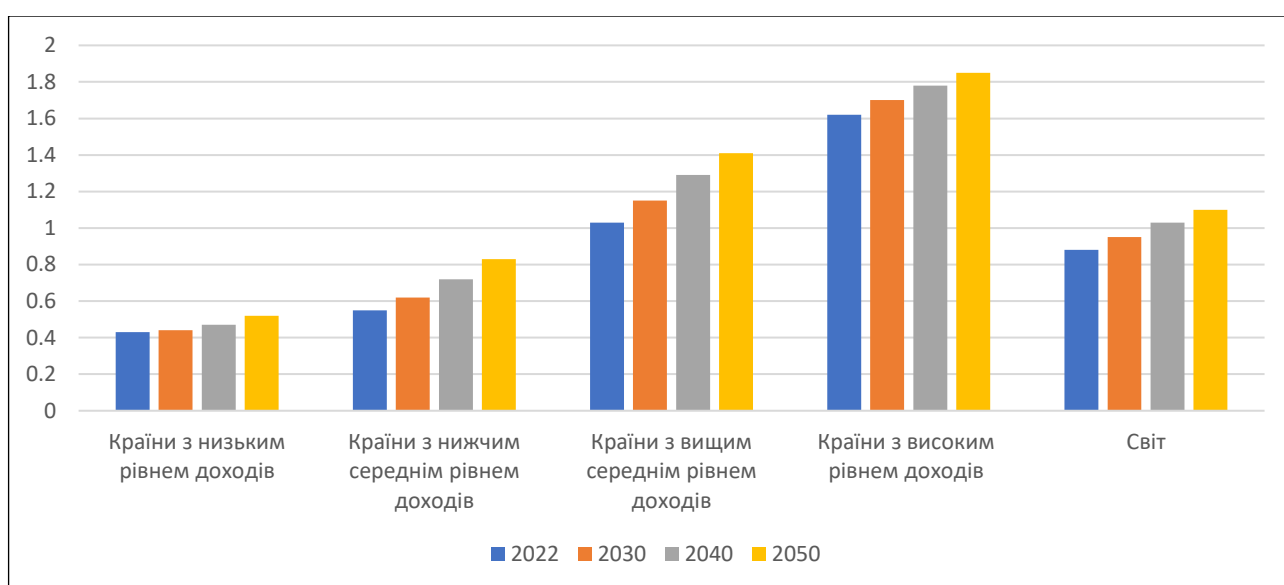


Рисунок 2.12 – Прогнозоване утворення відходів на душу населення на день
Джерело: побудовано за даними [219]

Склад відходів стосується категоризації різних типів матеріалів, що містяться в твердих побутових відходах. Аналіз для категоризації відходів зазвичай проводиться за допомогою стандартного аудиту відходів, де зразки відходів збираються з джерела утворення або місць їх захоронення, класифікуються на заздалегідь визначені групи, а потім зважуються.

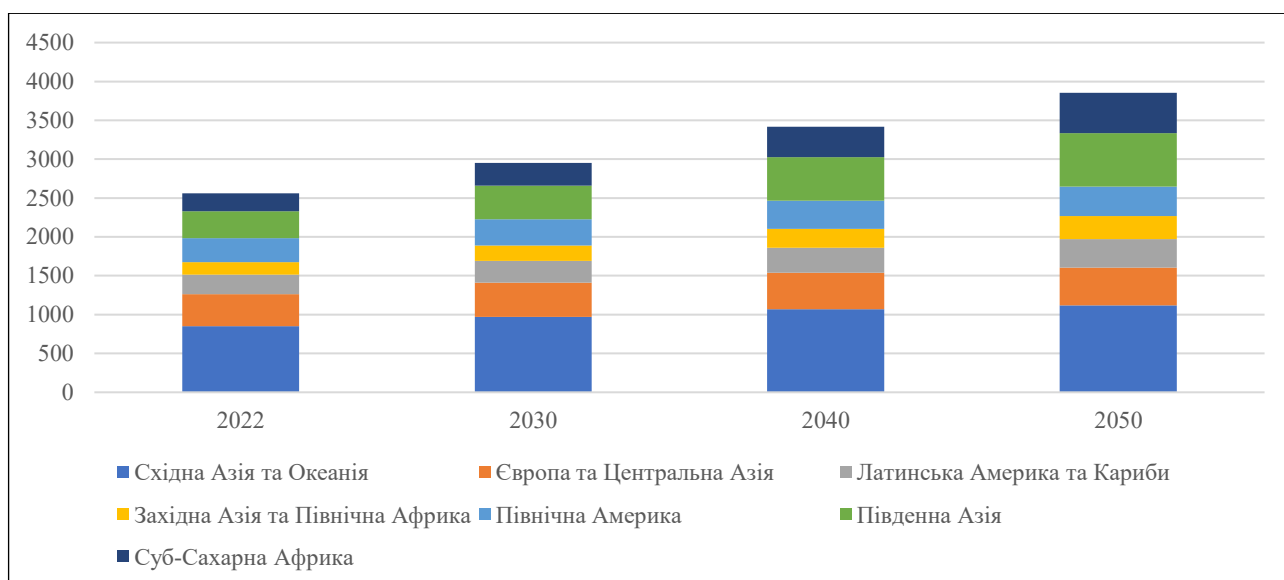


Рисунок 2.13 – Прогнозоване утворення відходів за регіонами

Джерело: побудовано за даними [219]

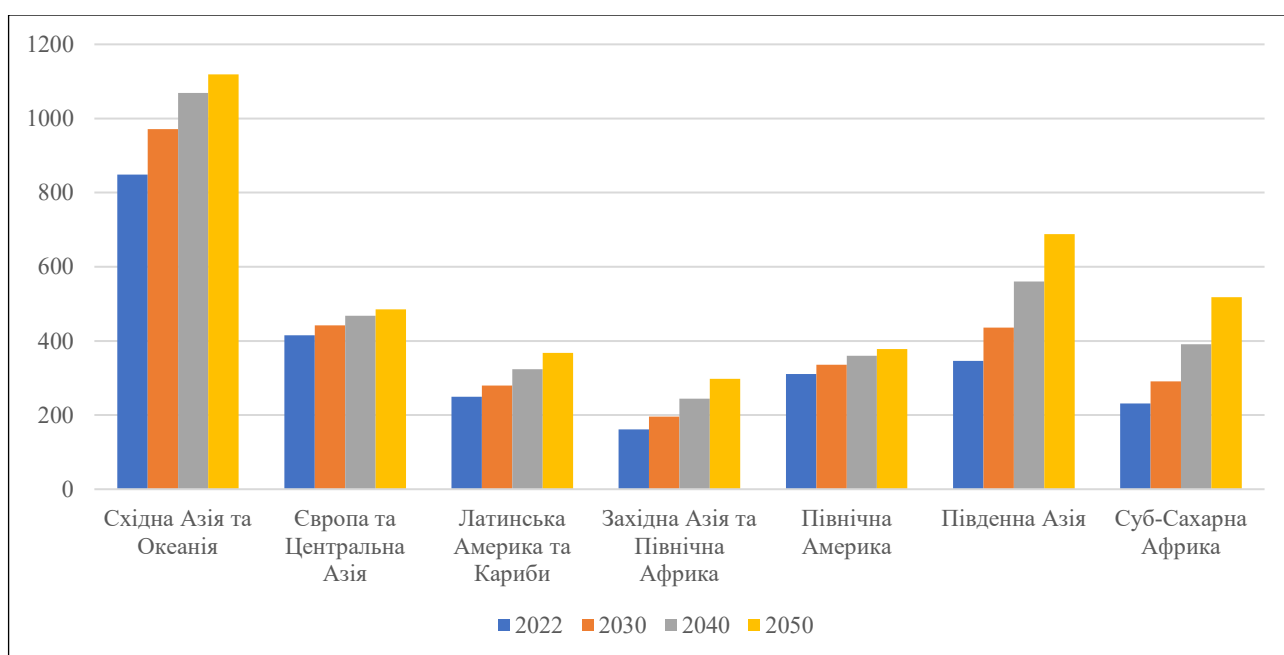


Рисунок 2.14 – Прогнозоване утворення відходів на душу населення на день за регіонами світу

Джерело: побудовано за даними [219]

На міжнародному рівні найбільшою категорією відходів є харчові відходи, які складають 38 % світових відходів (рис. 2.15). Інженерні матеріали – пластик, папір і картон, метал і скло – становлять ще 34 % відходів.

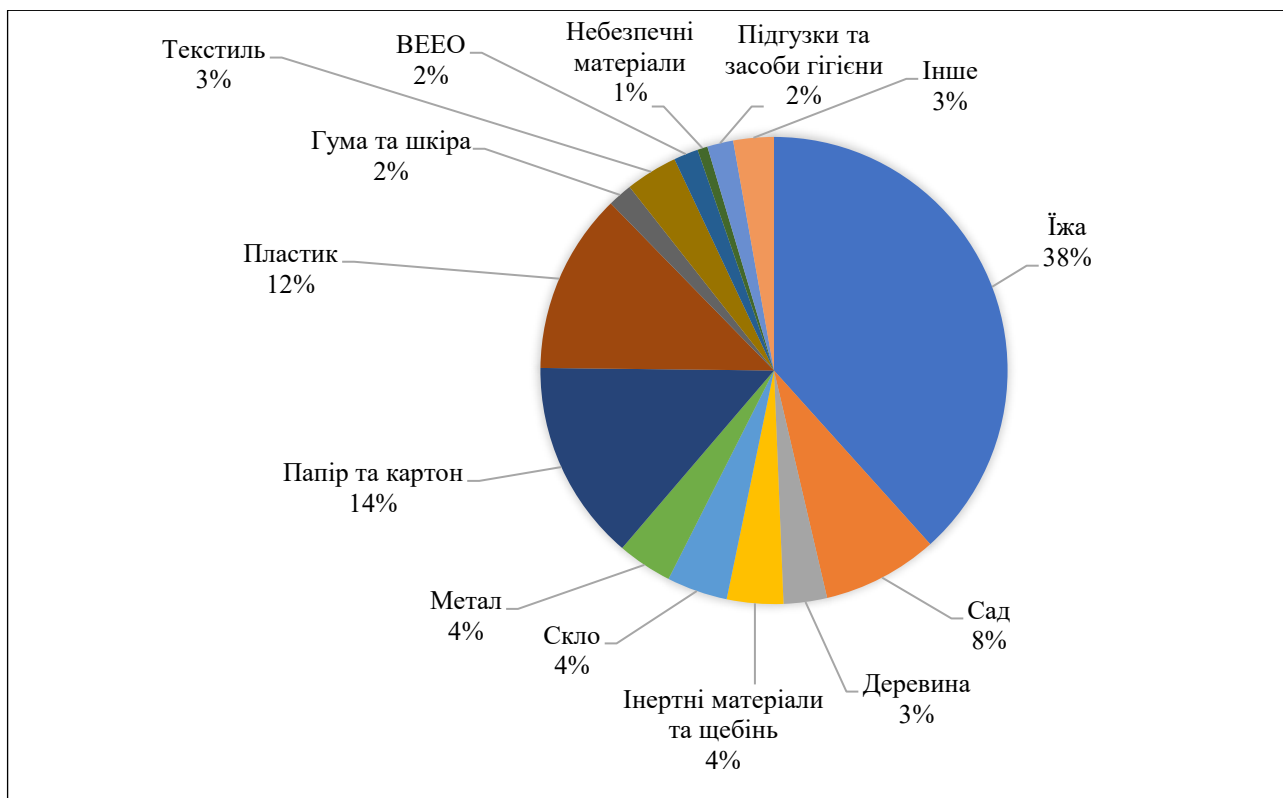


Рисунок 2.15 – Глобальний склад відходів

Джерело: побудовано за даними [219]

**БЕЕО – це відходи електричного та електронного обладнання, тобто використана або непридатна електротехніка й електроніка, що підлягає збору, переробці та рециклінгу.*

Зі зростанням рівня доходів частка органічних – харчових та садових – речовин у побутових відходах зменшується, тоді як частка деяких інженерних матеріалів зростає (рис. 2.16–2.19). Однак країни з рівнем доходу вище середнього демонструють дещо вищу частку органічних речовин, порівняно з країнами з рівнем доходу нижче середнього. Зокрема, вони мають вищу частку харчових та садових відходів – 53,7 % за вагою, порівняно з 46,6 % в країнах з рівнем доходу нижче середнього та 52,0 % в країнах з низьким рівнем доходу – та нижчу частку інженерних матеріалів. Ця тенденція значною мірою зумовлена складом відходів у Китаї, який характеризується високим вмістом органічних речовин через культурні фактори. Оскільки на Китай припадає більшість відходів, що утворюються в групі з рівнем доходу вище середнього, його вплив є значним. Без Китаю сукупна частка харчових та садових відходів у цій групі доходів становила б приблизно 46 %.

До того ж деталізація даних про склад відходів, як-от конкретна кількість гумових та деревних відходів, збільшується з вищим рівнем доходу.

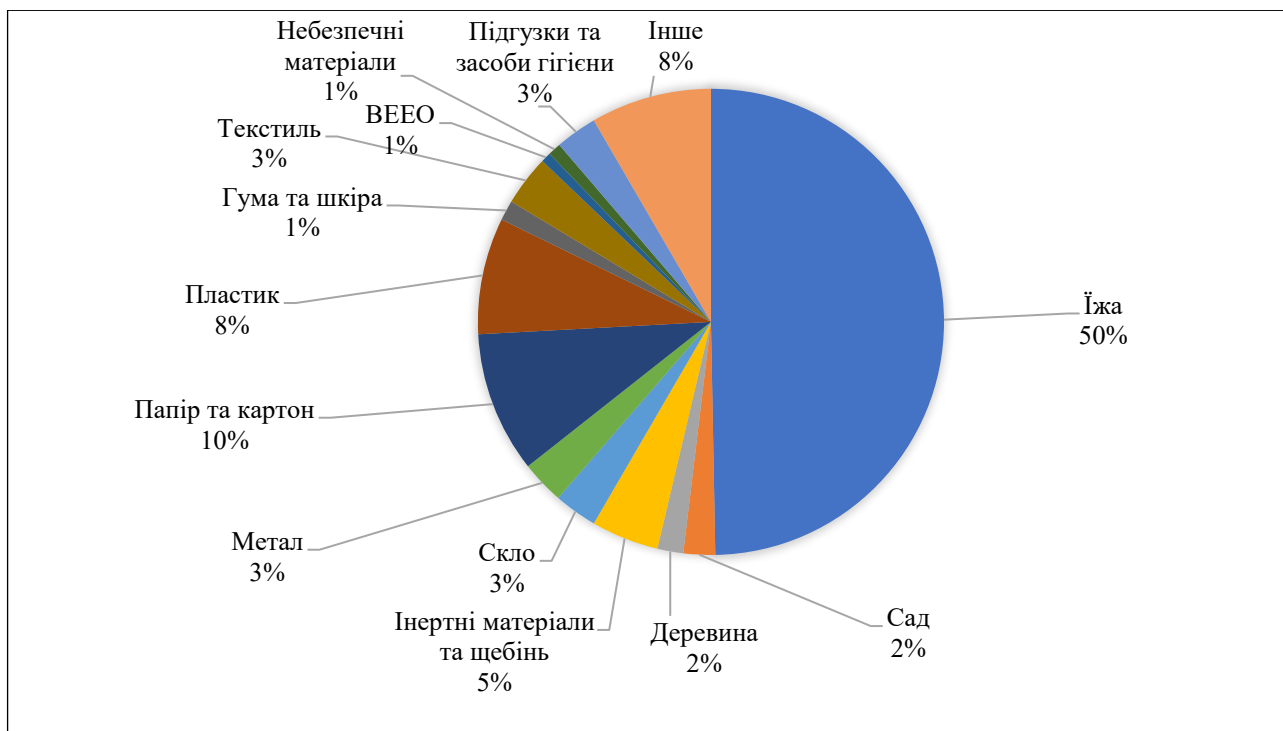


Рисунок 2.16 – Склад твердих побутових відходів у країнах з низьким рівнем доходів

Джерело: побудовано за даними [219]

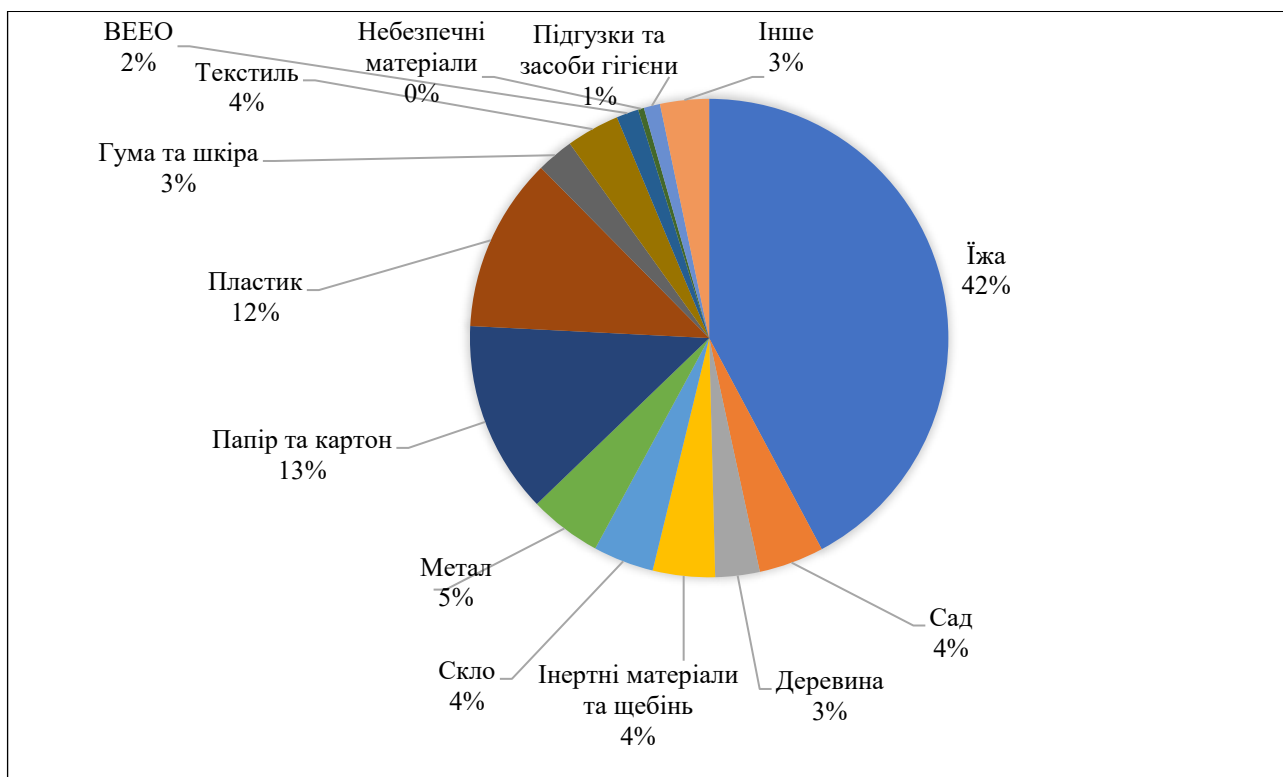


Рисунок 2.17 – Склад твердих побутових відходів у країнах з нижчим середнім рівнем доходів

Джерело: побудовано за даними [219]

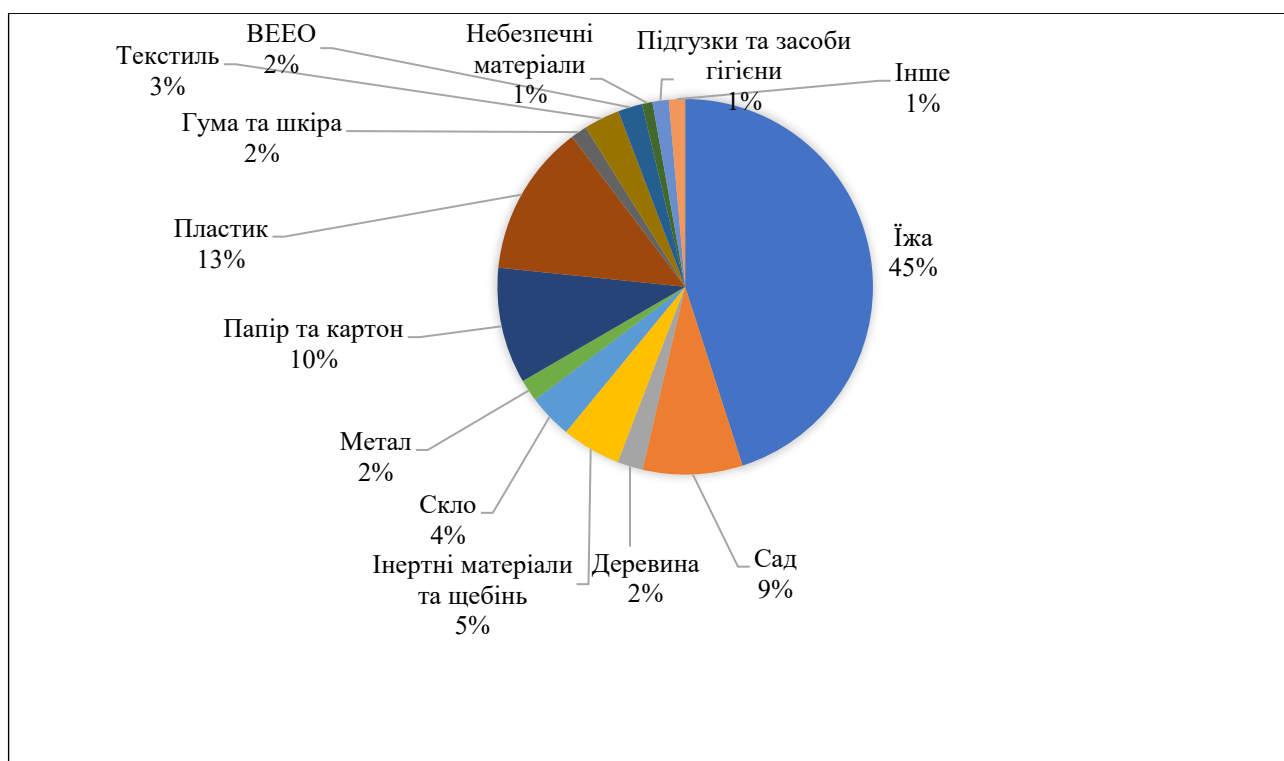


Рисунок 2.18 – Склад твердих побутових відходів у країнах з вищим середнім рівнем доходів

Джерело: побудовано за даними [219]

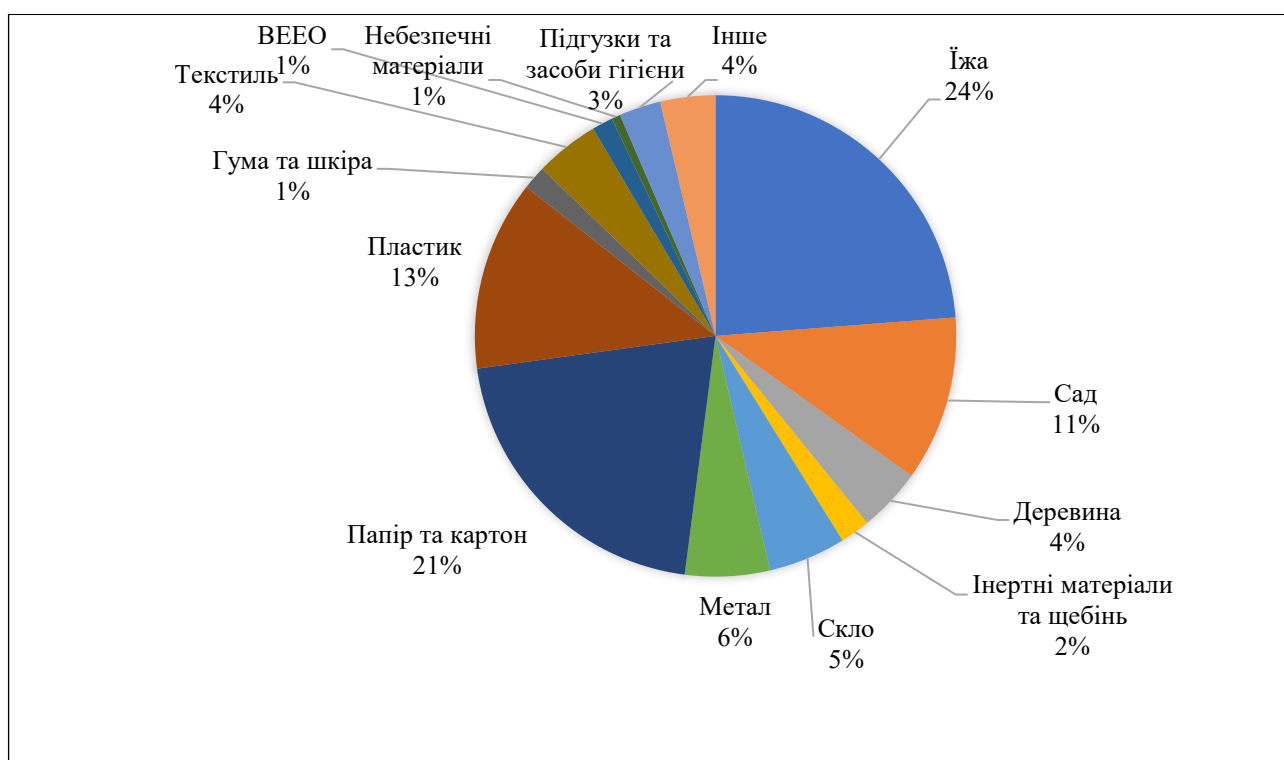


Рисунок 2.19 – Склад твердих побутових відходів у країнах з високим рівнем доходів

Джерело: побудовано за даними [219]

У всьому світі використовується різноманітний підхід до управління для збору та транспортування утворених відходів для обробки.

Однією з поширених форм збору відходів є збір відходів біля тротуару, коли вантажівки, невеликі транспортні засоби, а в обмежених умовах ручні візки або віслиюки збирають відходи з домогосподарств із заданою частотою. У деяких районах мешканці складають відходи в комунальні контейнери або пункти збору, які потім збирає муніципалітет. У регіонах із менш частим збором громади можуть отримувати сповіщення дзвінком або іншим сигналом про прибуття транспортного засобу для збору. Окрім офіційного збору, у багатьох регіонах є неофіційні збирачі відходів. Ці суб'єкти не працюють у муніципалітеті, але можуть збирати певні види відходів для продажу переробникам, переробляти їх або використовувати для повторного використання. У деяких регіонах неофіційний збір може мати значний вплив на відсоток зібраних побутових відходів загалом.

Різниця в показниках збору побутових відходів залежить від рівня доходу країни (рис. 2.20–2.21). Показники збору відходів у країнах з високим рівнем доходу становлять приблизно 100 %, а в Північній Америці вони, як повідомляється, становлять 100 %.

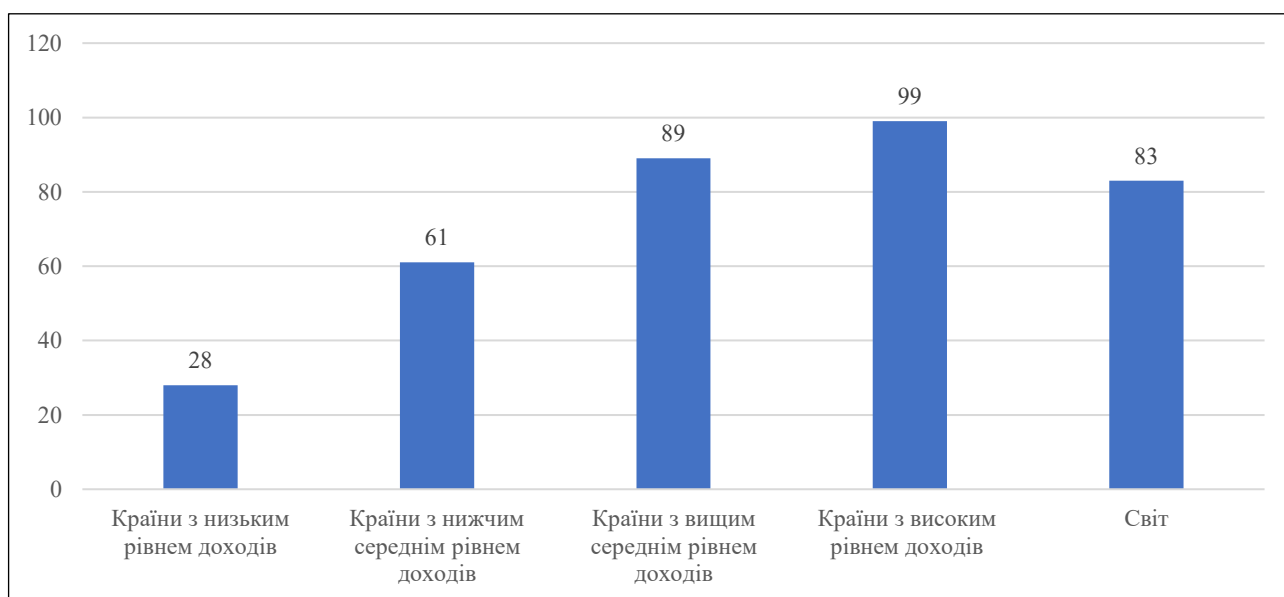


Рисунок 2.20 – Частка твердих побутових відходів, що утилізуються на контрольованих об'єктах, за групами країн

Джерело: побудовано за даними [219]

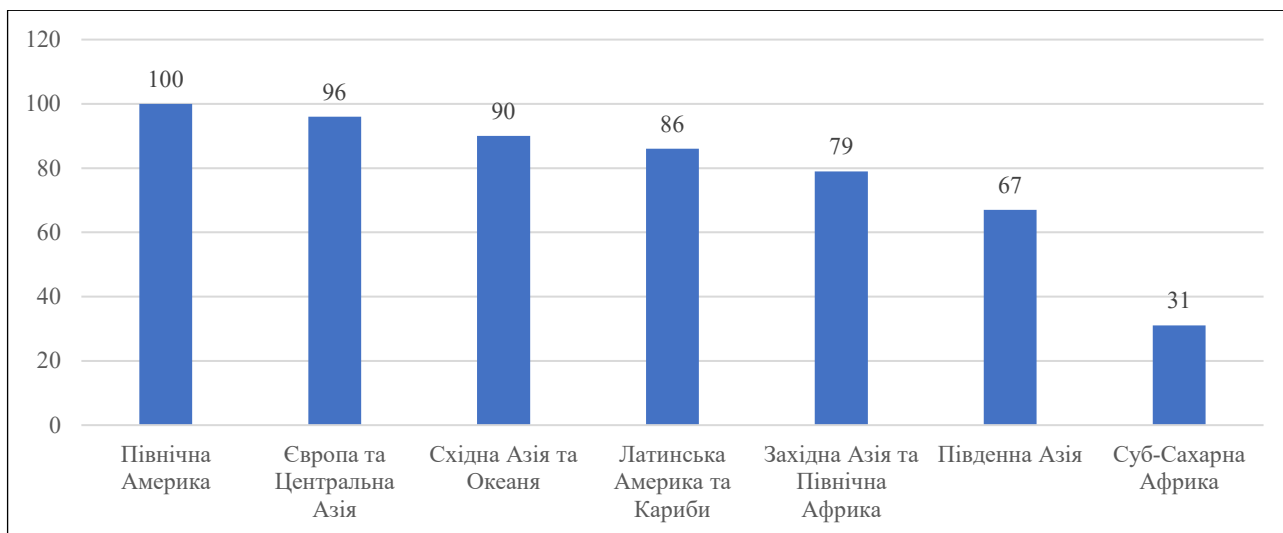


Рисунок 2.21 – Частка твердих побутових відходів, що утилізуються на контрольованих об'єктах, за регіонами світу

Джерело: побудовано за даними [219]

У країнах з рівнем доходу вище середнього рівень збору не сильно відстає і становить 89 %. Однак у країнах з рівнем доходу нижче середнього рівень збору становить приблизно 61 %, а в країнах з низьким рівнем доходу – приблизно 28 %. У країнах з низьким рівнем доходу незібрані відходи часто самостійно утилізуються домогосподарствами, і їх можна відкрито викидати на звалища, спалювати або, рідше, компостувати. Показники муніципального збору також різняться між регіонами, причому Південна Азія та Африка на південь від Сахари мають найнижчі показники збору серед усіх регіонів. В усіх інших регіонах показники збору близькі до 80 % або вище. Покращення послуг зі збору відходів є критичним кроком до зменшення забруднення.

Процеси обробки відходів спрямовані на зменшення кількості та небезпеки відходів, відновлення цінних ресурсів та забезпечення безпечної утилізації. У світовому масштабі сміттєзвалища – контрольовані або санітарні, згідно з класифікацією інструменту ООН «Міста, обізнані з питаннями відходів» (Waste Wise Cities Tool), – є найпоширенішим методом обробки відходів, причому 29 % побутових відходів утилізуються в такий спосіб [220]. Приблизно 21 % побутових відходів підлягає вторинній обробці шляхом переробки, компостування та анаеробного зброджування, а 20 % обробляються за допомогою сучасного спалювання.

Майже третина відходів взагалі не обробляється, або відкрито викидається, або взагалі не збирається.

Харчові відходи становлять серйозну глобальну проблему, складаючи найбільшу частку твердих побутових відходів у всіх регіонах та групах доходів. Незважаючи на свою поширеність, харчові відходи не завжди в належний спосіб збираються або обробляються. Найпоширеніший спосіб обробки твердих побутових відходів – відкрите скидання або утилізація на звалищах без управління звалищним газом – призводить до викидів метану з харчових відходів, що суттєво сприяє глобальним викидам парникових газів (ПГ). Цей вплив можна частково пом'якшити, якщо харчові відходи утилізувати на санітарних звалищах, обладнаних системами уловлювання газу. Найбільш сталими варіантами обробки харчових відходів є компостування та анаеробне розкладання, які зменшують викиди метану та відновлюють цінні ресурси. Однак у світі лише 6 % побутових відходів управляється шляхом компостування або анаеробного розкладання (рис. 2.22). Ця частка варіюється залежно від групи доходів, причому 13 % зібраних відходів обробляються шляхом компостування або анаеробного розкладання в країнах з високим рівнем доходу, порівняно з лише 0,04 % в країнах з низьким рівнем доходу (рисунок 2.23–2.24).

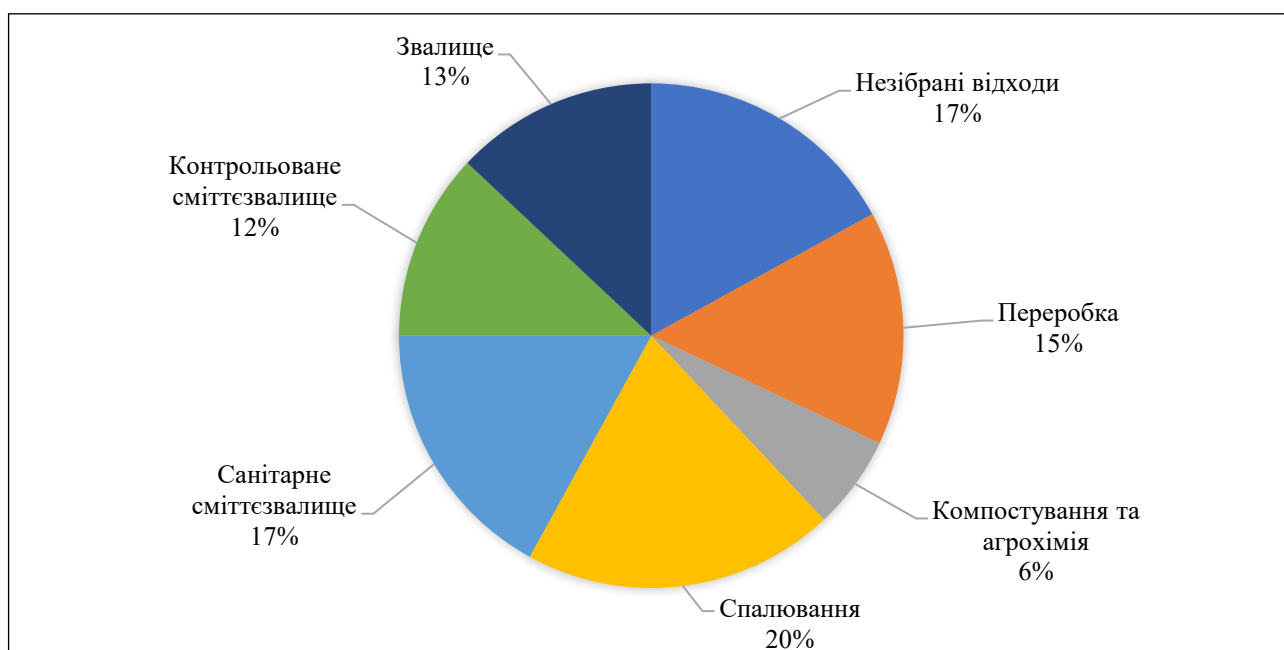


Рисунок 2.22 – Глобальна обробка та утилізація твердих побутових відходів

Джерело: побудовано за даними [219]

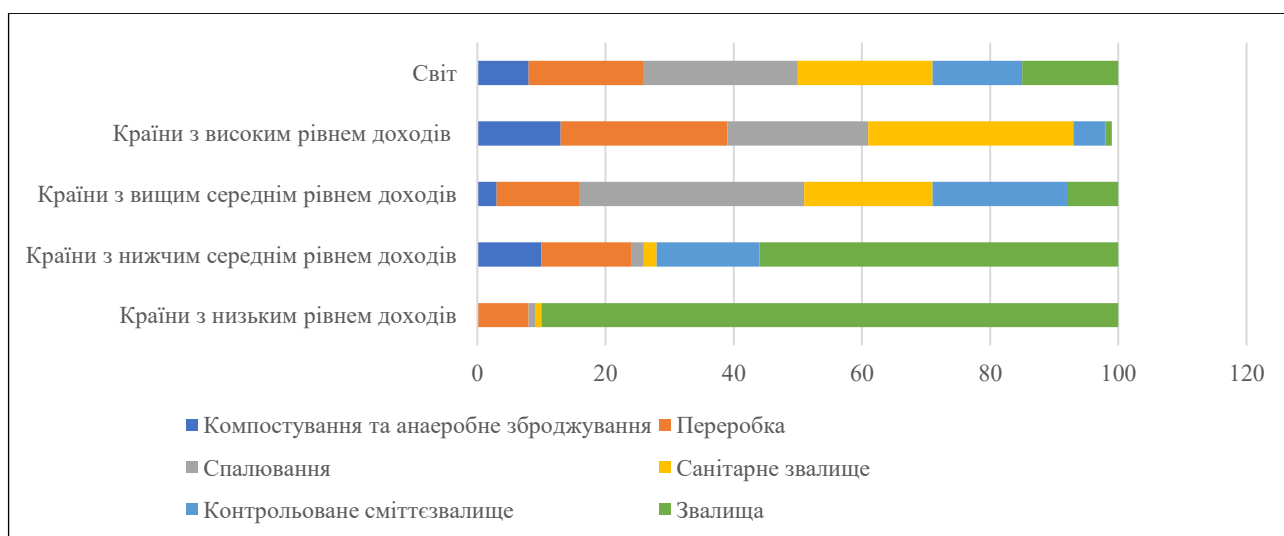


Рисунок 2.23 – Обробка та утилізація зібраних твердих побутових відходів за групами країн

Джерело: побудовано за даними [219]

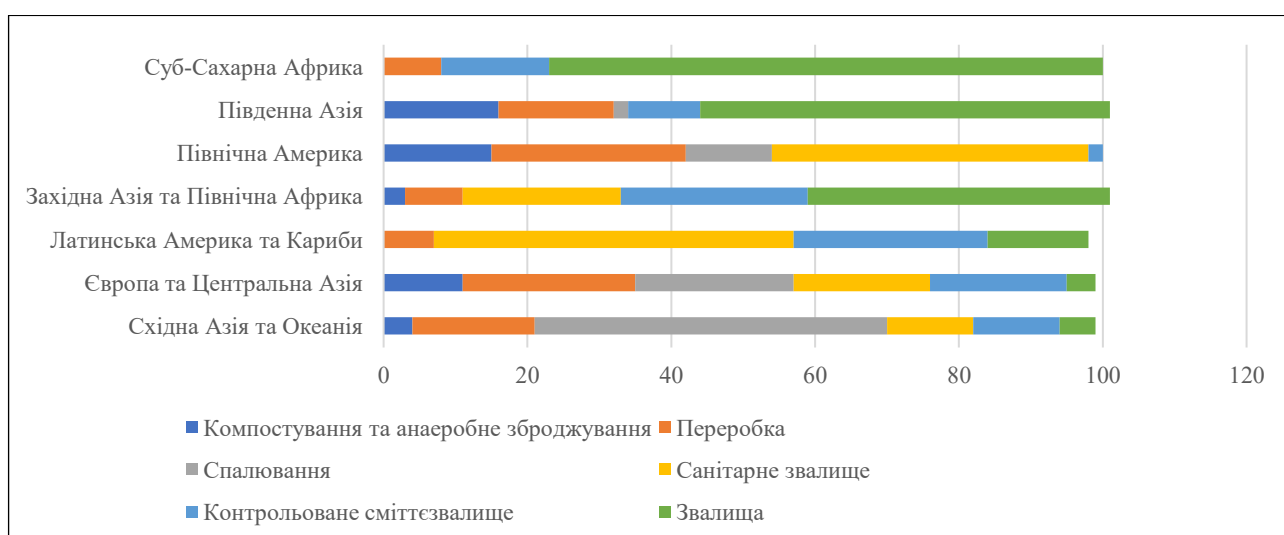


Рисунок 2.24 – Обробка та утилізація зібраних твердих побутових відходів за регіонами світу

Джерело: побудовано за даними [219]

Практика утилізації відходів значно відрізняється залежно від групи доходу та регіону (рис. 2.25–2.26). Відкрите звалення більш поширене в країнах з низьким рівнем доходу, де спеціально обладнані сміттєзвалища або недоступні, або працюють на понаднормову потужність. У країнах з низьким рівнем доходу приблизно 90 % офіційно зібраних твердих побутових відходів утилізується на

сміттєзвалищах, які мають обмежений або відсутній екологічний контроль. У країнах Африки на південь від Сахари 77 % зібраних побутових відходів відправляється на сміттєзвалища, тоді як у Південній Азії цей показник становить 57 %. Ці два регіони, які значною мірою залежать від сміттєзвалищ, також є одними з тих, що найшвидше зростають у світі за утворенням відходів.

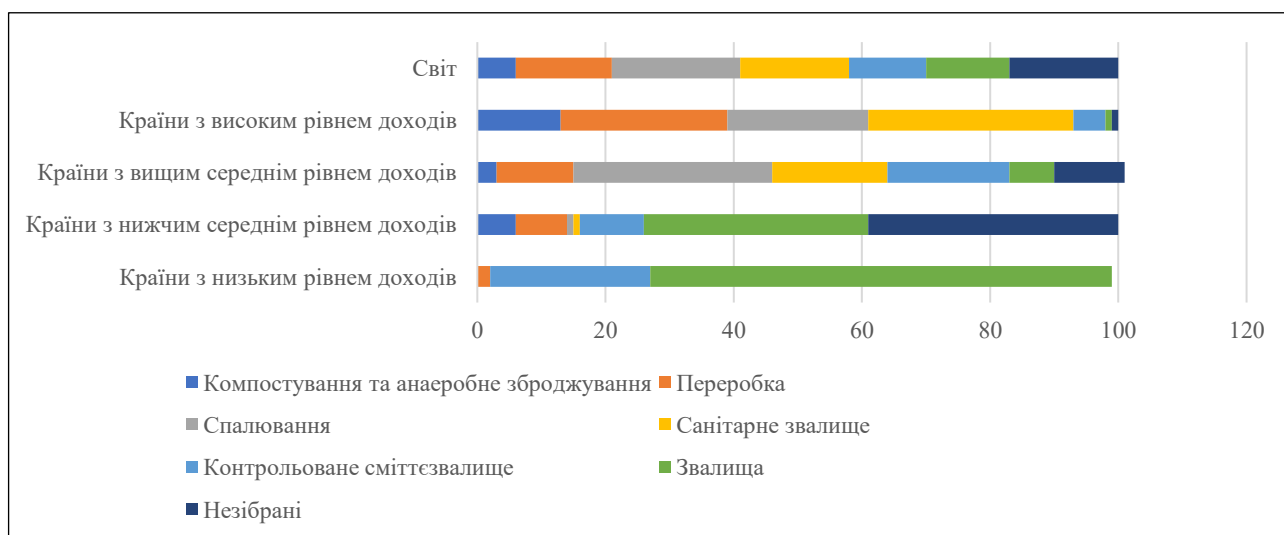


Рисунок 2.25 – Обробка, утилізація та незібрані тверді побутові відходи за групами країн

Джерело: побудовано за даними [219]

Методи сталого управління відходами та їх обробки стають дедалі поширенішими зі зростанням рівня національного доходу. Країни з вищим рівнем доходу зазвичай досягають покращених показників збору відходів та більшої залежності від контрольованих і санітарних сміттєзвалищ, що є першим кроком до більш стійких систем. Спалювання з рекуперацією енергії також стає більш поширеним зі зростанням рівня доходу; у країнах з рівнем доходу вище середнього майже третина побутових відходів спалюється (рис. 2.23). У країнах з високим рівнем доходу, навпаки, рівень спалювання знижується до 22 %, оскільки акцент зміщується на рекуперацію матеріалів. Переробка та компостування, включно з анаеробним розкладанням органічних речовин, є пріоритетними, на які сукупно припадає майже 40 % побутових відходів, що відображає більш сталий та циклічний підхід, ніж одноразова рекуперація енергії шляхом спалювання.

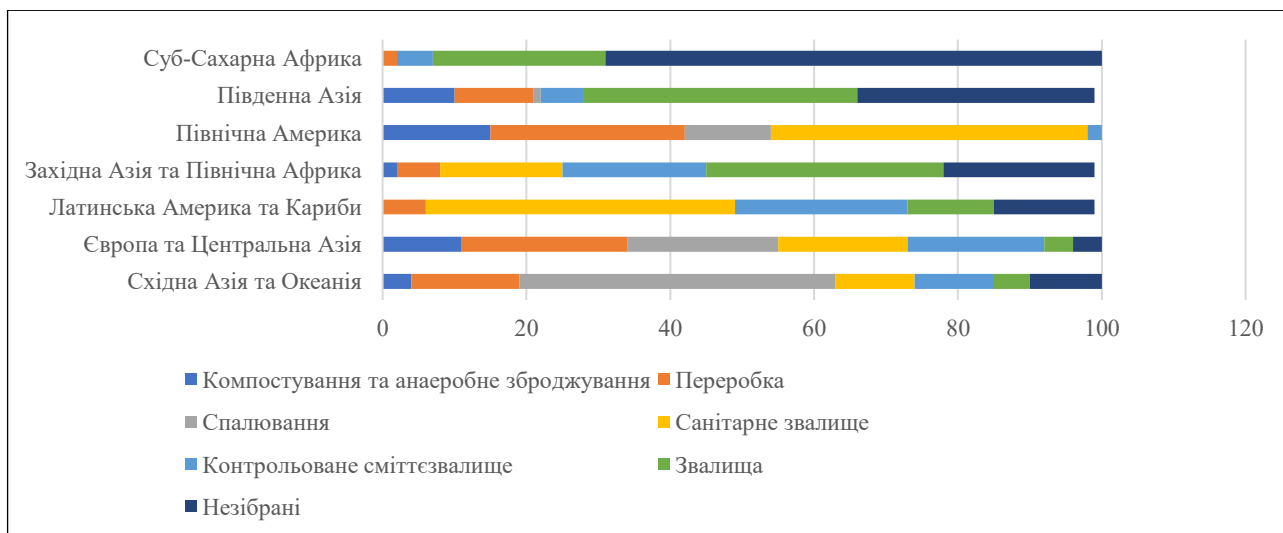


Рисунок 2.26 – Обробка, утилізація та незібрані тверді побутові відходи за регіонами світу

Джерело: побудовано за даними [219]

Офіційна звітність щодо самостійного управління незібраними відходами обмежена, тому, як зазначає Група Світового банку, тенденції важко визначити [219]. Найпоширенішими методами управління незібраними відходами є спалювання та скидання на землю для груп з низьким рівнем доходу, з доходом нижче середнього та вище середнього. Відкрите спалювання та переробка або компостування незібраних відходів є найпоширенішими методами управління відходами для країн з високим рівнем доходу. Інші методи поводження з незібраними відходами включають захоронення та скидання у водні шляхи.

2.2. Динаміка формування моделі управління відходами в Україні

Накопичення значних обсягів відходів посилює навантаження на екосистему та окремі складники потенціалу країни та її територій. Найбільшого негативного впливу зазнають земельні та людські ресурси. Збільшення кількості відходів у розрахунку на одного мешканця супроводжується зростанням соціального дискомфорту та підвищенням ризиків для здоров'я населення. Накопичення відходів на земельних ділянках, особливо несанкціонованих сміттєзвалищах, сприяє загостренню дефіциту земельних ресурсів, до того ж потрапляння

шкідливих речовин від відходів у ґрунтові шари призводить до істотного погіршення якісного стану ґрунтів.

Як зазначають у своїй праці І. Зварич та Д. Корнієнко, «до повномасштабного вторгнення сектор відходів України був одним з найменш ефективних у Європі. Понад 90 % твердих побутових відходів (ТПВ) відправлялося на звалища та несанкціоновані сміттєзвалища. Перероблялося лише 3–8 % ТПВ, порівняно з метою ЄС у 60 %. В Україні є понад 6 000 офіційних звалищ, що охоплюють від 10 000 до 167 000 гектарів, більшість з яких не відповідають екологічним стандартам ЄС. Інтенсивність відходів ВВП України зростає, що свідчить про брак значних інвестицій у ресурсоефективні технології. Російське вторгнення призвело до величезного обсягу “воєнних уламків” – відходів руйнування, що включають бетон, цеглу, метал та небезпечні речовини, такі як азбест. Прямі збитки будівлям та інфраструктурі досягли 176 мільярдів доларів США... Вартість очищення та управління сміттям оцінюється в 13 мільярдів євро» [5].

Основні показники утворення та поводження з відходами в Україні в динаміці за 1995–2020 рр. наведено на рис. 2.27–2.28.

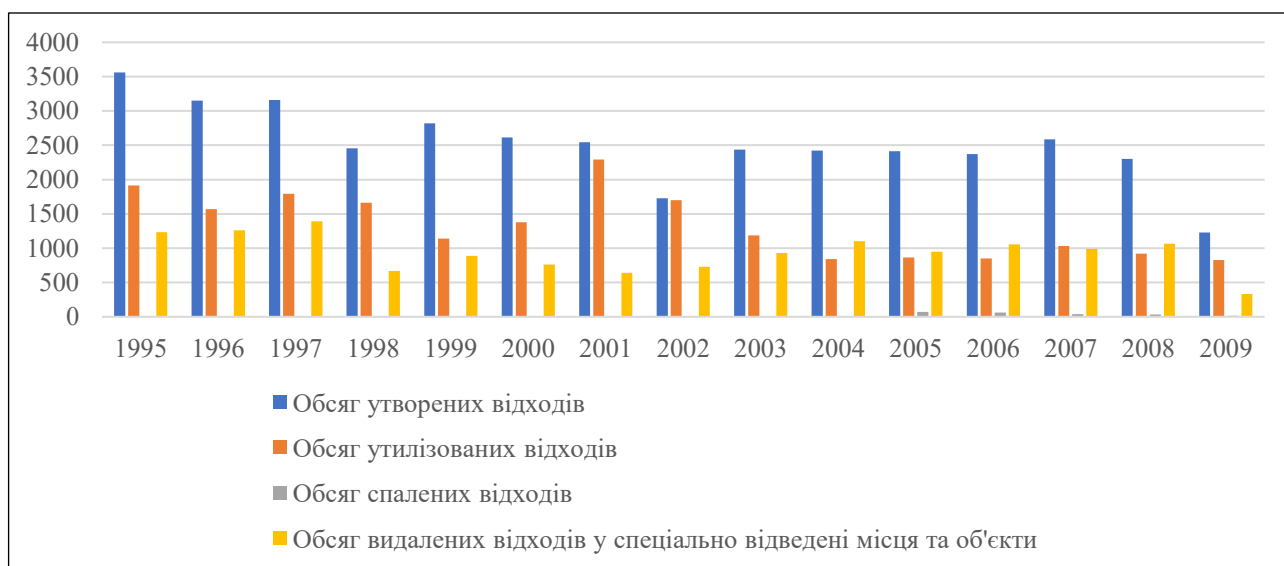


Рисунок 2.27 – Утворення та поводження з відходами за 1995–2009 рр.
(дані щодо відходів I–III класів небезпеки від економічної діяльності підприємств та організацій)

Джерело: побудовано автором за даними Держстату [22]

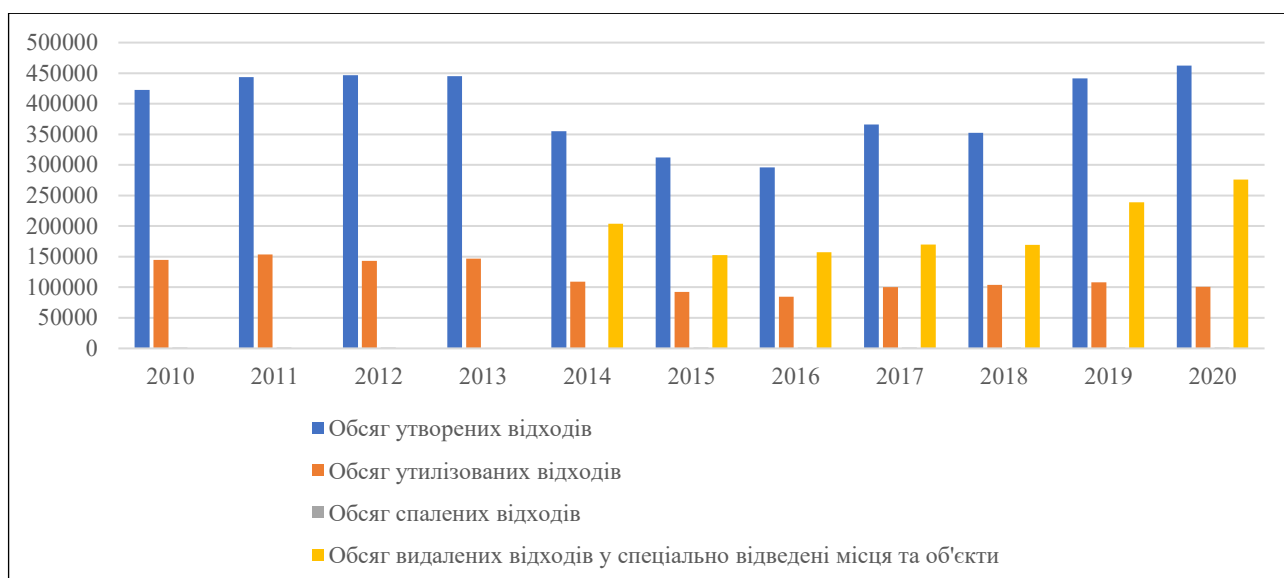


Рисунок 2.28 – Утворення та поводження з відходами за 2010–2020 рр.
(з 2010 р. дані щодо відходів від економічної діяльності підприємств та організацій включають відходи I–IV класів небезпеки, з урахуванням відходів, утворених у домогосподарствах)

Джерело: побудовано автором за даними Держстату [22]

Межа статистичного ряду на рівні 2020 р. обумовлена необхідністю забезпечення коректності міжчасових порівнянь. Починаючи з 2022 р., статистичне спостереження за утворенням та поводженням з відходами здійснюється в умовах повномасштабної війни та не охоплює тимчасово окуповані Російською Федерацією території та частину територій, на яких ведуться (велися) бойові дії.

Водночас наявні статистичні дані за 2024 р. дають змогу використовувати їх для характеристики сучасного стану та структурних особливостей утворення відходів і тому використовуються далі в дослідженні, зокрема в розрізі видів економічної діяльності за КВЕД. Такий підхід дає змогу розмежувати аналіз довгострокових структурних тенденцій та оцінювання сучасної ситуації, сформованої під впливом воєнних, територіальних та економічних факторів.

Рис. 2.27 відображає динаміку формування відходів та основні напрями поводження з ними в Україні протягом трансформаційних економічних процесів. За досліджуваний період спостерігаються значні коливання обсягів утворення відходів, що були зумовлені змінами у структурі промислового виробництва, економічними кризами та нерівномірністю розвитку окремих галузей. Причому

обсяги утилізації та переробки залишалися недостатніми, порівняно із загальними масштабами утворення відходів, що свідчить про домінування екстенсивної моделі поводження з ними. Значна частина відходів накопичувалася на полігонах та у сховищах, посилюючи антропогенне навантаження на довкілля і ресурсний потенціал територій.

Варто зазначити, що у 1995–2009 рр. статистичні дані охоплюють лише відходи I–III класів небезпеки, утворені внаслідок економічної діяльності підприємств та організацій, що необхідно враховувати під час порівняльного аналізу динаміки показників.

Рис. 2.28 характеризує сучасні тенденції у сфері управління відходами та поступову трансформацію підходів до їх поводження. Упродовж цього періоду спостерігається тенденція до скорочення загальних обсягів утворення відходів, що частково пояснюється структурними змінами в економіці, спадом промислового виробництва в окремі роки та підвищенням уваги до екологічних аспектів господарської діяльності. Одночасно спостерігається зростання обсягів утилізації та повторного використання відходів, хоча їх частка все ще залишається недостатньою для переходу до повноцінної циркулярної економіки. Графік також засвідчує збереження значних обсягів захоронення відходів, що вказує на наявність системних проблем у сфері управління відходами та необхідність розвитку сучасної інфраструктури рецикінгу, впровадження зелених технологій і стимулювання формування зелених ланцюгів доданої вартості. Варто також зазначити, що з 2010 р. статистичні дані формуються урахуванням відходів, утворених у домогосподарствах. Водночас різке падіння обсягів утворення відходів у 2014–2016 рр. пов'язане й із тим, що з 2014 р. дані наведено без урахування частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях.

Табл. В1 Додатка В відображає динаміку утворення відходів від економічної діяльності та домогосподарств в Україні у 2010, 2015, 2020 та 2024 рр. Наведені дані свідчать про значні коливання обсягів утворення відходів та істотні структурні зміни у їх формуванні за видами економічної діяльності. Водночас під час інтерпретації динаміки необхідно враховувати зміни у статистичному охопленні

території України, особливо починаючи з 2022 р., що обмежує безпосередню зіставність окремих показників.

За даними Держстату, загальний обсяг утворення відходів у 2010 р. становив 425,9 млн тонн, у 2015 р. скоротився до 312,3 млн тонн, а у 2020 р. зріс до 462,4 млн тонн. У 2024 р. цей показник становив 238,3 млн тонн, що на 224,0 млн тонн (або приблизно на 48,5 %) менше, порівняно з 2020 р. Отже, після суттєвого зростання обсягів утворення відходів у 2020 р., у 2024 р. спостерігається їх різке скорочення. Проте це скорочення не можна однозначно трактувати як результат посилення запобігання утворенню та переробленню відходів, оскільки на статистичні показники істотно вплинули воєнні дії, тимчасова окупація частини територій, зупинка або скорочення діяльності підприємств та зміна територіального охоплення статистичного спостереження [22].

Найбільшим джерелом утворення відходів упродовж усього періоду залишалася добувна промисловість і розроблення кар'єрів. У 2020 р. на цю сферу припадало понад 391 млн тонн відходів (або приблизно 85 % загального обсягу). Особливо вагомою була частка відходів від видобування металевих руд, обсяги яких зросли з 267,5 млн тонн у 2010 р. до 366,9 млн тонн у 2020 р. [22]. Водночас, незважаючи на скорочення обсягу утворення відходів в абсолютних одиницях, які генерувалися добувною промисловістю та розробленням кар'єрів у 2024 р., їх частка залишалася в загальному обсязі утворення відходів надзвичайно високою і становила приблизно 91,4 %. Це підтверджує структурну залежність системи утворення відходів в Україні від ресурсомістких видів промислової діяльності.

Ключовим компонентом відходів добувної промисловості залишається добування металевих руд. Обсяг утворення відходів за цим видом діяльності зріс із 267,5 млн тонн у 2010 р. до 366,9 млн тонн у 2020 р., а у 2024 р. становив 206,6 млн тонн. Незважаючи на скорочення, порівняно з 2020 р., на добування металевих руд у 2024 р. припадало орієнтовно 86,6 % загального обсягу утворених відходів. Це свідчить про визначальний вплив гірничодобувного комплексу на формування відходів в Україні та водночас вказує на значний потенціал залучення

відходів видобування до процесів повторного використання, відновлення матеріалів і формування циркулярних виробничих ланцюгів.

Суттєві обсяги відходів також генерувала переробна промисловість. Після скорочення у 2015 р. до 31,0 млн тонн у 2020 р. обсяг відходів у цій галузі зріс до 52,3 млн тонн. У 2024 р. відбулося скорочення утворення відходів переробною промисловістю до 7,8 млн тонн (порівняно з 2020 р., воно становило 85,3 %). Найбільший внесок у формування відходів переробної промисловості традиційно забезпечувало металургійне виробництво, проте його показник також істотно зменшився – з 43,7 млн тонн у 2020 р. до 3,4 млн тонн у 2024 р. Скорочення обсягів відходів спостерігалось також у виробництві харчових продуктів – з 4,2 млн тонн у 2020 р. до 2,1 млн тонн у 2024 р., хімічних речовин і хімічної продукції – з 1,5 млн тонн до 0,6 млн тонн [22].

У сферах постачання електроенергії, газу та пари, а також водопостачання і поводження з відходами спостерігалось поступове зменшення обсягів утворення відходів – з 8,6 млн тонн у 2010 р. до 2,6 млн тонн у 2024 р. Натомість у сфері водопостачання, каналізації та поводження з відходами у 2024 р. зафіксовано певне збільшення показника – до 562,8 тис. тонн у 2024 р. (порівняно з 338,3 тис. тонн у 2020 р.). Зокрема, обсяг відходів від діяльності зі збирання, оброблення і видалення відходів та відновлення матеріалів зріс із 10,4 тис. тонн у 2020 р. до 113,1 тис. тонн у 2024 р. Це може свідчити про поступове відновлення та розширення окремих операцій у сфері поводження з відходами, хоча їх масштаби поки що залишаються незначними, порівняно з обсягами відходів, що формуються у добувній промисловості.

Окремої уваги заслуговує будівництво, де після надзвичайно низького показника 14,5 тис. тонн у 2020 р. обсяг утворення відходів у 2024 р. зріс до 654,6 тис. тонн. Така динаміка може бути пов'язана як із активізацією окремих будівельних і відновлюваних робіт, так і з процесами відновлення пошкодженої війною інфраструктури. Водночас зростання цього показника в перспективі посилюватиме потребу у створенні системи сортування, повторного використання та перероблення будівельних матеріалів.

Загалом наведені у табл. В1 Додатка В статистичні дані підтверджують, що структура утворення відходів в Україні залишається переважно промислово орієнтованою, а ключовими джерелами екологічного навантаження виступають добувна та металургійна галузі. Водночас різке скорочення загального обсягу утворення відходів, порівняно з 2020 р., значною мірою відображає не лише структурну трансформацію економіки, а й наслідки повномасштабної війни, скорочення або припинення діяльності підприємств на окремих територіях та зміну статистичного охоплення. Тому наведені показники доцільно розглядати не як прямий індикатор підвищення ефективності управління відходами, а як результати одночасної дії комплексу економічних і воєнних факторів.

Водночас структура утворення відходів свідчить про значний потенціал трансформації системи управління відходами на засадах циркулярної економіки. Насамперед це стосується гірничодобувної та металургійної промисловості, де концентрація значних обсягів відходів створює передумови для розвитку технологій їх повторного використання, вилучення вторинної сировини, промислового симбіозу та формування зелених ланцюгів створення доданої вартості.

Нами було проаналізовано залежність між Обсягом утворення відходів (Y) від Випуску товарів і послуг (X1) та Обсягом капітальних інвестицій (X2) (вихідні дані представлено у табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Вихідні статистичні дані кореляційно-регресійного аналізу

Рік	Y: Обсяг утворених відходів (тис. т)	X1: Випуск товарів і послуг (млн грн)	X2: Обсяг капітальних інвестицій (грн)
2015	6 597,5	643 540	21 347 175
2016	7 511,5	659 628	30 733 525
2017	6 191,7	616 750	31 020 531
2018	6 322,7	634 020	41 783 943
2019	5 828,2	606 122	75 612 299
2020	5 333,7	600 668	42 131 728
2021	4 249,0	605 474	63 325 007
2022	3 164,3	420 199	35 765 956
2023	3 407,1	417 678	55 628 524
2024	2 607,1	408 907	67 898 195

За результатами аналізу було виявлено високий прямий зв'язок ($r = 0,921831$) між випуском товарів (X_1) та утворенням відходів (Y). Це підтверджує екстенсивний характер економічної діяльності: нарощування виробництва прямо пропорційно генерує відходи (табл. 2.2).

Спостерігається помірний зворотний зв'язок ($r = -0,5188$) між капітальними інвестиціями (X_2) та відходами (табл. 2.2). Це свідчить про те, що інвестиційні впливання частково спрямовуються на екологічну модернізацію або оновлення основних фондів, що знижує відходоємність виробництва.

Таблиця 2.2 – Результати кореляційного аналізу

	<i>Y: Обсяг утворених відходів (тис. т)</i>	<i>X1: Випуск товарів і послуг (млн грн)</i>	<i>X2: Обсяг капітальних інвестицій (грн)</i>
Y: Обсяг утворених відходів (тис. т)	1		
X1: Випуск товарів і послуг (млн грн)	0,921831	1	
X2: Обсяг капітальних інвестицій (грн)	-0,51877	-0,36032	1

Кореляція між факторами X_1 та X_2 є слабкою ($|r| < 0,7$), що виключає проблему жорсткої мультиколінеарності. Обидва фактори можуть бути одночасно включені до регресійної моделі.

За результатами оцінювання параметрів моделі отримано таке рівняння регресії:

$$\hat{Y} = -1671,4 + 0,137 \cdot X_1 - 0,00002 \cdot X_2.$$

Коефіцієнт детермінації – 0,89. Це означає, що 89 % варіації обсягів утворення відходів пояснюється зміною масштабів випуску товарів та обсягом капітальних інвестицій (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Основні статистичні характеристики побудованої регресійної моделі

Regression Statistics	
Multiple R	0,94329
R Square	0,889796
Adjusted R Square	0,858309
Standard Error	625,8149
Observations	10

Модель має високу пояснювальну здатність. Критерій Фішера – 28,3 (табл. 2.4). Оскільки розрахункове значення значно перевищує табличне, регресійна модель визнається статистично адекватною та надійною.

Критерій Стюдента коефіцієнта регресії при факторі X_1 є високозначущим. Коефіцієнт регресії при факторі X_2 має меншу статистичну значущість, що характерно для процесів з лаговим ефектом (інвестиції дають еколого-економічний ефект не миттєво, а через 1–2 роки).

Таблиця 2.4 – Результати дисперсійного аналізу (ANOVA) регресійної моделі

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	2	22135091	11067546	28,25918	0,000444
Residual	7	2741510	391644,3		
Total	9	24876602			

Отримані коефіцієнти регресії дають змогу зробити глибокі висновки щодо структурно-динамічних зрушень в економічній системі (табл. 2.5). Коефіцієнт 0,0137 свідчить, що за умови незмінності обсягу інвестицій збільшення випуску товарів і послуг на 1 млн грн призводить до середнього зростання обсягів утворення відходів на 0,0137 тис. тонн. Доданий знак коефіцієнта свідчить про наявність прямого зв'язку між масштабами виробництва та обсягами утворення відходів. Водночас статистична значущість цього коефіцієнта є високою ($p = 0,000412$), що підтверджує наявність статистично значущого зв'язку в межах побудованої моделі.

Коефіцієнт при X_2 – обсязі капітальних інвестицій – має від'ємне значення і становить $-0,00002$, що вказує на зворотній напрямок зв'язку між капітальними інвестиціями та обсягами утворення відходів за незмінного рівня випуску продукції. Водночас отриманий коефіцієнт є статистично незначущим на 5 %-му рівні ($p = 0,154865$). Отже, на підставі побудованої моделі недостатньо статистичних підстав для підтвердження впливу капітальних інвестицій на скорочення обсягів утворення відходів. Негативний знак коефіцієнта може свідчити про потенційну тенденцію до зменшення відходоутворення зі зростанням капітальних інвестицій.

Таблиця 2.5 – Коефіцієнти регресійної моделі та результати перевірки їх статистичної значущості

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95 %</i>	<i>Upper 95 %</i>	<i>Lower 95,0 %</i>	<i>Upper 95,0 %</i>
Intercept	-1671,4	1544,5	-1,08216	0,315043	-5323,56	1980,759	-5323,56	1980,759
X1: Випуск товарів і послуг (млн грн)	0,013734	0,002187	6,278843	0,000412	0,008562	0,018907	0,008562	0,018907
X2: Обсяг капітальних інвестицій (грн)	-2E-05	1,24E-05	-1,59445	0,154865	-4,9E-05	9,51E-06	-4,9E-05	9,51E-06

Отримані результати свідчать, що динаміка утворення відходів в Україні насамперед пов'язана з масштабом виробництва: збільшення випуску товарів і послуг статистично значуще супроводжується зростанням обсягів утворення відходів. Водночас від'ємний коефіцієнт за обсягу капітальних інвестицій вказує на потенційно стримувальний характер їх впливу на віхоудоутворення, однак статистично значущого підтвердження цього зв'язку отримано не було. Це актуалізує необхідність не лише нарощування капітальних інвестицій, а й зміни їх структури з орієнтацією на природоохоронні інновації, ресурсоефективні технології та технології замкнутого циклу в контексті переходу до моделі циркулярної економіки.

Табл. В2 Додатка В відображає динаміку поводження з відходами в Україні за окремими операціями утилізації у 2010, 2015 та 2020 рр. відповідно до класифікації операцій відновлення (R-кодів). Наведені дані характеризують масштаби використання різних методів утилізації та підготовки відходів до повторного використання в умовах поступового переходу до принципів циркулярної економіки.

Загальний обсяг утилізованих відходів у 2010 р. становив 145,7 млн тонн у 2015 р. і скоротився до 92,5 млн тонн, а у 2020 р. дещо зріс – до 100 млн тонн. Така динаміка відображає як структурні зміни в економіці та промисловому виробництві, так і трансформацію системи управління відходами.

Найбільшу частку в структурі утилізації упродовж досліджуваного періоду займала рециркуляція та утилізація інших неорганічних матеріалів (операція R5).

Проте її обсяги суттєво скоротилися – зі 110,7 млн тонн у 2010 р. до 43,1 млн тонн у 2020 р. Значними залишалися також обсяги рециркуляції металів та їх сполук (R4), хоча у 2020 р. вони були нижчими, порівняно з 2010 р. Це свідчить про важливу роль металургійного та гірничого секторів у формуванні вторинних ресурсних потоків.

Водночас у 2020 р. спостерігається суттєве зростання показників рекуперації компонентів, що використовується для зменшення забруднення (R7): з 6,1 млн тонн у 2010 р. до 36,6 млн тонн у 2020 р. Це може свідчити про активізацію зелених технологій та посилення уваги до «озеленення» виробничих процесів і ресурсоефективності.

Операції, пов'язані з органічними відходами, зокрема компостування (R3A) та ферментація (R3B), характеризувалися порівняно невеликими масштабами. Попри певне зростання компостування у 2015 р., загалом ці напрями залишаються недостатньо розвиненими, що вказує на низький рівень використання біологічних методів переробки відходів.

У 2015–2020 рр. спостерігалось зростання обсягів діяльності з підготовки відходів до утилізації (операції R12) – з 1,9 млн тонн до 2,6 млн тонн. Основну частку становив обмін відходами для подальшої утилізації чи видалення, що свідчить про поступове формування інфраструктури попереднього сортування та підготовки вторинної сировини.

Загалом можна зробити висновок, що система поводження з відходами в Україні все ще значною мірою орієнтована на промислову утилізацію неорганічних матеріалів, тоді як сучасні напрями рециклінгу, біологічної переробки та комплексної підготовки відходів до повторного використання розвинені недостатньо. Це підкреслює необхідність модернізації інфраструктури управління відходами та активізації переходу до моделі циркулярної економіки і зелених ланцюгів доданої вартості.

За даними PricewaterhouseCoopers, в Україні діють 17 підприємств із переробки макулатури, 39 – із переробки полімерів, 19 – із переробки ПЕТФ-сировини, 16 – із переробки склобою. Щорічно на переробні підприємства України

потрапляє 160 тис. тонн полімерів, 50 тис. тонн ПЕТ-пляшок. Проте потужність підприємств із переробки полімерів та ПЕТ-пляшок, наприклад, завантажена тільки на 65 % [7].

27 грудня 2024 р. КМУ затвердив «дорожню карту», яка визначатиме архітектуру національної системи управління відходами в рамках інтеграції України з ЄС – Національний план управління відходами до 2033 року (НПУВ) [21], який формує рамку та послідовність заходів, через які українське законодавство, інституційна система та практика управління відходами мають наближатися до вимог ЄС.

НПУВ орієнтує розвиток української системи на формування ієрархічної моделі поводження з відходами, відповідно до якої пріоритет надається запобіганню їх утворенню, повторному використанню, рециклінгу та іншим операціям з відновлення, тоді як захоронення розглядається як найменш пріоритетний спосіб поводження з відходами. Такий підхід відповідає логіці європейської політики циркулярної економіки та спрямований на поступовий перехід від лінійної моделі «виробництво – споживання – захоронення» до ресурсоефективної моделі замкненого циклу [15].

Важливим елементом цього механізму є також поширення принципу «забруднювач платить» та розширеної відповідальності виробника, що передбачає перенесення частини фінансової та організаційної відповідності за поводження з відходами з держави і органів місцевого самоврядування на виробників.

Другим механізмом імплементації європейських норм законодавства є формування системи вимірювання цілей у сфері запобігання утворенню, повторного використання, рециклінгу, відновлення та скорочення захоронення відходів. Національний план переводить загальні положення європейської політики у конкретні кількісні орієнтири, досягнення яких може бути оцінене за допомогою відповідних індикаторів. Зокрема, це стосується розширення охоплення населення послугами управління побутовими відходами, збільшення частки відходів, підготовлених до повторного використання та рециклінгу, розвиток роздільного збирання, скорочення захоронення біовідходів та збільшення

частки матеріалів, спрямованих на повторне використання, переробку та інші операції з відновлення [15].

НПУВ формує основу для узгодженого планування на національному, регіональному та місцевих рівнях. Його положення мають бути конкретизовані у регіональних планах управління відходами, а останні – у місцевих планах територіальних громад.

Такий підхід забезпечує вертикальну узгодженість державної політики та створює механізм трансформації загальнонаціональних та європейських вимог у конкретні заходи на рівні регіонів та громад. Отже, відповідальність за досягнення визначених цілей розподіляється між різними рівнями публічного управління, а питання розвитку інфраструктури, організації роздільного збирання, оброблення та захоронення відходів набувають територіальної конкретизації.

У межах Угоди про асоціацію з ЄС та процесу наближення українського законодавства до права Європейського Союзу (*acquis* ЄС) Україна взяла на себе зобов'язання щодо поступового наближення та гармонізації національного законодавства у сфері управління відходами та вторинними ресурсами з відповідними нормами законодавства ЄС. Це створює необхідні передумови для формування вітчизняної системи управління відходами відповідно до європейських вимог і стандартів, орієнтованих на ресурсо- та енергозбереження, ефективне використання вторинної сировини та поступовий перехід до моделі циркулярної економіки [15].

Перехід до моделі циркулярної економіки є комплексною політикою ЄС, у центрі якої знаходиться *Рамкова директива про відходи* (Директива 2008/98/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 19 листопада 2008 р. про відходи та скасування деяких директив, зі змінами, внесеними, зокрема, Директивою (ЄС) 2018/851) [73]. Зазначена директива встановлює ієрархію управління відходами, принцип запобігання утворенню відходів, підготовку до повторного використання, рециклінг, видалення як останній пріоритет, принцип «забруднювач платить», розширену відповідальність виробника, вимоги до роздільного збирання та цілі щодо підготовки до повторного використання і рециклінгу муніципальних

відходів. Саме ієрархія відходів у цій Директиві є нормативною основою переходу від лінійної до циркулярної моделі.

Директива 1999/31/ЄС про захоронення відходів зі змінами, внесеними Директивою (ЄС) 2018/850, спрямована на поступове скорочення захоронення, особливо відходів, придатних для рециклінгу або іншого відновлення [69]. У самій Директиві прямо зазначено, що її метою є підтримка переходу ЄС до циркулярної економіки.

Директива 94/62/ЄС про упаковку та відходи від упаковки зі змінами, внесеними Директивою (ЄС) 2018/852, регулює запобігання утворенню пакувальних відходів, повторне використання упаковки, рециклінг, відновлення, цільові показники рециклінгу упаковки [71]. Вона безпосередньо пов'язує ефективне використання ресурсів та управління упаковкою з принципами циркулярної економіки.

Новий Регламент про упаковку (PPWR – Регламент (ЄС) 2025/40 про упаковку та пакувальні відходи) з 2025 р. замінив попередню систему директивного регулювання та є спрямованим на регулювання скорочення утворення пакувальних відходів, придатності упаковки до рециклінгу, повторного використання, вмісту вторинної сировини, мінімізацію одноразової упаковки, циркулярність упаковки [169].

Директива 2012/19/ЄС про відходи електричного та електронного обладнання (WEEE) встановлює правила збору, повторного використання, підготовки до повторного використання, рециклінгу та відновлення електронних відходів [74].

Директива про транспортні засоби, що вийшли з експлуатації (Директива 2000/53/ЄС) спрямована на запобігання утворенню відходів транспортних засобів, повторне використання компонентів, рециклінг та відновлення матеріалів [72]. Ця директива є прикладом галузевого застосування принципів циркулярної економіки.

Регламент (ЄС) 2023/1542 про батареї та відпрацьовані батареї охоплює весь життєвий цикл батареї – від виробництва, використання, збору, повторного використання / перероблення до повернення матеріалів у виробництво [167].

Регламент про екодизайн сталих продуктів є одним із найважливіших для циркулярної економіки (Регламент (ЄС) 2024/1781 про встановлення рамок для визначення вимог до екодизайну сталих продуктів – ESPR) [168]. Його логіка полягає у зменшенні утворення відходів, створенні довговічної продукції, придатності продукції до ремонту, повторного використання, рециклінгу та поверненні матеріалів у виробництво.

Найвищим за рівнем рамковим документом, який охоплює всі напрями політики зеленого переходу в ЄС, є *European Green Deal* [195]. Європейський зелений курс визначає перетворення ЄС на ресурсоефективну, конкурентоспроможну, кліматично нейтральну та циркулярну економіку як стратегічний напрям.

Новий План дій ЄС з циркулярної економіки (A new Circular Action Plan – COM (2020) 98 final, від 11 березня 2020 р.) є одним із ключових елементів *European Green Deal*, передбачає перехід від лінійної моделі «виробити – використати – викинути» до моделі «проектувати – виробляти – використовувати – повторно використовувати – ремонтувати – відновлювати – рециклінг». Цей документ охоплює весь життєвий цикл продукції і особливий акцент робить на сталому дизайні продукції, ресурсоефективності, ремонтпридатності, довговічності, вторинній сировині, скороченні відходів та циркулярності виробничих процесів.

Цільові показники НПУВ та ЄС, які безпосередньо характеризують перехід від лінійної до циркулярної моделі, представлено у табл. 2.6. Варто зауважити, що для муніципальних відходів ЄС встановив мінімум: 55 % підготовки до повторного використання та рециклінгу до 2025 р., 60 % – до 2030 р. та 65 % – до 2035 р.

Проведений порівняльний аналіз свідчить, що орієнтири НПУВ загалом відповідають стратегічному напрямку циркулярної трансформації та принципам європейської політики управління відходами, однак за низкою цільових показників вони є менш амбітними, ніж цілі ЄС. Найбільший розрив спостерігається у сфері підготовки до повторного використання та рециклінгу побутових відходів, де українські цілі істотно поступаються європейським, а також у скороченні захоронення, що свідчить про збереження значної ролі лінійної моделі поводження з відходами. Водночас за напрямами охоплення населення послугами управління

відходами, розвитку роздільного збирання та скорочення захоронення біовідходів НПУВ формує інструкційні та операційні передумови, загалом узгоджені з підходами ЄС. Отже, порівняння цільових орієнтирів НПУВ із цілями ЄС засвідчує наявність нормативної та стратегічної основи для переходу України до циркулярної моделі управління відходами, проте значні розбіжності за ключовими кількісними показниками – насамперед щодо рециклінгу та захоронення побутових відходів – свідчать про неповне наближення національної системи до європейської моделі.

Таблиця 2.6 – Порівняльний аналіз цільових показників переходу до циркулярної моделі відповідно до НПУВ та Зеленого курсу ЄС

Напрямок	Цільовий орієнтир НПУВ	Цільовий орієнтир ЄС	Наскільки відповідає
Охоплення послугами управління побутовими відходами	98 % міського та 95 % сільського населення	Немає аналогічної цілі	Національна операційна ціль
Охоплення роздільним збиранням	100 % великих міст, 95 % міського та 70 % сільського населення до 2033 р.	100 % нормативне охоплення відповідних потоків системою роздільного збирання	Не тотожні за методологією
Підготовка до повторного використання та рециклінгу побутових відходів	10 % – 2025 р.; 20 % – 2030 р.; 25 % – 2035 .; 35 % – 2040 р.	55 % – 2025 р.; 60 % – 2030 р.; 65 % – 2035 р.	Значно нижчі
Захоронення побутових відходів	30 % до 2033 р.	до 2035 р. кількість муніципальних відходів, що захоронюються, має бути скорочена до 10 % або менше від загального обсягу утворених муніципальних відходів (за масою), з 2030 р. держави-члени мають прагнути не допускати на полігони відходи, придатні для рециклінгу або іншого відновлення, за винятком випадків, коли захоронення забезпечує найкращий екологічний результат	Значно нижчі
Розвиток рециклінгу упаковки	Цільові рівні встановлюються в межах системи РВВ	65 % – 2025 р.; 70 % – 2030 р. загального пакувального відходу	Залежно від конкретного потоку
Зменшення захоронення біовідходів	Передбачено окремою Національною програмою	ЄС встановлює обмеження на захоронення та вимагає дотримання ієрархії відходів	Напрямок відповідає, але показники не тотожні
Захоронення муніципальних відходів	скорочення захоронення; орієнтир України – до 30 % до 2033 р.	≤10 % до 2035 р.	Нижча амбіційність

Водночас у своїй праці А. Девлін, В. Михненко, А. Загоруйчик, Н. Салмон, М. Солдак [6] зазначають: «У разі вступу України до ЄС, на країну поширюватиметься нормативно-правова база Схеми торгівлі квотами на викиди (СТВ), згідно з якою ціна на вуглець... за прогнозами, зросте до \$250/т до 2050 року ... Європейський зелений курс має на меті комерціалізацію “зеленої” сталі до 2030 року та повну декарбонізацію сектору до 2050 року... Україна також має підготуватися до цього переходу...».

Зазначене вище обґрунтовує необхідність кількісного оцінювання ступеня такого наближення на основі системи індикаторів та формування інтегрального Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами.

Пропонуємо визначати Індекс переходу до циркулярної моделі управління відходами (ІПЦМУВ) як інтегральний показник, що характеризує рівень трансформації системи управління відходами від переважно лінійної моделі до циркулярної та відповідно його розрахунок за такою формулою:

$$\text{ІПЦМУВ} = \sum_{j=1}^n w_j I_j,$$

де I_j – нормалізоване значення відповідного субіндексу;

w_j – вага субіндексу;

$$\sum w_j = 1.$$

У якості субіндексів пропонуємо використовувати синтетичні показники, що представлені у табл. 2.7.

З огляду на сучасний стан системи управління відходами, де головними проблемами залишаються значні обсяги утворення відходів, недостатній рівень сортування та рециклінгу, домінування захоронення і водночас необхідність швидкої модернізації інфраструктури, ваги субіндексів доцільно встановити диференційованими.

Найвищу вагу (0,4) надано субіндексу рециклінгу / матеріального відновлення. Запобігання утворенню відходів та скороченню захоронення – по 0,25, оскільки саме ці напрями характеризують ключовий перехід від лінійної моделі поводження

з відходами до моделі повернення матеріальних ресурсів у господарській оборот та зменшення залежності від захоронення. Вага субіндексу енергетичного відновлення – 0,1. Вага останнього субіндексу виконує роль своєрідного методологічного обмеження, тобто енергетичне відновлення враховується, але воно не може компенсувати недостатній розвиток матеріального відновлення та запобігання утворенню відходів.

Таблиця 2.7 – Система субіндексів Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами

Блок	Позначення	Що характеризує	Аналітичні показники вимірювання
Запобігання утворенню відходів	$I_{зуб}$	Наскільки система зменшує утворення відходів	Утворення відходів на душу населення. Утворення відходів на одиницю ВВП
Рециклінг / матеріальне відновлення	I_p	Масштаб повернення відходів у виробничий цикл як вторинної сировини	Частка відновлених відходів. Обсяг підготовлених до утилізації відходів
Енергетичне відновлення ресурсів	$I_{ЕВР}$	Матеріальне та енергетичне відновлення ресурсів	Частка відходів, спалених з метою отримання енергії
Скорочення захоронення	$I_{сз}$	Зменшення залежності від полігонного захоронення	Частка видалених відходів на полігони. Обсяг захоронення відходів на одну особу

Джерело: розроблено автором

Отже, формувала розрахунку Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами набуває такого вигляду:

$$ІПЦМУВ = 0,25 I_{зуб} + 0,4 I_p + 0,1 I_{ЕВР} + 0,25 I_{сз}.$$

Динаміка фактичних даних запропонованих аналітичних показників, які дають змогу провести порівняльний аналіз точкової динаміки Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами за 2010, 2015, 2020 та 2024 рр., виглядає так (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 – Вихідні дані для розрахунку динаміки Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами

Показник	2010	2015	2020	2024
Утворено відходів, млн т	425,914	312,268	462,374	238,385
Утворення відходів на одну особу, кг	9 168,800	6 818,000	10 345,000	6 296,800
Утворення відходів на одиницю ВВП, кг на 1 000 дол. США за ПКС 2011 р.	н/д	457,400	632,500	н/д
Частка відновлених відходів, %	34,010	29,610	21,740	12,380
Обсяг підготовлених до утилізації відходів, тис. т	н/д	н/д	н/д	н/д
Частка відходів, спалених з метою отримання енергії, %	0,197	0,348	0,195	н/д
Частка видалених відходів на полігони, %	73,590	48,770	59,690	59,610
Обсяг захоронення відходів на одну особу, кг	6 740,200	3 326,000	6 177,300	3 754,100

Джерело: розраховано автором на основі даних Держстату [22]

Для розрахунку показників у співвідношенні на одну особу використано відповідні річні оцінки населення України: 46,456 млн осіб у 2010 р., 45,785 млн – у 2015 р., 44,680 млн – у 2020 р. та 37,860 млн – у 2024 р.

Дані про утворення відходів на одиницю ВВП, кг на 1 000 дол. США за ПКС 2011 р. наведено на основі офіційного індикатора ЦСП 12.4.1. Дані за даною методологією за 2010 та 2024 рр. відсутні. Дані для надійного розрахунку обсягу підготовлених до утилізації відходів у доступній статистиці Держстату відсутні.

Отже, для розрахунку Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами залишаємо показники, які мають повний ряд динаміки (табл. 2.9).

Таблиця 2.9 – Скориговані вихідні дані для розрахунку динаміки Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами

Показник	2010	2015	2020	2024	Напрямок впливу
Утворення відходів на одну особу, кг	9 168,80	6 818,00	10 345,00	6 296,80	Дестимулятор
Частка відновлених відходів, %	34,01	29,61	21,74	12,38	Стимулятор
Частка видалених відходів на полігони, %	73,59	48,77	59,69	59,61	Дестимулятор
Обсяг захоронення відходів на одну особу, кг	6 740,20	3 326,00	6 177,30	3 754,10	Дестимулятор

Джерело: розрахунки автора за даними Держстату [22]

Тоді скоригована формула розрахунку Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами буде виглядати так:

$$ІПЦМУВ = 0,3 I_{зуб} + 0,4 I_p + 0,3 I_{сз}.$$

Для проведення подальших розрахунків потрібно здійснити нормування аналітичних показників:

– для стимуляторів за формулою:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}};$$

– для дестимуляторів:

$$Z_{ij} = \frac{X_{\max} - X_{ij}}{X_{\max} - X_{\min}}.$$

Отримуємо такі нормалізовані значення аналітичних показників (табл. 2.10).

Таблиця 2.10 – Нормалізовані значення аналітичних показників

Показник	2010	2015	2020	2024
Утворення відходів на одну особу, кг	0,2905	0,8713	0,0000	1,0000
Частка відновлених відходів, %	1,0000	0,7966	0,4327	0,0000
Частка видалених відходів на полігони, %	0,0000	1,0000	0,5600	0,5633
Обсяг захоронення відходів на одну особу, кг	0,0000	1,0000	0,1649	0,8746

Джерело: розрахунки автора

Для розрахунку субіндексу «Скорочення захоронення» (I_{C3}) ми пропонуємо використовувати розрахунок середнього арифметичного нормалізованих значень аналітичних показників «Частка видалених відходів на полігони» та «Обсяг захоронення відходів на одну особу». Цей підхід дасть змогу одночасно врахувати як показник, що характеризує структуру поводження з утвореними відходами, такі і показник, який характеризує абсолютне навантаження на населення.

Оскільки після нормування обидва показники мають однакову спрямованість, субіндекс «Скорочення захоронення» можна визначити як просте середнє арифметичне:

$$I_{C3i} = \frac{Z_{C3i} + Z_{30i}}{2},$$

де I_{C3i} – субіндекс скорочення захоронення у i -му році;

Z_{C3i} – нормоване значення частки видалених відходів на полігони;

Z_{30i} – нормоване значення обсягу захоронення відходів на одну особу.

Розрахуємо субіндекс «Скорочення захоронення» за нормалізованими значення відповідних аналітичних показників (табл. 2.11).

Таблиця 2.11 – Розрахунок субіндексу «Скорочення захоронення»

Рік	Частка видалених на полігони	Обсяг захоронення відходів на одну особу	Субіндекс «Скорочення захоронення»
2010	0,0000	0,0000	0,0000
2015	1,0000	1,0000	1,0000
2020	0,5600	0,1649	0,3625
2024	0,5633	0,8746	0,7189

Джерело: розрахунки автора

Результати розрахунку Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами за запропонованою авторською методикою мають такий вигляд (табл. 2.12).

Таблиця 2.12 – Результати розрахунку Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами у 2010, 2015, 2020 та 2024 р.

Рік	Ізув	Ір	Ісз	ІПЦМУВ	Рівень
2010	0,2905	1,0000	0,0000	0,4872	Середній
2015	0,8713	0,7966	1,0000	0,8800	Дуже високий
2020	0,0000	0,4327	0,3625	0,2818	Низький
2024	1,0000	0,0000	0,7189	0,5157	Середній

Джерело: розрахунки автора

Для інтерпретації значень Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами, сформованого на основі нормованих показників, використано п'ятирівневу шкалу оцінювання. Оскільки значення інтегрального індексу перебуває в межах від 0 до 1, інтервал його можливих значень поділено на п'ять рівних частин. Ширина кожного інтервалу визначається як $(h = (1 - 0)/5 = 0,20)$. Такий підхід забезпечує об'єктивність і симетричність класифікації та дає змогу диференціювати рівень переходу до моделі циркулярної моделі управління відходами за п'ятьма якісними градаціями: дуже низький, середній, високий та дуже високий.

Відповідно значення ІПЦМУВ у межах 0,00–0,20 характеризують дуже низький рівень переходу; 0,21–0,40 – низький; 0,41–0,60 – середній; 0,61–0,80 – високий; 0,81–1,00 – дуже високий. Чим ближче значення індексу до 1, тим вищим є рівень трансформації системи управління відходами у напрямі циркулярної моделі, тоді як значення, наближені до 0, свідчать про збереження переважно лінійної моделі поводження з відходами.

Запропонована шкала має інтерпретаційний характер і не встановлює нормативних меж циркулярності. Її призначення полягає у забезпеченні порівнянності результатів між досліджуваними роками.

Динаміка Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами України у 2010–2024 рр. не характеризується стабільною висхідною тенденцією, а має хвилеподібний характер, зумовлений взаємодією структурних трансформацій економіки, зміною інституційного середовища та реформуванням системи управління відходами (рис. 2.29).

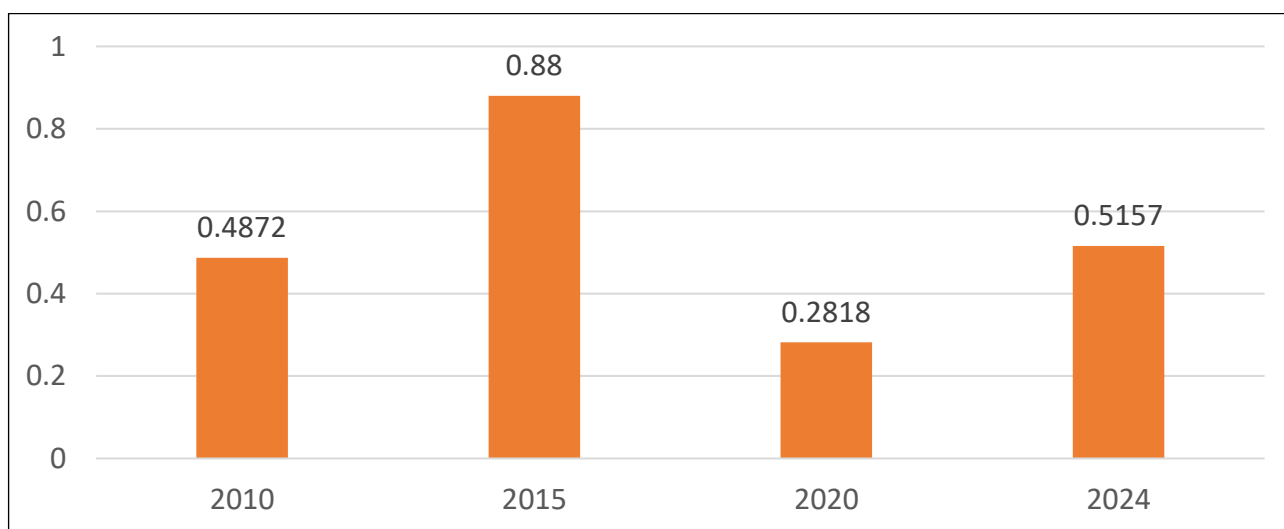


Рисунок 2.29 – Точкова динаміка Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами України у 2010, 2015, 2020, 2024 рр.

Джерело: побудовано автором за власними розрахунками

Показник Індексу у 2010 р. на рівні 0,4872 свідчить про переваження лінійної моделі економіки. Основою проблемою була не стільки відсутність окремих операцій з утилізації, скільки структурна залежність системи від захоронення.

Водночас значний обсяг відновлення відходів у 2010 р. значною мірою був пов'язаний із промисловими потоками, зокрема металами та іншими неорганічними матеріалами, а не з повноцінним розвитком сучасної циркулярної економіки.

Підвищення Індексу у 2015 р. відображало суттєві структурні зміни в економіці України після 2014 р., скорочення ресурсомісткого промислового виробництва та початок переорієнтації державної політики на європейські принципи управління відходами. Одночасно відбулися масштабні структурні зміни промислового виробництва через окупацію Донецької і Луганської областей, втрату промислових підприємств, скорочення окремих ресурсомістких виробництв.

Саме у 2015 р. спостерігалось зменшення утворення відходів на душу населення, суттєве скорочення частки захоронення, розвиток нових підходів до управління відходами.

Подальше зниження у 2020 р. свідчило про незавершеність переходу до нормативного формування циркулярної моделі до її практичної реалізації, зокрема через недостатній розвиток інфраструктури сортування, повторного використання та рециклінгу. Тут спостерігався вплив одночасно декількох факторів: по-перше, після структурної перебудови 2014–2015 рр. частина позитивного ефекту була пов'язана зі скороченням промислового виробництва та зміною структури економіки, а не лише з підвищенням ефективності системи управління відходами; по-друге, в той же час почала формуватися нова нормативна база, але реформа управління відходами ще не перейшла повною мірою від нормативного етапу до етапу системної реалізації. Саме напередодні цього періоду було схвалено Національну стратегію управління відходами в Україні до 2030 року, яка закладала перехід від переважного захоронення до запобігання утворенню, повторного використання, перероблення та відновлення відходів.

Підвищення Індексу у 2024 р. відображає частково відновлення циркулярних практик та інституційної трансформації, проте це відбувається в умовах повномасштабної війни, що суттєво змінює структуру утворення і потоків відходів.

Внаслідок війни значна частина промислових потужностей була зруйнована або окупована, змінилася територіальна структура виробництва, виникли величезні обсяги відходів від руйнування будівель та інфраструктури, змінилася логістика та структура потоків вторинної сировини.

Водночас у 2024 р. вже почала діяти нова інституційна рамка – насамперед Закон України «Про управління відходами», який набув чинності у 2023 р., а також Національний план управління відходами до 2033 року. Тобто у 2024 р. почався якісно інший етап реформи – від формування стратегії до практичного впровадження європейської моделі управління відходами.

Отже, отримана динаміка свідчить не про послідовний лінійний перехід України до циркулярної моделі, а про нелінійний процес структурно-інституційної трансформації, результативність якого залежить одночасно від економічної структури, державної політики та здатності сформувати інфраструктуру замкненого ресурсного циклу.

Гармонізація національного законодавства не може бути ефективною без відповідної інфраструктури, тому Національний план орієнтований на розвиток потужностей для роздільного збирання, сортування, підготовки відходів до повторного використання, рециклінгу та інших операцій з відновлення. Водночас економічні механізми, зокрема розширена відповідальність виробника, створюють фінансові стимули для підвищення рівня розділеного збирання та рециклігу [15].

Вирішення проблеми накопичення відходів в Україні потребує принципової трансформації концептуальних засад управління ними – від переважання практики захоронення до пріоритету запобігання утворенню та скороченню обсягів відходів, розширення їх роздільного збирання і сортування, збільшення масштабів перероблення та залучення відходів до господарського обороту як вторинних матеріальних і енергетичних ресурсів.

2.3. Науково-методичні підходи до оцінки ефективності технологій рециклінгу для підприємств

ТОВ «УКРМЕГАПРОМ» є успішним кейсом з переробки золошлакових відходів, яке функціонує за моделлю циркулярної економіки та зелених ланцюгів доданої вартості, трансформуючи промислові відходи теплоелектростанцій у вторинні матеріальні ресурси для будівельної, дорожньої, цементної та інших галузей промисловості. Основою бізнес-моделі ТОВ «УКРМЕГАПРОМ» є поєднання екологічної утилізації відходів із формуванням економічної цінності через виробництво конкурентоспроможної продукції.

Для цілей дослідження дані ТОВ «УКРМЕГАПРОМ» доцільно розглядати у контексті діяльності взаємопов'язаної групи підприємств, оскільки відкриті дані щодо корпоративних прав засвідчують наявність стійких зв'язків між ТОВ «УКРМЕГАПРОМ» та низкою інших суб'єктів господарювання, зокрема з ТОВ «УКРСМТРОЙТРАНС», ТОВ «Український центр екології та теплоенергетики», ТОВ «СП «Універсал» та ПП «РЕЙД ПЛЮС».

Характер і тривалість зазначених корпоративних зв'язків дають підстави розглядати зазначені підприємства як взаємопов'язані суб'єкти господарювання, що функціонують у межах єдиного корпоративного середовища. Отже, у межах цього дослідження ТОВ «УКРМЕГАПРОМ» розглядається не ізольовано як окрема юридична особа, а як базова компанія взаємопов'язаної корпоративної структури. Відповідно показники діяльності, пов'язані з операціями з відходами, є характеристикою діяльності групи компаній.

Основною сировинною базою ТОВ «УКРМЕГАПРОМ» виступають золошлакові відходи ТЕС, зола виносу, шлакові суміші, відвали та накопичені золошлакові матеріали. Підприємство отримує сировину шляхом укладання довгострокових контрактів із енергогенеруючими компаніями. У багатьох випадках ТЕС зацікавлені у передачі відходів через високі витрати на їх зберігання та екологічні платежі. Ключові етапи бізнес-процес представлені на рис. 2.30.

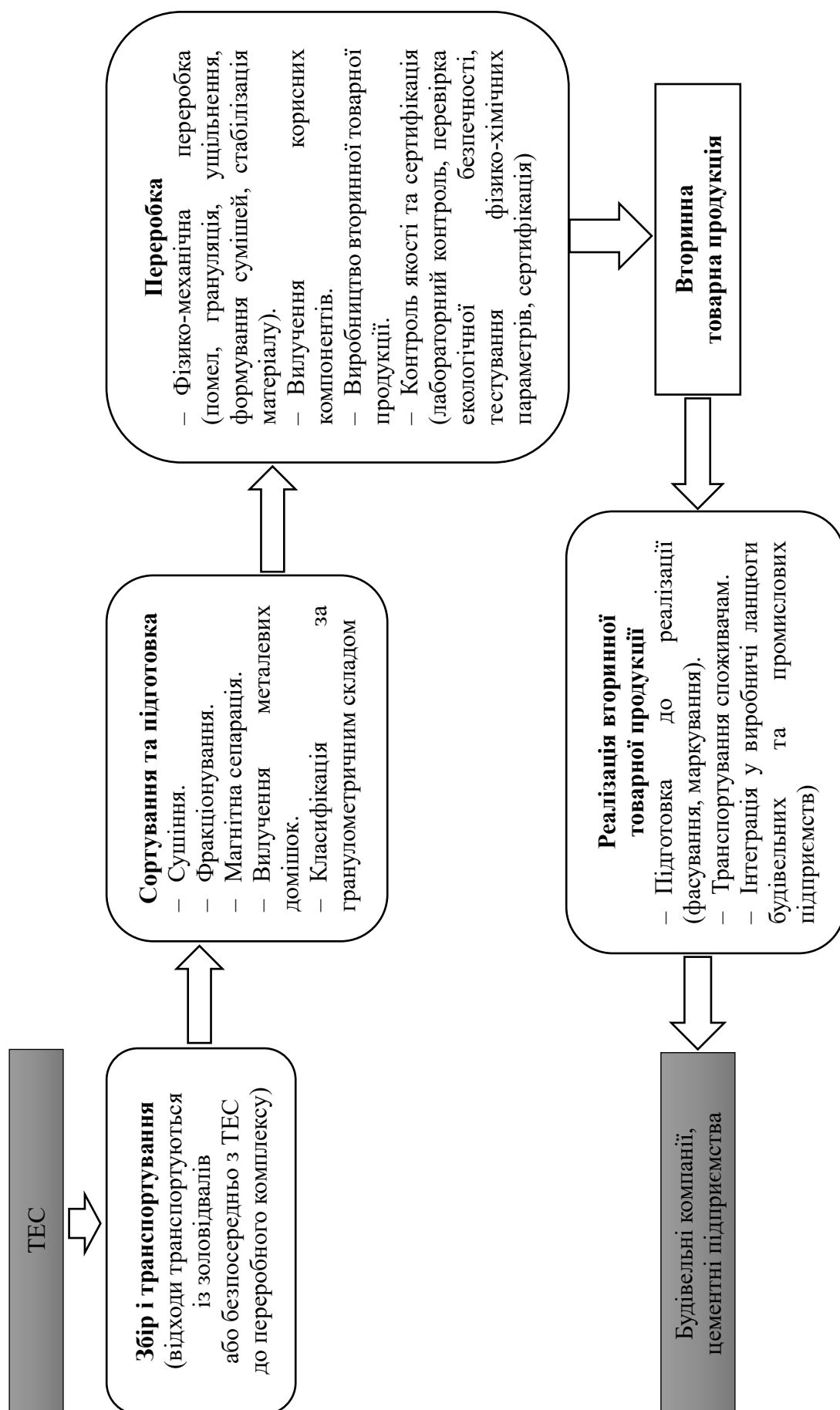


Рисунок 2.30 – Ключові етапи бізнес-процесу рециклінгу золошлакових відходів

Підприємство створює цінність через скорочення площ золовідвалів, зменшення екологічного навантаження, заміщення первинної сировини, зниження вуглецевого сліду будівництва, формування вторинних ресурсних потоків, підтримку моделі циркулярної економіки.

Кремниста (кисла) зола виносу – тонкодисперсний пил, що складається в основному зі сферичних частинок розміром до 0,14 мм, з пуццоланічними властивостями. Складається в основному з реакційноздатних діоксиду кремнію SiO_2 та оксиду алюмінію Al_2O_3 . Залишок містить оксид заліза Fe_2O_3 та інші з'єднання.

Зола виносу є тонкодисперсним мінеральним матеріалом, що утворюється як побічний продукт спалювання вугілля на теплових електростанціях. Під час спалювання мінеральна частина палива зазнає високотемпературних перетворень, внаслідок чого формується переважно склоподібний алюмосилікатний матеріал. У системах очищення димових газів частинки золи вловлюються електрофільтрами або іншими пиловловлювальними установками, після чого можуть транспортуватися та зберігатися у сухому або зволоженому стані [4; 101].

Характеристика золи виносу істотно залежить від виду та складу палива, технології його спалювання, температурного режиму, типу котлоагрегата, умов охолодження продуктів згоряння, способу уловлювання, а також дисперсності матеріалу [90; 158]. Відповідно зола виносу не є однорідною сировиною: її хімічний, мінералогічний та гранулометричний склад визначають реакційну здатність і можливості подальшого використання [90].

Важливою особливістю золи виносу є наявність значної частки аморфної або склоподібної фази, переважно представленої сполуками кремнію та алюмінію. Частинки золи часто мають сферичну форму та характеризуються високою дисперсністю [90; 158]. Саме поєднання хімічної активності склоподібної фази та морфології частинок визначає її цінність як мінеральної добавки до цементних матеріалів. У присутності води та продуктів гідратації цементу реакційноздатні компоненти золи вступають у пуццоланові реакції з

гідроксидом кальцію, сприяючи утворенню додаткових цементувальних продуктів, зокрема кальцій-силікат-гідратних фаз [90].

За міжнародними підходами золу виносу класифікують, зокрема, залежно від її хімічного складу та походження. У системі ASTM розрізняють, серед іншого, клас F, для якого характерними є переважно пуцоланові властивості та відносно низький вміст кальцію, і клас C, що характеризується вищим вмістом кальцію та поєднанням пуцоланових і цементувальних властивостей [40]. Причому придатність конкретної золи для використання у бетоні повинна встановлюватися за результатами відповідних випробувань.

В Україні нормативною основою для застосування золи виносу у бетоні є ДСТУ EN 450-1:2019 «Золи винесення для застосування у бетонах. Частина 1. Визначення, специфікація та критерії відповідності», який встановлює вимоги до хімічних та фізичних характеристик золи, критерії відповідності, правила відбору проб та інші умови її використання [4]. Отже, використання золи виносу як вторинної сировини у будівельному виробництві має здійснюватися з урахуванням її фактичних властивостей та відповідності встановленим вимогам.

Однією з основних переваг використання золи виносу у цементних матеріалах є її здатність одночасно виконувати пуцоланову та мікронаповнювальну функції [90; 101]. Сферична форма частинок може сприяти покращенню рухливості та зручності укладання бетонної суміші, тоді як заповнення дрібними частинками порового простору сприяє формуванню більш щільної структури цементного каменю [90; 101]. Залежно від складу та дозування зола виносу може зменшувати водопотребу, водовідділення та тепловідділення під час гідратації, а також позитивно впливати на окремі характеристики довговічності бетону.

Застосування золи виносу як часткового замітника цементу має не лише технологічне, а й економічне та екологічне значення. Зменшення частки портландцементного клінкеру дає змогу скоротити потребу у первинній мінеральній сировині та енергетичні витрати, пов'язані з виробництвом цементу, а використання промислового побічного продукту зменшує обсяги його накопичення та захоронення [90; 101]. Отже, залучення золи виносу до

виробничого циклу відповідає принципам ресурсоефективності, промислової симбіозності та циркулярної економіки.

Динаміку фінансових показників ТОВ «УКРМЕГАПРОМ» є групою компаній. За 2021–2025 рр. представлено на рис. 2.31.

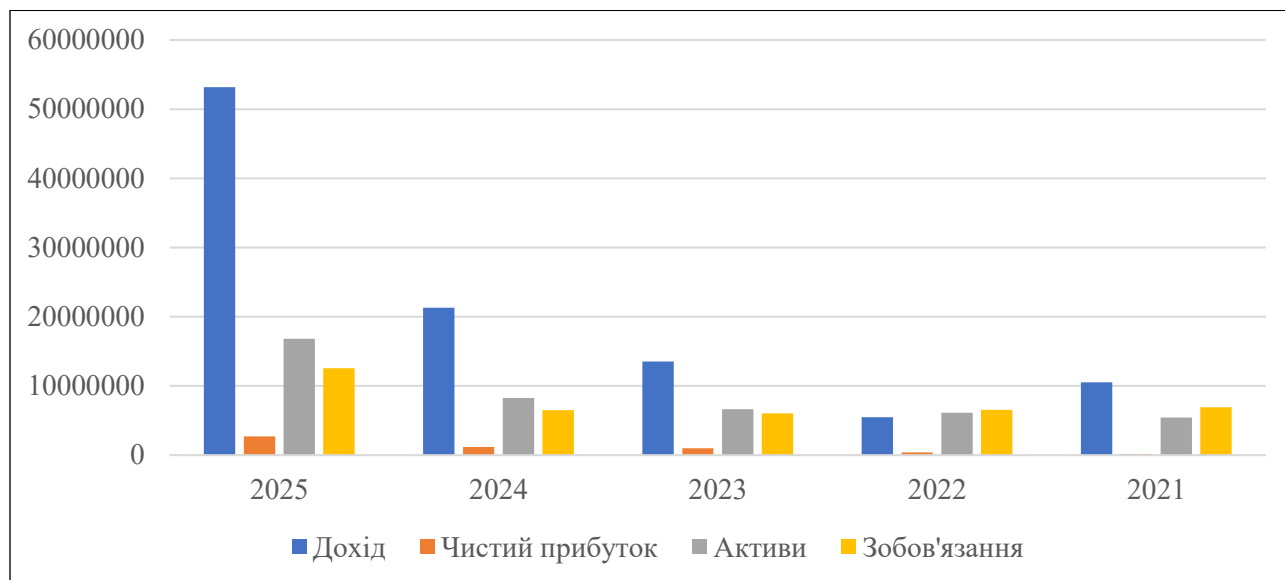


Рисунок 2.31 – Динаміка фінансових показників ТОВ «УКРМЕГАПРОМ»

Джерело: розраховано автором на основі звітності ТОВ «УКРМЕГАПРОМ»

Основні втрати підприємства пов'язані з логістикою та транспортуванням, енергоспоживанням, екологічним моніторингом, сертифікацією продукції, оплатою праці працівників та капітальними інвестиціями у переробний комплекс (закупівлею обладнання для сепарації та переробки, будівництва тощо).

Екологічний та економічний ефект бізнес-моделі формуються завдяки зменшенню накопичених промислових відходів, скороченню потреб у первинних нерудних матеріалах, зниженню витрат на захоронення, створення нових зелених робочих місць, розвитку індустріального симбіозу, інтеграції промисловості у модель сталого розвитку.

Така модель є прикладом переходу від лінійної моделі «видобуток – виробництво – відходи» до циркулярної моделі замкненого ресурсного циклу.

Для моделювання екологічних та економічних ефектів від діяльності підприємства з переробки золошлакових відходів доцільно використовувати систему кількісних показників, сценарний аналіз – порівняння базового («без

переробки») та інноваційного («з переробкою») сценаріїв. Такий підхід дає змогу оцінити як фінансову доцільність проєкту, так і його внесок у декарбонізацію та розвиток циркулярної економіки.

1. Система показників моделювання екологічного ефекту

Скорочення обсягів захоронення відходів (розраховується обсяг золошлаків, який не потрапляє до золовідвалів):

$$E_w = W_b - W_r,$$

де E_w – скорочення накопичення відходів;

W_b – обсяг відходів у базовому сценарії;

W_r – обсяг відходів після переробки.

Скорочення площ золовідвалів:

$$E_{land} = A_b - A_r,$$

де A_b – площа земель під відвалами до проєкту;

A_r – площа після переробки.

Зниження викидів CO_2 (особливо важливо, якщо золошлак заміщує цемент або природні мінеральні матеріали):

$$E_{CO_2} = Q_m \times EF,$$

де Q_m – обсяг заміщених матеріалів;

EF – коефіцієнт скорочення викидів.

Для переведення екологічних ефектів у грошові одиниці виміру доцільно застосувати підхід економічної оцінки екологічних вигод (environmental valuation). У такому випадку кожен екологічний показник трансформується у вартісний еквівалент через економію витрат, ринкову ціну ресурсів або вартість запобігання екологічним збиткам.

Вартісна оцінка скорочення обсягів захоронення відходів (економічний ефект визначається як економія витрат на розміщення та утримання золошлакових відвалів):

$$V_w = E_w * C_w,$$

де V_w – вартісний ефект від скорочення захоронення відходів;

E_w – обсяг скорочення накопичення відходів;

C_w – вартість захоронення 1 т відходів.

Вартісна оцінка скорочення площ золовідвалів (вивільнені земельні ресурси оцінюються через нормативну або ринкову вартість землі):

$$V_{land} = E_{land} * C_{land},$$

де V_{land} – вартість вивільнених земель;

E_{land} – скорочення площ відвалів;

C_{land} – вартість 1 га землі.

Вартісна оцінки зниження викидів CO_2 (оцінюється через вуглецевий податок, ціну квот ETS, соціальну вартість вуглецю):

$$V_{CO_2} = E_{CO_2} * P_{CO_2},$$

де V_{CO_2} – вартісний ефект скорочення CO_2 ;

E_{CO_2} – обсяг скорочених викидів;

P_{CO_2} – ціна 1 т CO_2 .

Отже, сукупний екологічний ефект від проєкту (E_{ecol}) можна порахувати як:

$$E_{ecol} = V_w + V_{land} + V_{CO_2}.$$

Монетизація екологічних ефектів переробки золошлакових відходів дозволяє інтегрувати екологічні результати в систему оцінювання інтегрального ефекту від проєкту. Запропонована система показників дає змогу комплексно оцінити екологічний ефект переробки золошлакових відходів через визначення рівня скорочення накопчених відходів, вивільнення земельних ресурсів та зниження вуглецевого навантаження. Використання цієї моделі є основою для обґрунтування екологічної доцільності технологій рециклінгу та розвитку зелених ланцюгів доданої вартості.

2. Система показників моделювання економічного ефекту

Дохід від реалізації продукції:

$$TR = P \times Q,$$

де TR – загальний дохід;

P – ціна продукції;

Q – обсяг реалізації.

Економія на захороненні:

$$S_d = W_r \times C_d,$$

де S_d – економія;

W_r – обсяг перероблених відходів;

C_d – вартість захоронення 1 т відходів.

Чистий сукупний економічний ефект:

$$E_{econ} = TR + S_d - TC,$$

де TC – загальні витрати.

3. Моделювання інтегрального еколого-економічного ефекту

$$IEEE = E_{ecol} + E_{econ},$$

де E_{ecol} – сукупний екологічний ефект;

E_{econ} – сукупний економічний ефект.

Як зазначено вище, сценарний підхід до оцінки ефективності проєктів рециклінгу може полягати у порівнянні базового сценарію («без переробки») та інноваційного сценарію («з переробкою»).

Складниками *базового сценарію* можуть бути такі події:

- золошлак накопичується у відвалах;
- використовується первинна сировина;
- зберігаються високі викиди CO_2 .

Складниками *інноваційного сценарію* можуть бути:

- частина відходів повертається у виробництво;
- скорочуються площі відвалів;
- зменшується використання природних ресурсів;
- знижуються викиди.

Отже, моделювання еколого-економічного ефекту дає змогу оцінити ефективність рециклінгу золошлаків, обґрунтувати інвестиційну привабливість проєкту, визначити внесок у декарбонізацію, оцінити потенціал розвитку циркулярної економіки, сформувати механізми інтеграції підприємства у зелені ланцюги доданої вартості. Додатковими джерелами доходів у зеленому ланцюгу доданої вартості у цій моделі можуть бути плата за приймання відходів,

екологічні гранти, скорочення екологічних платежів, економія природної сировини, зменшення витрат на рекультивацію, ефект для здоров'я населення, приріст ESG-вартості підприємств, вуглецеві кредити, приріст інвестиційної привабливості.

Діяльність передбачає оброблення золошлакових відходів шляхом механічного сортування (розсіву) за фракційним складом. Золошлакові відходи утворюються на теплових електростанціях під час сумісного гідровидалення золи і шлаку та використовується як вторинний мінеральний матеріал для виготовлення будівельних розчинів, бетонів, будівельних матеріалів і виконання будівельних робіт. Річний обсяг оброблення золошлакових відходів становить 86 тис. тонн/рік.

Залучення відходів у господарський обіг дає змогу:

- зменшити витрати утворювача відходів на розміщення відходів 145,5 грн/тонн (екологічний податок), витрати на утримання золошлакозакладаювача відходів;

- запобігати вилученню нових земельних ділянок для розміщення відходів у навколишньому природному середовищі;

- зменшити собівартість виробництва електроенергії;

- заощадити використання природних ресурсів (щебінь, пісок, глина) до 86 тис. тонн на рік;

- зменшити обсяги утворення відходів під час видобутку природних ресурсів більше 8 600 тонн/рік;

- зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря та під час видобутку природних ресурсів, зокрема:

- речовин у вигляді суспендованих твердих частинок – не менше 0,2 кг/т (17,2 тонн/рік);

- оксидів азоту (NO_x), оксиду вуглецю (CO), діоксиду сірки (SO_2) – не менше 0,25 кг/т (21,5 тонн/рік);

- діоксиду вуглецю (CO_2) – не менше 2 кг/т (172 тонн/рік).

Скорочення викидів діоксиду вуглецю (CO_2), різниця між видобутком природної сировини та діяльністю з оброблення відходів становить 113 тонн/рік.

Таблиця 2.13 – Вихідні дані для розрахунку еколого-економічного ефекту

Частка переробки (%)	100
Собівартість переробки (грн/т)	456,81
Вартість захоронення (грн/т)	800
Ринкова ціна вторинної продукції (грн/т)	700
Коефіцієнт скорочення CO ₂	0,657 (65,7 %)
Вартість CO ₂ у системі торгівлі квотами (грн за 1 кг)	3,5–4,0
Частка переробки (%)	100

Загальна характеристика діяльності підприємства наведена у Додатку Г.

Проведемо розрахунок Інтегрального еколого-економічного ефекту від рециклінгової діяльності на прикладі показників діяльності ТОВ «УКРМЕГАПРОМ» (табл. 2.14).

Таблиця 2.14 – Результати розрахунку Інтегрального еколого-економічного ефекту від рециклінгової діяльності

Показник	2021	2022	2023	2024	2025
Обсяг переробки, т	36 000	68 000	76 000	84 000	86 000
Заміщення первинної сировини, т	36 000	68 000	76 000	84 000	86 000
Запобігання утворенню відходів видобутку, т	3 600	6 800	7 600	8 400	8 600
Умовно вивільнена площа, га	1,03	1,94	2,17	2,40	2,46
Вартість вивільненої землі, млн грн	1,029	1,943	2,171	2,400	2,457
Економія на захороненні, млн грн	28,800	54,400	60,800	67,200	68,800
Зниження викидів CO ₂ , т	47,30	89,35	99,86	110,37	113,00
Вартість скорочення CO ₂ , млн грн	0,166– 0,189	0,313– 0,357	0,350– 0,399	0,386– 0,441	0,396– 0,452
Сукупний екологічний ефект, млн грн	29,994– 30,018	56,656– 56,700	63,321– 63,371	69,986– 70,041	71,653– 71,709
Економічний ефект (прибуток), млн грн	15,039	35,256	38,653	41,705	43,433
Інтегральний еколого-економічний ефект від рециклінгової діяльності, млн грн	45,033– 45,057	91,911– 91,956	101,974– 102,024	111,691– 111,746	115,086– 115,143

Результати розрахунків засвідчують послідовне зростання еколого-економічного ефекту від рециклінгової діяльності ТОВ «УКРМЕГАПРОМ» для всього ланцюга створення вартості протягом 2021–2025 рр. Обсяг переробки золошлакових відходів збільшився з 36,0 тис. т у 2021 р. до 86,0 тис. т у 2025 р., що забезпечило сукупне залучення до господарського обігу 350 тис. т вторинної мінеральної сировини. З урахуванням економії витрат на захоронення, умовної вартості вивільнених земельних ресурсів та монетизованого скорочення

викидів CO₂ екологічний ефект зріс із 29,99–30,02 млн грн у 2021 р. до 71,65–71,71 млн грн у 2025 р. Одночасно економічний ефект, представлений фактичним прибутком підприємства, збільшився з 15,04 млн грн до 43,43 млн грн. Інтегральний еколого-економічний ефект від рециклінгової діяльності відповідно зріс із 45,03–45,06 млн грн у 2021 р. до 115,09–115,14 млн грн у 2025 р. (рис. 2.32).

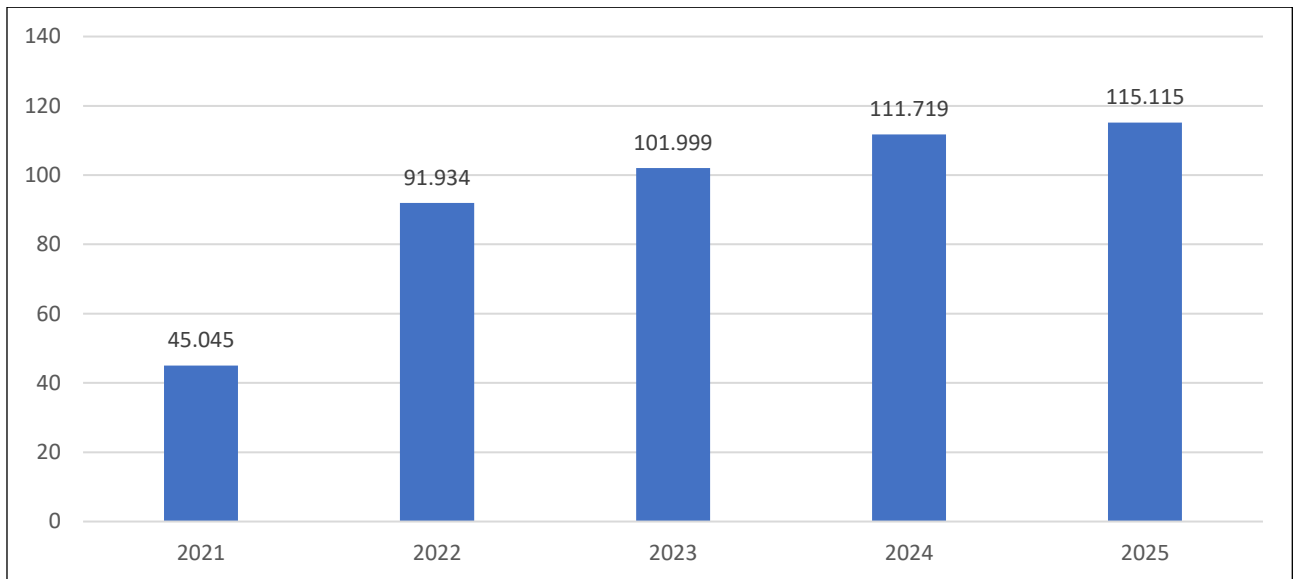


Рисунок 2.32 – Динаміка середнього значення Інтегрального еколого-економічного ефекту від рециклінгової діяльності, млн грн, 2021–2025 рр.

Джерело: побудовано за розрахунками автора

Отже, авторський метод розрахунку еколого-економічного ефекту від рециклінгової діяльності, апробований на прикладі ланцюга створення вартості, базовою рециклінговою компанією якого є ТОВ «УКРМЕГАПРОМ», підтверджує синергетичний характер екологічних та економічних результатів трансформації промисловості до моделі зеленого ланцюга доданої вартості. Зростання обсягів залучення золошлакових відходів до господарського обороту одночасно забезпечує скорочення їх захоронення, збереження земельних ресурсів, зниження вуглецевого навантаження та заміщення первинної сировини, що супроводжується підвищенням економічної результативності рециклінгової діяльності. Отже, екологічні результати в цьому випадку не є

альтернативою економічної ефективності, а формують додаткову вартість у ланцюгу та посилюють його економічну результативність.

Запропонований підхід передбачає оцінювання ефективності технологій рециклінгу через моделювання інтегрального еколого-економічного ефекту, що дає змогу враховувати як фінансові результати діяльності підприємства, так і екологічні вигоди від декарбонізації та ресурсозбереження.

Висновки до розділу 2

У роботі визначено, що сучасний розвиток рециклінгу у світі відбувається в умовах стійкого зростання масштабів утворення відходів, яке випереджає можливості традиційних систем їх збирання, оброблення та утилізації. Світове утворення відходів зросло з 1,3 млрд т у 2012 р. до приблизно 2,56 млрд т у 2022 р., що свідчить про посилення ресурсного та екологічного навантаження на промисловість, економіку та біосистему планети загалом. Водночас простежується чітка диференціація між країнами: вищий рівень доходів супроводжується більшим утворенням відходів на душу населення, але водночас – розвитком більш організованих систем їх збирання та переробки. Найвищі показники збору та найбільша орієнтація на матеріальне відновлення характерні для країн із високим рівнем доходу, тоді як у країнах із низьким рівнем доходу домінують захоронення, неконтрольоване скидання та спалювання.

Водночас виявлена динаміка дає змогу визначити структурний тренд переходу від переважно лінійної моделі поводження з відходами до ресурсно-орієнтованої моделі рециклінгу, особливо в економічно розвинених країнах. Якщо глобально орієнтовно 29 % побутових відходів спрямовується на захоронення, а лише приблизно 21 % проходить вторинну обробку через переробку, компостування та анаеробне зброджування, то в країнах із високим рівнем доходу переробка та компостування вже разом охоплюють майже 40 % відходів. Це свідчить про поступове зміщення акцентів від кінцевого видалення відходів до повернення матеріалів у господарський оборот, що є ключовою тенденцією розвитку рециклінгу та передумовою формування циркулярної промисловості. Водночас прогнозоване подальше зростання утворення відходів, особливо в країнах із низьким та середнім рівнем доходу, актуалізує необхідність поширення технологій рециклінгу, розвитку інфраструктури вторинної переробки та інтеграції принципів циркулярності безпосередньо у промислові виробничі ланцюги.

Зроблено висновок, що трансформація моделі управління відходами в Україні має нелінійний характер, що значною мірою визначається структурними

змiнами економiки та промислового виробництва. Упродовж досліджуваного періоду система поступово відходила від переважно екстенсивної моделі, за якої збільшення масштабів виробництва супроводжувалося пропорційним зростанням відходоутворення, однак цей процес не набув стійкої висхідної динаміки. Високий прямий зв'язок між випуском товарів і послуг та обсягами утворення відходів ($r = 0,922$), а також висока пояснювальна здатність регресійної моделі ($R^2 = 0,890$) підтверджують збереження залежності екологічного навантаження від ресурсомісткості економічного розвитку. Водночас від'ємний, хоча статистично незначущий коефіцієнт у разі капітальних інвестицій вказує на потенційну роль модернізації виробництва у зниженні відходоємності за умови переорієнтації інвестицій на ресурсоефективні та природоохоронні технології. Структура утворення відходів додатково засвідчує промислову специфіку української моделі: у 2024 р. приблизно 91,4 % їх загального обсягу припадало на добувну промисловість, а переважна частина – на добування металевих руд. Отже, ключовим напрямом трансформації стає не лише скорочення абсолютних обсягів відходів, а насамперед зміна характеру їх використання – від накопичення та захоронення до повернення матеріалів у виробничий цикл, розвитку промислового симбіозу та формування замкнених ресурсних ланцюгів.

Інституційна динаміка свідчить про поступовий перехід України від фрагментарного нормативного регулювання до системної європейської моделі управління відходами, однак практична реалізація цієї трансформації залишається незавершеною. Запропоновано авторську методику розрахунку Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами. Його апробація на статистичних даних України в динаміці з 2010 до 2024 р. продемонструвала хвилеподібну динаміку, що відображає нерівномірний характер переходу України до циркулярної моделі, за якого зміни структури промислового виробництва, нормативно-інституційні реформи та розвиток окремих напрямів відновлення чергувалися з періодами збереження високої відходомісткості, недостатньої інфраструктурної спроможності та впливу кризових і воєнних факторів. Водночас прийняття Закону країни «Про управління відходами»,

затвердження НПУВ до 2033 року та наближення законодавства до *acquis* ЄС створили нову інституційну основу для переходу до ієрархічної моделі, орієнтованої на запобігання утворенню, повторне використання, рециклінг і відновлення. Водночас порівняння цільових орієнтирів НПУВ з вимогами ЄС показало їм нижчу амбітність, насамперед щодо рециклунгу та скорочення захоронення. Отже, сучасний етап формування моделі управління відходами в Україні характеризується переходом від нормативного закріплення принципів циркулярності до їх практичної імплементації, результативність якої залежатиме від розвитку інфраструктури рециклінгу, зміни структури інвестицій, запровадження економічних стимулів, розширеної відповідальності виробника та залучення промислових відходів до формування зелених ланцюгів доданої вартості.

Запропоновано науково-методичні підходи до оцінки ефективності впровадження технологій рециклінгу для підприємств, що базуються на комплексному поєднанні екологічних та економічних критеріїв оцінювання в межах концепції циркулярної економіки та зелених ланцюгів доданої вартості. Запропонований підхід передбачає оцінювання ефективності технологій рециклінгу через моделювання інтегрального еколого-економічного ефекту, що дає змогу враховувати як фінансові результати діяльності підприємства, так і екологічні вигоди від декарбонізації та ресурсозбереження.

Отримані результати апробації авторських підходів доводять, що ефективність технологій рециклінгу доцільно оцінювати не лише через прибутковість окремого підприємства, а через їх здатність одночасно створювати економічну цінність і скорочувати ресурсне та екологічне навантаження в цьому ланцюгу створення вартості. На прикладі переробки золошлакових відходів встановлено синергетичний характер таких ефектів: повернення відходів у виробничий цикл забезпечує заміщення первинної сировини, запобігання утворенню нових відходів, скорочення потреби у земельних ресурсах, зниження вуглецевих викидів та одночасне формування прибутку від реалізації вторинної продукції. Це дає змогу розглядати рециклінгову технологію як інструмент не лише екологізації виробництва, а й

формування зеленого ланцюга доданої вартості, у якому відходи набувають статусу вторинного ресурсу, а екологічні ефекти трансформуються у додаткову економічну цінність. Запропонований підхід може бути використаний підприємствами для обґрунтування інвестицій у технології рециклінгу, оцінювання їх економічної доцільності та визначення внеску у перехід до циркулярної моделі виробництва.

Основні результати проведеного дослідження опубліковані у працях автора [15; 17].

РОЗДІЛ 3

МЕХАНІЗМИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЦИКЛІНГУ У ПРОЦЕСІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ДО МОДЕЛІ «ЗЕЛЕНОГО» ЛАНЦЮГА ДОДАНОЇ ВАРТОСТІ

3.1. Циркулярна стійкість підприємства як індикатор оцінки ефективності технологій рециклінгу

Циркулярна економіка виникла у 2000-х рр. як похідна модель від концепцій сталого розвитку [200], екологічної економіки [63], концепції Zero Waste [136], промислової екології [95]. Модель циркулярної економіки – це модель 3R (Reduce, Reuse and Recycle), що означає зменшення впливу на навколишнє середовище та споживання невідновлюваних ресурсів, повторне використання ресурсів, переробку відходів. Основні критерії циркулярної економіки представлені на рис. 3.1.

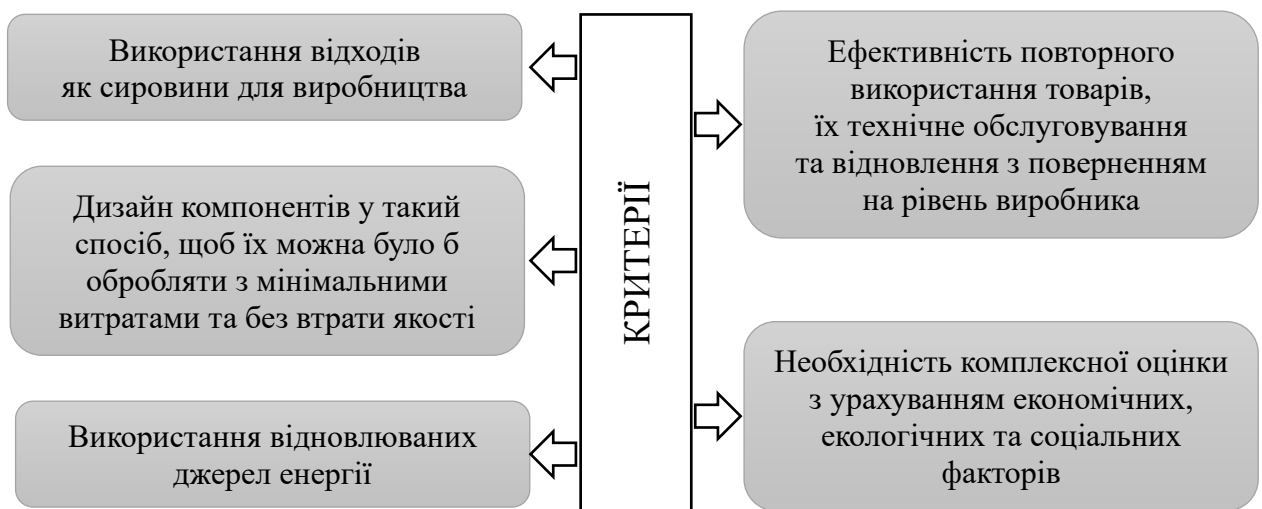


Рисунок 3.1 – Основні критерії циркулярної економіки

Джерело: побудовано автором на основі [112]

Циркулярна економіка є драйвером, поштовхом до нової промислової революції. Циркулярна трансформація бізнесу – одна з глобальних тенденцій стійкого розвитку підприємства. Створення та застосування циркулярних бізнес-моделей вимагає концептуального розуміння змін, а також розробку та впровадження в практику показників для оцінки рівня циркулярної

трансформації бізнесу. Використання циркулярних бізнес-моделей забезпечує підприємствам економічну, екологічну та соціальну стійкість.

Логічно з цього приводу ввести визначення авторської категорії «циркулярна стійкість підприємства». У науковій літературі зустрічаються низка близьких за змістом термінів, як-от «рівень розвитку циркулярної економіки підприємства» та «рівень циркулярності підприємства». Варто зазначити, що ці поняття є тісно пов'язаними, але не тотожними. Економічний напрям дослідження дефініції «циркулярна економіка підприємства» має власні підходи до визначення, види та форми. Крім загальновизнаних визначень, дослідниками та світовими інституціями виокремлено специфічні підходи до трактування цього поняття (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Визначення поняття «циркулярна економіка підприємства»

Автори, джерела	Визначення
Фонд Елен Макартур	Модель ведення бізнесу, яка прагне мінімізувати відходи та максимізувати повторне використання та переробку ресурсів протягом усього життєвого циклу продукту [199]
Європейська комісія	Система, яка оптимізує використання ресурсів та мінімізує відходи, проєктуючи, виробляючи, використовуючи та утилізуючи продукти в такий спосіб, щоб максимізувати повторне використання матеріалів [85]
WBCSD	Бізнес-стратегія, яка зосереджена на створенні довгострокової цінності для підприємства та суспільства шляхом зменшення використання ресурсів, відходів та викидів [58]
Дж. Кірхерр, Д. Рейке, М. Хеккерт	Економічна система, яка ґрунтується на бізнес-моделях, що передбачають альтернативне повторне використання з метою досягнення сталого розвитку, збереження навколишнього середовища, економічного зростання і соціальної справедливості в інтересах теперішніх і майбутніх поколінь [111, с. 221–232]
М. Гайсдорфер	Регенеруюча система, в якій витрати ресурсів, викиди і втрати енергії мінімізуються завдяки закриттю і зменшенню матеріальних і енергетичних циклів [191, с. 757–768]
	Економічна парадигма, яка відходить від лінійної моделі «використати і викинути» на користь системи, де ресурси постійно використовуються, відновлюються та переробляються [191]

Джерело: узагальнено автором на основі [58; 85; 191; 111; 199]

Систематизація наукових підходів до визначення дефініції «циркулярна економіка підприємства» дала змогу визначити основні підходи до трактування цього поняття, як бізнес-моделі, економічної парадигми та бізнес-стратегії, що

оптимізує використання ресурсів через призму підвищення ефективності їх використання за допомогою якісних змін у реалізації операційної, комерційної та іншої діяльності. Поняття циркулярності підприємства є похідним від рівня циркулярної економіки підприємства (табл. 3.2).

Узагальнюючи визначення, наведені у табл. 3.2, під циркулярністю підприємства розуміємо концепцію, що описує те, як підприємство використовує ресурси та управляє своїми відходами. Це зосереджується на практиках, які мінімізують відходи та максимізують повторне використання й переробку матеріалів.

Щодо авторського поняття «циркулярна стійкість підприємства» ще М. Гайсдорфер, П. Саважет, Н. М. П. Бокен, Е. Я. Гюлтінк [191] проаналізували подібне й відмінне між циркулярною економікою та стійкістю, а також встановили межі і зв'язки між обома термінами. Перший визначається як регенеративна система, в якій ресурси, відходи, викиди та втрати енергії зведені до мінімуму шляхом уповільнення та закриття циклів продукту й енергії завдяки довговічній конструкції, технічному обслуговуванню, ремонту, повторному використанню, повторному виготовленню, реконструкції або переробці пристрою. Ми повністю погоджуємося з науковцями, які стверджують, що стійкість стосується збалансованого об'єднання аспектів економічної ефективності, соціальної інклюзивності та стійкості навколишнього середовища на благо теперішнього та майбутніх поколінь.

Таблиця 3.2 – Визначення поняття «циркулярність підприємства»

Автори, джерела	Визначення
Re:inventex	Передбачає функціонування циклічних бізнес-моделей [159]
В. С. Шебанін, Г. О. Решетілов	Економічна модель, що представляє сталий розвиток як перехід від лінійної моделі, що базується на споживанні та утилізації, до моделі, в якій термін служби продуктів – максимально можливий, а матеріали і відходи мінімізуються [23]
Міжнародний фонд «Відродження»	Відіграє важливу роль у трансформації галузей промисловості та може створити значну економію ресурсів у межах виробничих процесів, створити додану вартість та розширити економічні можливості промислових підприємств [10, с. 4]
О. М. Яценко	Ефективне повторне використання та переробка ресурсів, матеріалів і продуктів у замкнених циклах [25, с. 154]

Джерело: узагальнено автором на основі [10; 23; 25; 159]

Однак ця стійкість є не загальновизнаним визначенням, а дефініцією, що зосереджується на здатності підприємства довгостроково підтримувати циркулярні практики. Це є ніщо інше, як «циркулярна стійкість підприємства».

Циркулярна стійкість підприємства – це більш широка концепція, яка охоплює не лише циркулярні практики, але й соціальні та економічні аспекти стійкості. Це означає, що підприємства, які прагнуть до циркулярної стійкості, повинні не лише мінімізувати свій вплив на навколишнє середовище, але й забезпечувати справедливий розподіл переваг циркулярної економіки, захищати права людини, діяти етично та впроваджувати стійкі практики управління.

Отже, схожість між цими категоріями полягає в тому, що всі вони направлені на оптимізацію використання ресурсів, зменшення відходів та підвищення ефективності з погляду екологічної стійкості. Кожна з них використовує принципи циркулярної економіки для досягнення більш сталого розвитку. Відмінності між категоріями «циркулярна економіка підприємства», «циркулярність підприємства» та «циркулярна стійкість підприємства» можна розглянути більш детально з позиції їх концептуальної основи, практичного застосування та стратегічного значення для підприємства (табл. 3.3).

Отже, дослідивши концептуальні положення розглянутих категорій, варто зазначити, що кожна має своє стратегічне значення та застосування в контексті цілісної стратегії стійкого розвитку підприємства.

Враховуючи схожість і відмінності цих категорій, надано такі визначення:

Циркулярна економіка підприємства фокусується на імплементації принципів циркулярної економіки в управління, операції та бізнес-моделі підприємства. Головна мета полягає в мінімізації відходів та максимальному повторному використанні ресурсів. Це може включати різні практики, як-от переробка матеріалів, використання побічних продуктів, продовження життєвого циклу продуктів тощо.

Циркулярність підприємства – більш ширший термін, що може включати не тільки циркулярні практики в межах одного підприємства, але й у взаємодії з іншими підприємствами та стейкхолдерами. Циркулярність може включати створення мережі партнерів для замкненого циклу використання ресурсів,

співпрацю з постачальниками та споживачами для підтримки циркулярних ініціатив.

Таблиця 3.3 – Ключові відмінності між категоріями «циркулярність підприємства», «циркулярна економіка підприємства» та «циркулярна стійкість підприємства»

Аспект	Циркулярність підприємства	Циркулярна економіка підприємства	Циркулярна стійкість підприємства
Фокус	Взаємодія підприємства з іншими учасниками ринку для створення циркулярних ланцюгів постачання	Пряме застосування принципів циркулярної економіки для всіх аспектів діяльності підприємства	Здатність підприємства довготривало підтримувати свою циркулярність в умовах, що змінюються
Мета	Розширення циркулярної практики за межі одного підприємства, співпраця з постачальниками та споживачами	Зменшення відходів, максимальне повторне використання матеріалів, ефективне управління ресурсами	Забезпечення довгострокової стійкості підприємства через циркулярні практики, адаптація до зовнішніх та внутрішніх змін
Застосування	Створення партнерств та мережі з іншими організаціями для замкнутого використання ресурсів	Впровадження інноваційних методів виробництва, переробки, ремонту, рециклінгу тощо	Впровадження циркулярних інновацій, які є стійкими до технологічних, економічних та екологічних змін
Підхід	Інтеграція екосистеми бізнесу в напрям циркулярності через стратегічні партнерства і колаборації	Зміна бізнес-моделей та виробничих процесів, щоб адаптувати їх до концепції циркулярної економіки	Стратегічне планування та управління ризиками, пов'язаними із циркулярними практиками

Отже, під «циркулярністю підприємства» ми пропонуємо розуміти характеристику ступеня замкненості та ефективності використання ресурсних і матеріальних потоків у процесі створення вартості, яка визначається масштабом повторного використання, відновлення, рециклінгу та повернення ресурсів і матеріалів у господарський оборот, а також рівнем запобігання утворенню відходів та їх залучення до подальших виробничих процесів.

Циркулярна стійкість підприємства – довгострокова спроможність підприємства підтримувати циркулярні практики, що сприяють екологічній стійкості та економічній вигоді. Циркулярна стійкість включає адаптацію до змін у законодавстві, ринкових умовах, технологічних нововведеннях, а також управління ризиками, пов'язаними з циркулярними ініціативами.

Як зазначено у праці М. Шкурат та А. Лозінського, «успішне впровадження циркулярних рішень залежить від ефективного управління ресурсними потоками, розвитку інфраструктури для переробки відходів та інноваційних підходів у виробничих процесах» [24].

Отже, відмінності визначаються переважно рівнем застосування і концентрацією на конкретних аспектах управління і стратегії. Так, «циркулярна економіка підприємства» зосереджена більше на внутрішніх процесах, «циркулярність підприємства» охоплює взаємодію з зовнішнім середовищем, а «циркулярна стійкість підприємства» зосереджена на довгостроковій перспективі і включенні циркулярних практик у загальну стратегію стійкості.

Отже, під поняттям «циркулярна стійкість підприємства» ми пропонуємо розуміти інтегральну характеристику здатності підприємства забезпечувати довгострокову економічну життєздатність і адаптивність шляхом системної інтеграції принципів циркулярної економіки в процеси створення вартості, що передбачає ефективне використання ресурсів, замкнення матеріальних потоків, мінімізацію утворення відходів та їх повторне залучення до господарського обороту, одночасно забезпечуючи позитивні екологічні та соціальні результати.

Теоретичним підґрунтям циркулярної стійкості підприємства є симбіоз економічних теорій, що повинні лежати в основі зазначеної концепції (рис. 3.2).

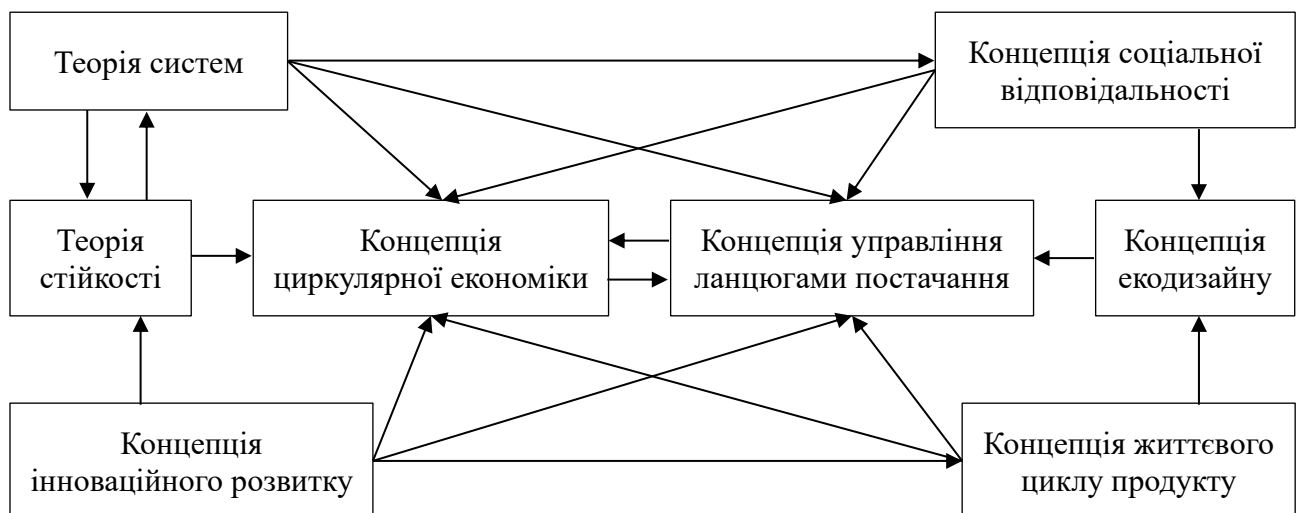


Рисунок 3.2 – Схема взаємозв'язку теорій і концепцій,
що лежать в основі концепції циркулярної стійкості підприємства

Джерело: розроблено автором

Базовою теорією, яку покладено в дослідження циркулярної стійкості підприємства, є *теорія систем* як міждисциплінарний підхід, що розглядає складні системи як цілісні утворення, які складаються зі взаємопов'язаних елементів. Термін «теорія систем» був введений ще Л. Берталанфі (початок 30-х рр. XX ст.), який досліджував загальні властивості, що притаманні будь-яким досить складним організаціям матерії незалежно від їх природи (фізичної, біологічної, соціальної тощо) [206–207]. Однак подібні дослідження проводилися і раніше. У 50–70-ті рр. XX ст. було запропоновано низку нових підходів до побудови загальної теорії систем науковцями М. Месарович і Й. Такахара [128–130] та іншими.

Загальною рисою цих підходів була розробка логіко-концептуального і математичного апарату системних досліджень.

Теорія систем може бути дуже корисним підґрунтям для дослідження циркулярної стійкості підприємств, адже вона дає змогу:

- зрозуміти складність та взаємопов'язаність елементів, що впливають на циркулярну стійкість, бо підприємство є відкритою системою, що взаємодіє з контрагентами, регуляторами та навколишнім середовищем;
- ідентифікувати ключові важелі впливу завдяки аналізу взаємозв'язків між елементами системи, що дає змогу дослідникам визначити найбільш впливові на циркулярну стійкість чинники. Це може допомогти підприємствам зосередити свої зусилля на найбільш ефективних способах покращення своєї стійкості;
- розробити цілісні стратегії циркулярної стійкості, які враховують всі аспекти діяльності підприємства, що допомагатиме уникнути фрагментарних підходів та забезпечити більш стійкі і довгострокові результати;
- моделювати поведінку системи з використанням комп'ютерних моделей для імітації поведінки системи та прогнозування впливу різних змін на циркулярну стійкість. Це стане у нагоді підприємствам для прийняття більш обґрунтованих рішень щодо своїх стратегій.

Ще одним цінним інструментом, що може допомогти дослідникам та практикам краще зрозуміти й покращити циркулярну стійкість підприємства, є *концепція життєвого циклу продукту*, розроблена ще у 1965 р. Т. Левітом [122],

яка описує різні етапи проходження продукту протягом свого існування, від його розробки до утилізації.

Ця теорія дає змогу:

- зрозуміти вплив продукту на навколишнє середовище протягом усього його життєвого циклу, що передбачає визначення тих етапів, які мають найбільший вплив на навколишнє середовище. Це може допомогти підприємствам зосередити свої зусилля на зменшенні негативного впливу своїх продуктів на навколишнє середовище протягом усього їх життєвого циклу;

- розробити стратегії циркулярної економіки, які включатимуть розробку продуктів з більшою тривалістю життя, легкістю ремонту та переробки, а також впровадження систем зворотного зв'язку для збору та переробки відходів;

- оцінити ефективність циркулярних стратегій підприємств шляхом визначення економічних ефектів щодо зменшення негативного впливу продуктів підприємства на навколишнє середовище у контексті реалізації циркулярної стратегії.

Похідною від теорії життєвого циклу товару є *концепція екодизайну* як цілісний підхід до проєктування продуктів, який враховує їх вплив на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу: від проєктування до його утилізації, що використовує такі основні принципи:

- зменшення використання ресурсів (матеріалів та енергії) під час виробництва продукту;

- збільшення довговічності продуктів;

- можливість повторного використання або продукту, або його компонентів;

- можливість переробки продуктів з використанням перероблених матеріалів у виробництві продукту та проєктування продуктів, які легко переробляються;

- зменшення токсичності продукту через використання нетоксичних матеріалів та компонентів у виробництві продукту.

У сучасній науці дослідження функціональних аспектів циркулярної стійкості підприємства отримало багатий теоретичний базис, здебільшого

завдяки науковому доробку авторів теорії ланцюга постачання, які здебільшого є експертами з логістики: Дж. Аєрс [41], С. Чопра [53], М. Крістофер [54], С. Коен [62], Д. Х'юз [105], Д. Ламберт [116]. Їх дослідження зосереджені на питаннях транспортних потоків, включно з товарними потоками, їх взаємозв'язком з логістичними мережами, що допомагає в ідентифікації можливостей для покращення циркулярності в ланцюгу постачання, наприклад, завдяки використанню перероблених матеріалів, співпраці з постачальниками, які також дотримуються принципів циркулярної економіки, та впровадженню систем зворотного зв'язку. Це сприятиме створенню більш стійких та ефективних ланцюгів постачання.

У контексті *теорії стійкості* результатом розвитку концепції циркулярної стійкості підприємства стане модель економічної системи, де ресурси використовуються максимально ефективно, відходи мінімізуються, а продукти та матеріали повторно використовуються або переробляються протягом якнайдовшого часу.

Циркулярна стійкість забезпечить підприємствам, що впроваджують технології рециклінгу, низку переваг, зокрема:

- зменшення впливу на навколишнє середовище, бо циркулярна стійкість може допомогти зменшити забруднення, виснаження ресурсів та зміну клімату;
- підвищення економічної стійкості, бо циркулярна стійкість може допомогти підприємствам знизити витрати та створити нові робочі місця;
- стимулювання інновацій, бо циркулярна стійкість вимагатиме від підприємств розробку нових продуктів, технологій та бізнес-моделей.

Концепція циркулярної економіки відіграє важливу роль у дослідженні циркулярної стійкості та передбачає впровадження альтернативної економічної моделі, заснованої на реалізації замкнених циклів у процесі виробництва, обігу та споживання [111]. Ця модель забезпечить підприємствам скорочення споживання сировинних і енергетичних ресурсів, зниження негативного впливу на навколишнє середовище, мінімізацію відходів та стимулювання інновацій.

На відміну від класичної лінійної моделі «взяти, використати та викинути», циклічна модель пропонує підприємствам отримати додаткові джерела прибутку шляхом застосуванням комплексу циклічних принципів 10R (рис. 3.3).

10R		<i>Характеристика принципу</i>
(1R) REFUSE	→	<i>Відмова від надлишкового використання ресурсів</i> (зайвих або одноразових елементів пакування, використання сировини без сертифікату походження, вантажних засобів, які працюють на дизелі, використання одноразового посуду в закладах харчування)
(2R) REDUCE	→	<i>Скорочення використання ресурсів</i> (зменшення частки або заміна токсичної сировини, збільшення частки використання енергії з відновлюваних джерел, використання обладнання з високим класом енергоефективності та рівнем автоматизації тощо)
(3R) REUSE	→	<i>Використання продукту, що втратив цінність для одного користувача</i> , але все ще перебуває у хорошому стані та виконує свою початкову функцію, а отже, – становить цінність для іншого користувача
(4R) REPAIR	→	<i>Процес із продовження терміну служби продукту</i> шляхом ремонту та додаткового обслуговування
(5R) REFURBISH	→	<i>Оновлення старого продукту</i> з метою відповідності функціоналу та вигляду сучасним вимогам клієнтів, що передбачає заміну тільки необхідних елементів, які не мають альтернативних властивостей сучасним аналогам
(6R) REMANUFACTURING	→	<i>Виробництво нових продуктів з елементів старого</i>
(7R) REPURPOSE	→	<i>Використання продукту для інших цілей</i>
(8R) RECYCLE	→	<i>Переробка та вторинне використання матеріалів</i>
(9R) RECOVER	→	<i>Виробництво енергії з матеріалів</i>
(10R) RETHINK	→	<i>Переосмислення використання того чи іншого продукту</i>

Рисунок 3.3 – Циклічні принципи 10R

Джерело: побудовано автором на основі [111]

Впровадження цих принципів дає змогу не лише зменшити екологічний вплив, але й відкриває нові бізнес-можливості, покращує конкурентоспроможність і забезпечує довгострокову стійкість підприємства.

Загалом циркулярна економіка та циркулярна стійкість мають потенціал стати ключовими елементами глобальної стратегії сталого розвитку.

Концепція соціальної відповідальності підприємства та її застосування у контексті циркулярної стійкості зосереджується на відповідальному ставленні компаній до суспільства, довкілля та своїх працівників. Включення принципів соціальної відповідальності в циркулярну економіку дає змогу підприємствам не тільки мінімізувати негативний вплив на природу, але й покращувати умови праці, сприяти розвитку громад і взагалі підвищувати якість життя.

У контексті циркулярної стійкості основними аспектами соціальної відповідальності стають:

- повага до прав людини через забезпечення гідних умов праці, відсутність дискримінації, дотримання прав працівників, включно з правом на безпечне та сприятливе для здоров'я робоче місце;
- розвиток спільнот шляхом підтримки місцевих громад через створення робочих місць, інвестиції в місцеву інфраструктуру, співпраця з місцевими підприємцями;
- залучення стейкхолдерів шляхом активного спілкування з усіма зацікавленими сторонами, включно зі споживачами, постачальниками, інвесторами та громадськістю, для забезпечення прозорості та врахування їхніх інтересів у бізнес-процесах;
- етична поведінка ведення бізнесу відповідно до високих етичних стандартів, боротьба з корупцією, забезпечення справедливої конкуренції;
- охорона здоров'я та безпека через реалізацію заходів щодо мінімізації ризиків на виробництві, особливо під час роботи зі вторинною сировиною або відходами. Підприємства повинні нести відповідальність за свій вплив на суспільство та навколишнє середовище.

Концепція інноваційного розвитку у контексті циркулярної стійкості зосереджується на розробці та впровадженні нових ідей, процесів, технологій і бізнес-моделей, які сприяють переходу від лінійної моделі «вироби – використовуй – викинь» до замкненого циклу, що зменшує залежність від

первинних ресурсів і мінімізує відходи. Ці інновації є ключовими для досягнення стійкості на всіх рівнях виробництва, споживання та управління відходами.

Варто зазначити, що Дж. Кірххер, Д. Рейке, М. Хеккерт [111], здійснивши компаративний аналіз теоретичного підґрунтя циркулярної стійкості, дійшли висновку, що циркулярна стійкість є системою, яка замінює концепцію життєвого циклу як поєднання скорочення матеріалів, повторного використання, переробки та відновлення під час процесів виробництва, розподілу та споживання на мікро- (продукти, компанії, споживачі), мезо- (екоіндустріальні парки) та макро- (місто, регіон, нація) рівнях. Важливо зазначити, що це лише деякі з теорій, які використовуються в дослідженні циркулярної стійкості підприємства. Дослідники можуть використовувати різні теорії та концепції або їх комбінації залежно від своїх конкретних дослідницьких питань.

З. Атаманчук, І. Дідович та В. Рильський зазначають: «Упровадження концепції сталого розвитку потребує ефективних інструментів. Стверджується, що саме економічні стимули залишаються найбільш дієвими механізмами змін, що вимагає створення концептуально нової моделі в цій площині. З огляду на це, особливої актуальності набуває концепція об'єднання лінійних виробничих ліній у замкнений цикл, а саме – циркулярна економіка як спосіб реалізації 17 Цілей сталого розвитку» [1].

3.2. Моделювання інтегрального еколого-економічного ефекту рециклінгової діяльності у процесі трансформації промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості

Сучасні економічні системи функціонують в умовах високого рівня невизначеності, нелінійності зв'язків та динамічних змін внутрішнього і зовнішнього середовища. Традиційні методи економічного аналізу, що базуються на статичних та компаративних підходах, часто виявляються недостатніми для розкриття глибинних причинно-наслідкових механізмів, які формують кінцевий фінансовий результат підприємства. У цьому контексті методологія системної динаміки, заснована Дж. Форрестером, постає як

потужний інструмент наукового пізнання [150]. Вона дає змогу концептуалізувати підприємство як складну кібернетичну систему з контурами зворотного зв'язку, накопичувачами (фондами) та темпами (потокми).

Теоретико-методологічною основою розробки імітаційної моделі отримання інтегрального еколого-економічного ефекту від рециклінгової діяльності у процесі трансформації промисловості до моделі зеленого ланцюга доданої вартості є гіпотеза про те, що розширення потужностей переробки промислових відходів здатне формувати не лише прямий економічний ефект для підприємства, а й додатковий інтегральний еколого-економічний ефект завдяки скороченню негативного антропогенного навантаження, збереженню ресурсів та запобіганню утворенню нових відходів.

Запропонована на рис. 3.4 структурно-логічна модель формування еколого-економічного ефекту від переробки золошлакових відходів ґрунтується на системному представленні взаємозалежності між масштабами рециклінгової діяльності, екологічними результатами, економічним вгодами та необхідними інвестиційними ресурсами. Концептуальною передумовою її побудови є положення про те, що переробка промислових відходів створює багатовимірний ефект, який не обмежується безпосереднім фінансовим результатом діяльності підприємства, а поширюється на ресурсну та екологічну сфери, формуючи додаткову суспільно-економічну вартість.

Відповідно до запропонованої моделі, первинним фактором формування результату є діяльність підприємства з переробки золошлакових відходів, що передбачає їх механічне сортування та виробництво вторинної продукції. Зміна масштабів цієї діяльності, насамперед обсягу та частки переробки відходів, виступає ключовим параметром, через який реалізується подальший ланцюг причинно-наслідкових залежностей. Вихідними умовами функціонування моделі є обсяг утворення золошлакових відходів, частка їх переробки, собівартість відповідних операцій, вартість захоронення, ринкова ціна вторинної продукції, коефіцієнт скорочення викидів CO₂, ціна вуглецю та вартість земельних ресурсів.

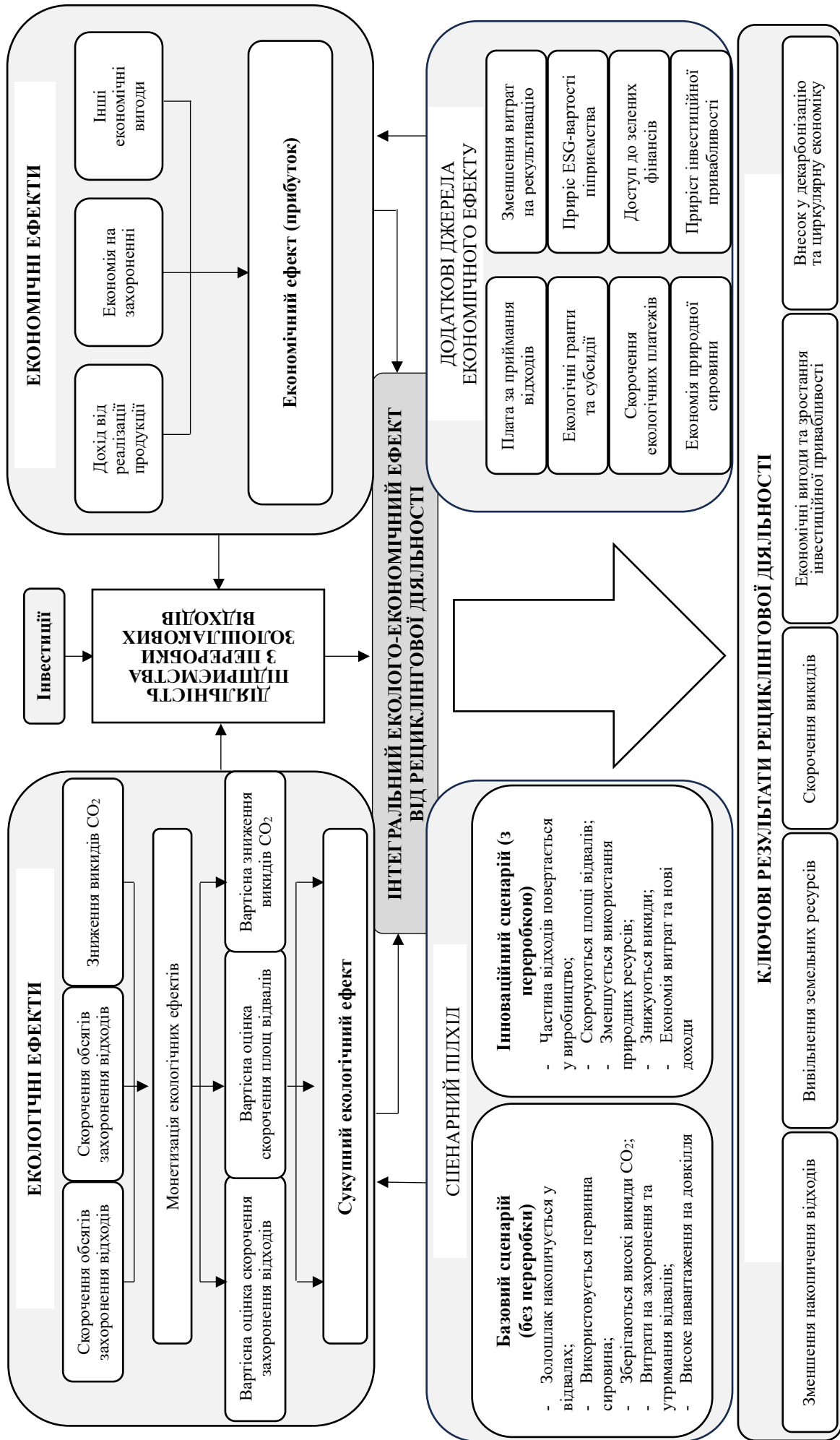


Рисунок 3.4 – Структурно-логічна модель причинно-наслідкових зв'язків у формуванні інтегрального еколого-економічного ефекту від рециклінгової діяльності

Джерело: розроблено автором

Зміна обсягу переробки безпосередньо зумовлює трансформацію потоків поводження з відходами. Збільшення кількості золошлакових відходів, що спрямовуються на переробку, відповідно зменшує їх обсяг, який потребує захоронення.

Така залежність є базовою для подальшого формування екологічного ефекту, оскільки скорочення захоронення одночасно зменшує потребу у відповідних потужностях та земельних ресурсах, а також ослаблює пов'язане з накопиченням і захороненням відходів антропогенне навантаження.

Наступним рівнем моделі є формування екологічних ефектів рециклінгової діяльності. У запропонованій конструкції вони представлені трьома взаємопов'язаними напрямками: скороченням обсягів захоронення відходів, скороченням площ земель, необхідних для їх захоронення, та зниження викидів CO_2 . Отже, фізичне збільшення обсягів переробки трансформується у конкретні зміни стану ресурсного та екологічного середовища. Зокрема, скорочення обсягів захоронення визначає зменшення навантаження на відповідну інфраструктуру, вивільнення земельних ресурсів характеризує просторовий ефект переробки, а зменшення викидів CO_2 відображає її потенційний внесок у скорочення вуглецевого навантаження.

Особливістю запропонованої моделі є монетизація зазначених екологічних результатів, що дає змогу інтегрувати їх із фінансовими показниками діяльності підприємства. Вартісна оцінка екологічних ефектів здійснюється через відповідні економічні еквіваленти: скорочення обсягів захоронення оцінюється на основі вартості захоронення збереження або вивільнення земельних ресурсів – через їх вартість, а скорочення викидів CO_2 – через вартість одиниці вуглецевих викидів. Через це окремі екологічні ефекти агрегуються у сукупний екологічний ефект, який стає співмірним із фінансовими результатами підприємства.

Паралельно з формуванням екологічного ефекту реалізація рециклінгової діяльності генерує безпосередні економічні результати. Насамперед вони пов'язані з отриманням доходу від реалізації вторинної продукції, економією витрат на захороненні та іншими економічними вигодами. Отже, на відміну від

екологічного блоку, де первинним результатом є зміна фізичних параметрів антропогенного навантаження, економічний блок відображає безпосередню трансформацію цих змін у фінансові результати підприємства.

Водночас модель передбачає ширше трактування економічного ефекту, оскільки враховує додаткові джерела створення економічної вартості, які можуть виникати внаслідок переходу до рециклінгової діяльності. До них віднесено економію природної сировини, скорочення екологічних платежів, можливість залучення екологічних грантів та субсидій, потенційні вигоди для здоров'я населення, приріст ESG-вартості підприємства, підвищення прибутковості та інвестиційної привабливості. Отже, модель враховує не лише безпосередні доходи від реалізації продукції, а й опосередковані і довгострокові результати екологічної трансформації виробничої діяльності.

Окреме місце у структурі моделі посідає інвестиційний компонент, який відображає ресурси, необхідні для переходу до переробки золошлакових відходів. Він охоплює капітальні витрати на обладнання та будівництво, операційні витрати, витрати на персонал, а також екологічні та соціальні витрати. Включення інвестиційного компонента дає можливість перейти від оцінювання потенційних позитивних ефектів до визначення чистого результату рециклінгової діяльності, оскільки отримані економічні та екологічні вигоди зіставляються з ресурсами, необхідними для їх формування.

Важливим елементом структурно-логічної моделі є сценарний підхід, за допомогою якого здійснюється порівняння альтернативних траєкторій поводження із золошлаковими відходами. Базовий сценарій передбачає продовження практики захоронення відходів із відповідним використанням первинної сировини, збереженням високого рівня викидів CO₂ та витратами на захоронення. Інноваційний сценарій, навпаки, передбачає залучення частини відходів до виробничого обороту, скорочення площ захоронення, зменшення використання природних ресурсів, скорочення викидів та формування економічних вигод.

Саме порівняння базового та інноваційного сценаріїв забезпечує можливість оцінити додатковий результат, який виникає внаслідок зміни

способу поводження з відходами. У цьому випадку імітаційне моделювання дає змогу досліджувати, як зміна одного або декількох параметрів – передусім частки та обсягу переробки – впливає на всю систему взаємопов’язаних показників. Це дає змогу перейти до статичної оцінки ефективності до дослідження динаміки формування результату залежно від масштабів рециклінгової діяльності.

Узагальнення результатів окремих блоків моделі здійснюється через інтегральний еколого-економічний ефект від рециклінгової діяльності, що визначається як сукупність екологічного та економічного ефектів з урахуванням інвестиційних витрат.

Така конструкція дає змогу розглядати рециклінгову діяльність як систему генерування сукупності вартості, в якій економічний результат підприємства доповнюється магнетизованими екологічними результатами, а кінцева оцінка коригується на обсяг ресурсів, необхідних для реалізації відповідного проєкту.

Методологія системної динаміки, реалізована в програмному середовищі Vensim, базується на концепції причинно-наслідкових зв’язків та потокових діаграм (Stock-and-Flow Diagrams) (рис. 3.5), що дає змогу формалізувати складні соціально-економічні та екологічні процеси.

Отримані результати підтверджують гіпотезу про те, що синергія екологічної модернізації та економічного зростання забезпечує стійкий кумулятивний ефект, роблячи проєкти глибокої переробки відходів високоефективними як на мікро-, так і на макрорівні.

Теоретико-методологічною основою розробки імітаційної моделі отримання інтегрального еколого-економічного ефекту від рециклінгової діяльності у процесі трансформації промисловості до моделі зеленого ланцюга доданої вартості є гіпотеза про те, що розширення потужностей переробки промислових відходів здатне формувати не лише прямий економічний ефект для підприємства, а й додатковий інтегральний еколого-економічний ефект завдяки скороченню негативного антропогенного навантаження, збереженню ресурсів та запобіганню утворенню нових відходів.



Рисунок 3.5 – Структурно-логічна схема системно-динамічної моделі формування інтегрального еколого-економічного ефекту від рециклінгу промислових відходів

В основу моделювання покладено положення про необхідність одночасного оцінювання економічних і екологічних результатів рециклінгу. У вихідній методиці передбачено використання системи кількісних показників і сценарного підходу, який дає змогу порівнювати стан системи за різних параметрів переробки та оцінювати не лише фінансову доцільність рециклінгової діяльності, а й її внесок у декарбонізацію, циркулярне використання ресурсів та формування зелених ланцюгів доданої вартості.

Принциповою особливістю запропонованої моделі є те, що екологічний результат не розглядається як зовнішній щодо економічної діяльності підприємства ефект. Навпаки, скорочення захоронення відходів, вивільнення земельних ресурсів, зменшення вуглецевого навантаження, заміщення первинної сировини та запобігання утворенню нових відходів трактуються як складники додаткової вартості, що виникає внаслідок рециклінгу.

Саме такий підхід відповідає логіці зеленого ланцюга доданої вартості, за якої екологічна результативність не протиставляється економічній ефективності, а доповнює її та формує додатковий інтегральний результат. Аналіз фактичних даних підприємства за 2021–2025 рр. уже засвідчив, що збільшення обсягів залучення золошлакових відходів до господарського обороту супроводжувалося скороченням їх захоронення, збереженням земельних ресурсів, зниженням вуглецевого навантаження, заміщенням первинної сировини та одночасним підвищенням економічної результативності.

Формування інформаційної бази імітаційної моделі

Отриманий вторинний мінеральний матеріал може використовуватись у виробництві будівельних розчинів, бетонів, будівельних матеріалів та під час виконання будівельних робіт. Фактичний річний обсяг оброблення у 2025 р. становив 86 тис. т.

Основні параметри, використані для формування імітаційної моделі, систематизовано в табл. 3.4.

Для моделювання використано метод системної динаміки. Сценарний горизонт визначено на 2025–2030 рр. із річним кроком.

Центральною змінною моделі є потужність переробки промислових відходів.

Потужність формується як Stock:

$$P_t = P_{t-1} + \Delta P_t,$$

де P_t – потужність переробки у році t ;

ΔP_t – приріст потужності.

Початкове значення:

$$P_{2025} = 86\,000.$$

Приріст потужності визначається рівнянням:

$$\Delta P_t = P_t \cdot g,$$

де g – сценарний річний темп розширення потужності.

У разі $g = 0,05$ виробнича потужність збільшується на 5 % щороку, а за $g = 0,10$ – на 10 %.

Однак фактична переробка не може визначатися лише встановленою потужністю. Рециклінг потребує відповідного обсягу промислових відходів, доступних для залучення у господарський оборот.

Таблиця 3.4 – Базові параметри імітаційної моделі рециклінгу золошлакових відходів

Показник	Значення	Одиниця виміру	Використання в моделі
Початковий обсяг переробки / початкова ефективна потужність	86 000	т/рік	Початковий рівень Stock
Заміщення первинної сировини	до 86 000	т/рік	Ресурсний ефект
Запобігання утворенню відходів видобутку	понад 8 600	т/рік	Ефект попередження нових відходів
Скорочення твердих суспендованих частинок	0,2	кг/т	Фізичний екологічний ефект
Скорочення NO _x , CO, SO ₂	0,25	кг/т	Фізичний екологічний ефект
Потенційне скорочення CO ₂	2,0	кг/т	Розрахунок декарбонізаційного ефекту
Фактичне скорочення CO ₂ при 86 тис. т	113	т/рік	Валідація
Коефіцієнт скорочення CO ₂	0,657	частка	Коригування потенційного ефекту
Собівартість переробки	456,81	грн/т	Економічний блок
Вартість захоронення	800	грн/т	Монетизація екологічного ефекту
Ринкова ціна вторинної продукції	700	грн/т	Економічний блок
Вартість CO ₂	3,5–4,0	грн/кг	Монетизація декарбонізаційного ефекту

Джерело: сформовано за даними підприємства та результатами авторських розрахунків

Тому до моделі введено обмеження:

$$Q_t = \min(P_t; W_t),$$

де Q_t – фактичний обсяг переробки;

P_t – потужність переробки;

W_t – доступний обсяг золошлакових відходів.

Таке обмеження є методологічно суттєвим. Воно дає змогу перевірити не тільки твердження про позитивний вплив нарощування потужності, але й умови реалізації такого впливу.

Отже, логічний механізм моделі набуває такого вигляду:

розширення потужності → зростання потенційної переробки →
→ збільшення фактичної переробки

за умови достатнього обсягу промислових відходів, після чого:

$$Q_t \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{прямий економічний ефект,} \\ \text{скорочення захоронення,} \\ \text{збереження природної сировини,} \\ \text{запобігання новим відходам,} \\ \text{скорочення викидів,} \\ \text{інтегральний еколого-економічний ефект.} \end{array} \right.$$

Отже, в моделі безпосередньо відображено причинно-наслідковий механізм.

Використання золошлакових відходів як вторинного мінерального матеріалу забезпечує заміщення природних ресурсів – щебеню, піску та глини. За матеріалами дослідження залучення 86 тис. т золошлакових відходів дає змогу заощадити до 86 тис. т природних ресурсів.

Тому в моделі:

$$R_t = Q_t,$$

де R_t – обсяг заміщення первинної сировини.

Цей показник має важливе значення саме з позиції зеленого ланцюга доданої вартості. Вторинна сировина не лише стає новим матеріальним ресурсом, але й зменшує потребу в добуванні природних ресурсів.

Моделювання запобігання утворенню нових відходів

Важливим елементом висунутої гіпотези є твердження про можливість запобігання утворенню нових відходів.

За вихідними даними заміщення 86 тис. т первинної сировини дає змогу попередити утворення понад 8,6 тис. т відходів, пов'язаних із її видобуванням.

Для моделювання використано коефіцієнт:

$$k_w = \frac{8\,600}{86\,000} = 0,1.$$

Відповідно:

$$W_t^{prevented} = 0,1Q_t.$$

Цей блок принципово відрізняє запропонований підхід від традиційної моделі поводження з відходами. Ефект рециклінгу виникає не лише через скорочення існуючого накопичення золошлаків, а й через попередження виникнення нового потоку відходів у первинній ланці видобування ресурсів.

Отже, формується подвійний циркулярний ефект:

використання накопичених відходів + запобігання утворенню нових відходів.

Згідно з методикою, одним із основних екологічних результатів є обсяг золошлаків, який унаслідок рециклінгу не потрапляє до золовідвалу.

За умов прийнятої моделі:

$$L_t = Q_t$$

Монетарна оцінка:

$$E_{landfill,t} = L_t C_L,$$

де $C_L = 800$ грн/т.

Отже:

$$E_{landfill,t} = 800Q_t.$$

Таке трактування відповідає запропонованому у вихідній методиці підходу environmental valuation, відповідно до якого фізичні екологічні результати переводяться у вартісний еквівалент через економію витрат або вартість запобігання екологічним збиткам.

Ефект збереження земельних ресурсів

Скорочення накопичення золошлакових відходів знижує потребу у використанні земель під відвали.

У ретроспективних даних умовно вивільнена площа збільшилась з 1,03 га у 2021 р., до 2,46 га у 2025 р., а її умовна вартість – з 1,029 до 2,457 млн грн.

У моделі використано співвідношення:

$$A_t = \frac{Q_t}{35\,000},$$

де A_t – умовно вивільнена площа, га.

Вартісний ефект:

$$E_{land,t} = A_t C_A,$$

де $C_A = 1\,000\,000$ грн/га.

Заміщення природних мінеральних матеріалів золошлаковою вторинною сировиною забезпечує скорочення викидів, пов'язаних із видобуванням і первинною підготовкою природних ресурсів.

Вихідне потенційне скорочення прийнято на рівні:

$$2 \text{ кг } CO_2/\text{т}.$$

Потенційна величина:

$$CO_{2,t}^{pot} = \frac{2Q_t}{1000}.$$

До неї застосовується фактичний коефіцієнт 0,657:

$$CO_{2,t} = CO_{2,t}^{pot} \cdot 0,657.$$

Отже:

$$CO_{2,t} = 0,001314Q_t.$$

За умови $Q_t = 86\,000$ одержуємо:

$$CO_{2,t} \approx 113 \text{ т},$$

що відповідає фактичним вихідним даним підприємства.

Вартісний ефект визначається у діапазоні:

$$E_{CO_2,t}^{low} = CO_{2,t} \cdot 1000 \cdot 3,5;$$

$$E_{CO_2,t}^{high} = CO_{2,t} \cdot 1000 \cdot 4,0.$$

Використання інтервальної оцінки відповідає вихідній методиці, де вартість CO_2 визначена в межах 3,5–4,0 грн/кг.

Формування сукупного екологічного ефекту

Показники заміщення первинної сировини, запобігання утворенню відходів видобутку, скорочення твердих суспендованих частинок, скорочення NO_x , CO , SO_2 залишаються окремими натуральними індикаторами екологічного та ресурсного результату, оскільки вихідні матеріали не містять достатньої інформації для їх достовірної монетизації.

Це дає змогу не завищувати інтегральний показник і водночас не втрачати важливі прояви екологічної результативності.

Методичний підхід до формування сукупного екологічного ефекту, що включає скорочення накопичення відходів, земельний ефект і зниження вуглецевого навантаження, безпосередньо закладено у вихідному матеріалі.

У вихідній методиці економічний блок пов'язаний із доходом від реалізації продукції, витратами і фінансовою результативністю підприємства.

Ретроспективні дані свідчать, що прибуток підприємства зріс із 15,039 млн грн у 2021 р. до 43,433 млн грн у 2025 р.

Для перспективного сценарного моделювання прямий економічний ефект формалізовано через операційний результат безпосередньо від переробки та реалізації вторинної продукції.

Дохід:

$$TR_t = P_s Q_t,$$

де $P_s = 700$ грн/т.

Виробничі витрати:

$$TC_t = C_s Q_t,$$

де $C_s = 456,81$ грн/т.

Тоді:

$$E_{econ,t} = TR_t - TC_t \quad \text{або} \quad E_{econ,t} = Q_t(700 - 456,81).$$

Звідси:

$$E_{econ,t} = 243,19 Q_t.$$

У цьому випадку показник доцільно трактувати саме як модельований прямий економічний ефект від збільшення масштабів рециклінгу, а не як прогноз бухгалтерського чистого прибутку всього підприємства.

Це розмежування є принциповим, оскільки у фактичних даних поряд із доходом від реалізації товарної продукції наявний також дохід від перевезення та оброблення відходів, податки, інвестиції та інші складники фінансового результату.

Принциповим є уникнення подвійного рахунку. Економія на захороненні вже включена до монетизованого екологічного ефекту як вартісна оцінка скорочення антропогенного навантаження, тому в сценарній моделі її не треба повторно включати до прямого економічного ефекту підприємства.

Перед проведенням перспективних розрахунків доцільно перевірити відповідність структури моделі фактичним тенденціям досліджуваного підприємства.

Протягом 2021–2025 рр. обсяг переробки збільшився у 2,39 рази – з 36 до 86 тис. т. Одночасно інтегральний еколого-економічний ефект збільшився з приблизно 45,05 до 115,11 млн грн. Накопичений за п'ятирічний період обсяг залученої до господарського обігу вторинної мінеральної сировини становив 350 тис. т.

Зазначена динаміка підтверджує принципову адекватність закладеного в імітаційну модель причинного механізму:

$$\uparrow Q \Rightarrow \uparrow E_{econ} + \uparrow E_{ecol} \Rightarrow \uparrow IEE.$$

Водночас історична залежність не повинна механічно переноситися на перспективний період шляхом простої екстраполяції, оскільки майбутній результат залежить від обмеження потужності, доступності промислових відходів та параметрів її економічного використання. Саме тому для перевірки гіпотези використовується імітаційний, а не виключно трендовий підхід.

Формування сценаріїв розвитку на 2025–2030 рр.

Для перевірки гіпотези сформовано чотири сценарії. Їх завдання полягає не лише у визначенні можливого приросту результативних показників, а й у

встановленні умов, за яких нарощування потужності трансформується у фактичний еколого-економічний ефект.

Таблиця 3.5 – Параметри сценаріїв розвитку рециклінгової діяльності у 2025–2030 рр.

Сценарій	Темп зміни потужності	Доступний обсяг ЗШВ, т/рік	Зміст сценарію
S1 – поточний стан	0 %	86 000	Збереження параметрів 2025 р.
S2 – розширення потужності за ресурсного обмеження	+5 % / рік	86 000	Потужність зростає, але додаткового обсягу промислових відходів немає
S3 – узгоджене помірне розширення	+5 % / рік	120 000	Зростає потужність і можливий обсяг залучення відходів
S4 – інтенсивне розширення	+10 % / рік	150 000	Прискорене масштабування рециклінгової діяльності

Джерело: сформовано автором для проведення імітаційного експерименту

Сценарні значення 120 та 150 тис. т не є фактичними прогнозами утворення золошлакових відходів. Вони використовуються як експериментальні параметри, необхідні для дослідження чутливості системи до зміни ресурсного забезпечення.

Найбільш важливим для перевірки гіпотези є порівняння S2 і S3.

У S2 виробнича потужність зростає: $86,0 \rightarrow 109,76$ тис. т, тобто на 27,6 %, однак фактичний обсяг переробки залишається на рівні 86 тис. т.

Причина: $Q_t = \min(P_t; 86\,000)$.

Отже, після досягнення ресурсного обмеження:

$$\frac{\partial Q}{\partial P} = 0.$$

Це означає, що саме по собі фізичне створення додаткових виробничих потужностей не забезпечує автоматичного зростання інтегрального ефекту.

У S3 темп нарощування потужності залишається тим самим – 5 % на рік, але доступний обсяг промислових відходів збільшується до 120 тис. т. За результатами розширення потужності повністю трансформується у приріст фактичного рециклінгу.

Таблиця 3.6 – Результати сценарного моделювання потужності та фактичного обсягу переробки, 2025–2030 рр.

Рік	S1: переробка, тис. т	S2: потужність, тис. т	S2: переробка, тис. т	S3: переробка, тис. т	S4: переробка, тис. т
2025	86,00	86,00	86,00	86,00	86,00
2026	86,00	90,30	86,00	90,30	94,60
2027	86,00	94,82	86,00	94,82	104,06
2028	86,00	99,56	86,00	99,56	114,47
2029	86,00	104,53	86,00	104,53	125,91
2030	86,00	109,76	86,00	109,76	138,50

Джерело: розраховано автором за результатами імітаційного моделювання

Отже, порівняння S2 і S3 дає змогу уточнити початкову гіпотезу: еколого-економічний ефект визначається не номінальною потужністю, а фактично використаною потужністю переробки.

Результати показують, що найбільш інтенсивний сценарій S4 забезпечує у 2030 р. переробку приблизно 138,5 тис. т золошлакових відходів, що на 61,1 % перевищує базовий рівень 2025 р.

Відповідно до структури моделі такий приріст одночасно означає:

- збільшення заміщення первинної мінеральної сировини;
- скорочення необхідності захоронення;
- зростання площі земель, використання яких під нові відвали може бути попереджено;
- збільшення обсягів попередженого утворення відходів видобутку;
- зменшення забруднюючих викидів;
- додаткове скорочення CO₂.

Таблиця 3.7 – Порівняльна оцінка екологічних і ресурсних результатів сценаріїв у 2030 р.

Показник	S1	S2	S3	S4
Фактична переробка, тис. т	86,00	86,00	109,76	138,50
Заміщення первинної сировини, тис. т	86,00	86,00	109,76	138,50
Запобігання відходам видобутку, тис. т	8,60	8,60	10,98	13,85
Умовно вивільнена площа, га	2,46	2,46	3,14	3,96
Зниження CO ₂ , т/рік	113,0	113,0	приблизно 144,2	приблизно 182,0
Скорочення захоронення, тис. т/рік	86,0	86,0	109,7	138,5

Джерело: розраховано автором за результатами імітаційного експерименту

Саме одночасність цих результатів є ключовою для підтвердження гіпотези.

Порівняння економічного та інтегрального ефекту

За прийнятих сценарних умов прямий економічний ефект пропорційно залежить від фактичного обсягу переробки:

$$E_{econ,t} = 243,19Q_t.$$

Одночасно зростає монетизований екологічний складник, що включає економію на захороненні, земельний ефект та вартісну оцінку скорочення CO₂.

Таблиця 3.8 – Порівняльна оцінка результативності сценаріїв у 2030 р.

Показник	S1	S2	S3	S4
Обсяг переробки, тис. т	86,00	86,00	109,76	138,50
Прямий розрахунковий економічний ефект, млн грн	20,91	20,91	26,69	33,68
Сукупний монетизований екологічний ефект, млн грн	приблизно 71,7	приблизно 71,7	приблизно 91,5	приблизно 115,4
Інтегральний еколого-економічний ефект, млн грн	приблизно 92,6	приблизно 92,6	приблизно 118,2	приблизно 149,1
Зміна інтегрального ефекту до S1, %	–	0	приблизно +27,6	приблизно +61,1

Джерело: розраховано автором за результатами сценарного моделювання

Особливо показовим є результат S2. Незважаючи на збільшення технологічної потужності, ні прямий економічний, ні додатковий екологічний ефект не зростають, оскільки фактичний обсяг переробки обмежується доступністю золошлакових відходів.

S3, навпаки, демонструє, що за достатнього ресурсного забезпечення той самий темп розширення потужності (+5 %) забезпечує приріст усіх складників інтегрального ефекту.

S4 характеризує найвищий результат, оскільки прискорене розширення виробничої потужності поєднується з відповідним збільшенням доступного обсягу промислових відходів.

Для оцінювання стратегічного значення рециклінгу доцільно аналізувати не лише результат останнього року прогнозу, але й накопичений ефект за весь період.

Кумулятивний підхід має особливе значення під час дослідження трансформації промисловості, оскільки показує, що ефект циркулярної моделі накопичується у часі.

Зокрема, у S4 за 2025–2030 рр. може бути додатково залучено до господарського обороту приблизно 147,5 тис. т промислових відходів, порівняно зі збереженням поточного рівня переробки. Це одночасно означає аналогічне додаткове заміщення первинної сировини та запобігання утворенню приблизно 14,8 тис. т відходів видобутку.

Таблиця 3.9 – Кумулятивні результати сценарного моделювання за 2025–2030 рр.

Показник	S1	S2	S3	S4
Сукупний обсяг переробки, тис. т	516,0	516,0	приблизно 585,0	приблизно 663,5
Додаткова переробка порівняно з S1, тис. т	–	0	приблизно 69,0	приблизно 147,5
Додаткове заміщення первинної сировини, тис. т	–	0	приблизно 69,0	приблизно 147,5
Додаткове запобігання відходам видобутку, тис. т	–	0	приблизно 6,9	приблизно 14,8
Орієнтовний додатковий інтегральний ефект до S1, млн грн	–	0	приблизно 74	приблизно 159

Джерело: розраховано автором за результатами імітаційного моделювання

Результати сценарного моделювання дають змогу трактувати розширення рециклінгової діяльності не лише як збільшення виробничого масштабу окремого підприємства, а як структурну трансформацію ланцюга створення вартості.

У традиційному лінійному ланцюгу:

видобуток → виробництво → споживання → відходи → захоронення.

У моделі зеленого ланцюга:

відходи → рециклінг → вторинна сировина → нова продукція.

Це забезпечує одночасне скорочення двох небажаних потоків:

↓ захоронення та ↓ видобування первинної сировини.

Причому останній ефект додатково породжує:

↓ відходи видобутку+↓ викиди+↓ CO₂.

Отже, збільшення рециклінгу створює ефект не лише на підприємстві-переробнику, а по всьому ланцюгу створення вартості. Це відповідає висновку, одержаному на основі фактичних даних за 2021–2025 рр.: екологічні результати не

є альтернативою економічної ефективності, а створюють додаткову вартість у ланцюгу та посилюють його результативність.

Проведене імітаційне моделювання дає підстави підтвердити висунуту гіпотезу, одночасно конкретизувавши умови її реалізації.

Перший складник гіпотези стосується формування прямого економічного ефекту підприємства.

Модель показує:

$$\frac{\partial E_{econ}}{\partial Q} > 0.$$

Збільшення фактичного обсягу переробки забезпечує розширення обсягу реалізації вторинної продукції та формування додаткового прямого економічного результату.

Другий складник передбачає утворення додаткового інтегрального еколого-економічного ефекту.

Для моделі: $\frac{\partial E_{ecol}}{\partial Q} > 0$, оскільки кожна додаткова тонна переробки одночасно:

- ↓ захоронення,
- ↑ заміщення первинної сировини,
- ↑ запобігання відходам видобутку,
- ↓ антропогенні викиди,
- ↓ CO_2 .

Відповідно:

$$\frac{\partial IEE}{\partial Q} > 0.$$

Проте сценарій S2 показує, що $\frac{\partial IEE}{\partial P} > 0$ не є безумовним.

Якщо $P_t > W_t$, то $Q_t = W_t$ і $\frac{\partial Q}{\partial P} = 0$.

Відповідно:

$$\frac{\partial IEE}{\partial P} = 0.$$

Отже, результат моделювання дозволяє не спростувати, а поглибити початкову гіпотезу.

Її емпірично конкретизований зміст може бути сформульований так:

Розширення потужностей переробки промислових відходів є фактором формування додаткового інтегрального еколого-економічного ефекту за умови забезпечення відповідного завантаження цих потужностей промисловими відходами. Збільшення фактичного обсягу рециклінгу формує прямий економічний ефект підприємства та одночасно генерує додаткову вартість у зеленому ланцюгу доданої вартості через скорочення захоронення відходів, зменшення антропогенного навантаження, заміщення первинної сировини, збереження земельних ресурсів, декарбонізацію та запобігання утворенню нових відходів.

Наукове значення отриманих результатів полягає у переході від статичного визначення окремих економічних та екологічних показників рециклінгу до моделювання механізму формування інтегральної вартості.

Запропонований підхід дає змогу розглядати технологічну потужність, обсяг промислових відходів, масштаб фактичної переробки, економічний результат, ресурсозбереження та екологічні вигоди як елементи єдиної динамічної системи. Результати сценарного моделювання представлено у Додатку Д.

Проведений сценарний експеримент показав, що критичною умовою трансформації потенційної виробничої потужності в додаткову вартість є її узгодженість із ресурсною базою. Саме тому розвиток зеленого ланцюга доданої вартості потребує не ізольованого інвестування у переробне обладнання, а синхронного формування: виробничої потужності + ресурсного забезпечення + ринку вторинної продукції.

Лише за таких умов технологічне масштабування рециклінгу перетворюється на стійкий механізм створення економічної, екологічної та ресурсної вартості.

Вихідна методика також передбачає можливість подальшого розширення такого ланцюга за рахунок плати за приймання відходів, екологічних грантів, скорочення екологічних платежів, економії природної сировини, зменшення витрат на рекультивацію, вуглецевих кредитів, ESG-ефекту та приросту інвестиційної привабливості.

Отже, побудована імітаційна модель дає змогу підтвердити, що рециклінг промислових відходів виступає не лише технологією поводження з відходами, а інструментом формування доданої вартості в умовах зеленої трансформації промисловості. Розширення масштабу рециклінгу за достатнього ресурсного забезпечення одночасно підвищує прямий економічний результат підприємства, скорочує антропогенне навантаження, забезпечує збереження первинних природних ресурсів та попереджає виникнення нових потоків відходів, що і формує синергетичний інтегральний еколого-економічний ефект.

3.3. Напрями формування інституційних рамок політики управління відходами

Аналіз законодавства країн ЄС дає можливість зробити висновок про сформованість інституційних рамок, які забезпечують регулювання основних аспектів управління відходами – класифікації, збору, транспортування та обробки побутових, промислових та небезпечних відходів.

Комплексне «парасолькове» законодавство, що забезпечує основу для всіх нормативних актів, які стосуються управління відходами, може бути корисним для забезпечення узгодженості й послідовності законодавства про відходи, а також відсутності прогалин. Такий єдиний комплексний підхід існує у всіх країнах ЄС.

Водночас, незважаючи на функціонування єдиного нормативно-правового поля Європейського Союзу у сфері управління відходами, національні системи характеризуються істотними відмінностями за рівнем їх інституційного, організаційного, технологічного та фінансово-економічного розвитку. Спільна європейська політика визначає базові принципи та стратегічні орієнтири управління відходами, зокрема пріоритетність запобігання їх утворенню, повторного використання, рециклінгу та інших форм відновлення ресурсів, порівняно із захороненням. Водночас практична реалізація цих принципів залежить від національних особливостей формування інфраструктури, розподілу повноважень між органами державної вади та місцевого самоврядування, економічних

механзмів стимулювання, рівня технологічного забезпечення та сформованості відповідної поведінки виробників та споживачів.

Однією з ключових характеристик диференціації національних систем є структура управління та інституційне забезпечення сфери відходів. У країнах ЄС спостерігаються різні моделі розподілу відповідальності між центральними органами влади, регіональними структурами, муніципалітетами, операторами інфраструктури та виробниками продукції. Відповідно відрізняються механізми планування та контролю потоків відходів, організація їх збирання і транспортування, а також рівень інтеграції державної та місцевої політики у сфері циркулярного використання ресурсів.

Суттєві відмінності простежуються також у технологічній структурі поводження з відходами. Національні системи характеризуються різними співвідношеннями операцій із повторного використання, матеріального рециклінгу, компостування, анаеробного зброджування, енергетичного відновлення та захоронення. Відповідно країни, які мають розвинену інфраструктуру сортування та перероблення, більш високий рівень роздільного збирання та сформований попит на вторинну сировину, мають об'єктивно більші можливості для переходу до циркулярної моделі управління відходами. Натомість недостатня потужність відповідної інфраструктури та значна залежність від захоронення обмежують можливості повернення матеріальних ресурсів до економічного циклу.

Важливим фактором диференціації є застосування економічних інструментів управління відходами. До них належать плата й податки на захоронення, системи депозитного повернення тари, механізми розширеної відповідальності виробника, диференційовані тарифи на поводження з відходами, стимули для використання вторинної сировини та фінансова підтримка інвестицій у переробну інфраструктуру. Відмінності у масштабах і результативності застосування зазначених інструментів безпосередньо впливають на економічну доцільність рециклінгу та формують різні стимули для суб'єктів господарювання щодо переходу від лінійної до циркулярної моделі використання ресурсів.

Отже, диференціація країн ЄС за рівнем розвитку системи управління відходами має комплексний характер і не може бути пояснена виключно показниками утворення чи перероблення відходів. Вона є результатом взаємодії інституційних, нормативних, організаційних, технологічних та економічних чинників, які визначають здатність національної системи забезпечувати повернення матеріальних ресурсів до економічного циклу. Саме тому порівняльна оцінка країн ЄС за Індексом переходу до циркулярної моделі управління відходами (ІПЦМУВ) дає змогу комплексно охарактеризувати ступінь трансформації національних систем управління відходами та виявити відмінності між країнами не лише за окремими статистичним параметрами, а й за загальним рівнем їх наближення до принципів циркулярної економіки.

На рис. 3.6 наведено ранги країн ЄС за результатами розрахунку авторського Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами (результати розрахунків представлено у Додатку Е).

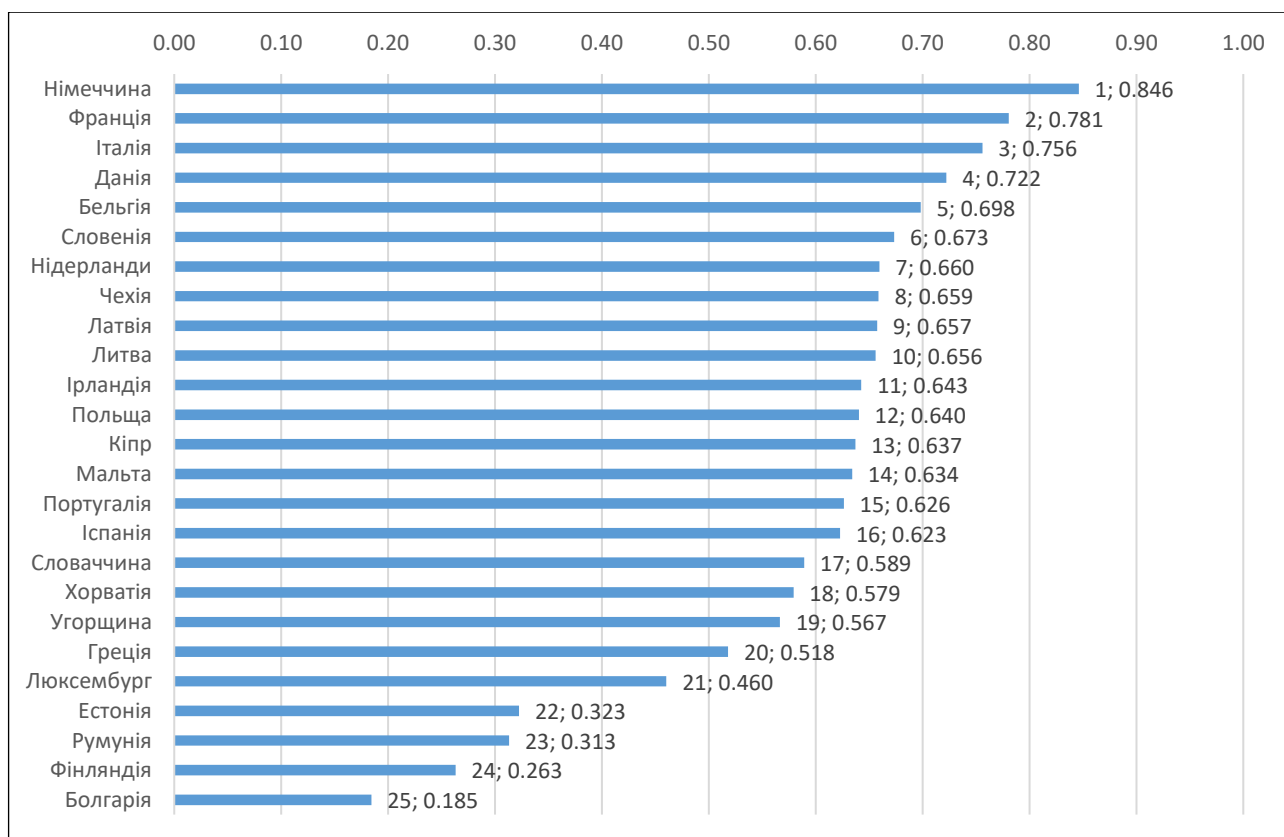


Рисунок 3.6 – Ранги країн ЄС за результатами розрахунку авторського Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами

Джерело: складено автором за даними Eurostat на основі методики розрахунку ІПЦМУВ

Проведена апробація авторської методики визначення Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами (ІПЦМУВ) на основі статистичних даних Eurostat за 2022 р. [53; 92; 93; 135; 150] засвідчила наявність істотної диференціації країн ЄС за рівнем сформованості циркулярної моделі управління відходами. Розрахований інтегральний показник враховує чотири взаємопов'язані складники: субіндекс запобігання утворенню відходів ($I_{зуб}$), субіндекс рециклінгу та матеріального відновлення (I_p), субіндекс енергетичного відновлення ресурсів ($I_{ЕВР}$) та субіндекс скорочення захоронення ($I_{СЗ}$). Відповідно до запропонованої методики, найбільшу вагу має I_p (0,40), тоді як $I_{зуб}$ та $I_{СЗ}$ мають вагу по 0,25, а $I_{ЕВР}$ – 0,10. Такий розподіл ваг підкреслює пріоритетність переходу від захоронення відходів до їх повторного матеріального використання.

За результатами розрахунків, серед 25 країн, до яких сформовано повний набір показників, середнє значення ІПЦМУВ становить 0,588, причому значення індексу варіюють від 0,185 в Болгарії до 0,846 у Німеччині. Отже, розрив між крайніми значеннями становить приблизно 4,6 рази, що свідчить про істотно різний рівень трансформації системи управління відходами в межах ЄС.

Лідером за інтегральним показником є Німеччина (0,846) – перша позиція рейтингу. Її позиція пояснюється збалансованим поєднанням високих значень усіх складових індексу: $I_{зуб}$ – 0,882, I_p – 0,859, $I_{ЕВР}$ – 0,606 та $I_{СЗ}$ – 0,886. Особливо важливим є високий рівень рециклінгу / матеріального відновлення, оскільки саме цей компонент має найбільшу вагу в інтегральній моделі. Наступні позиції посідають Франція (0,781), Італія (0,756), Данія (0,722) та Бельгія (0,698) – 2-га, 3-тя, 4-та, 5-та позиції рейтингу відповідно. Зазначені країни формують групу лідерів за інтегральною оцінкою та характеризуються найбільш комплексним розвитком механізмів запобігання утворенню відходів, їх повторного використання, рециклінгу, відновлення та скорочення захоронення.

Показовим є приклад Данії, яка посідає 4-те місце зв ІПЦМУВ, незважаючи на відносно невисоке значення I_p (0,429). Водночас країна має дуже високі значення $I_{зуб}$ (0,915), $I_{ЕВР}$ (0,788) та $I_{СЗ}$ (0,972). Це демонструє важливу особливість запропонованого індексу – високий рівень циркулярності може формуватися

різними структурними моделями, а не виключно за рахунок рециклінгу. У випадку Данії суттєву роль відіграє енергетичне відновлення відходів за одночасного мінімального рівня їх захоронення.

Словенія, Нідерланди, Чехія, Латвія, Литва формують групу країн із достатньо високими значеннями ІПЦМУВ – від 0,656 до 0,673. Вони відповідно посідають 6–10 місця рейтингу. Для них є характерним відносно високий рівень запобігання утворенню відходів та скорочення їх захоронення, проте результати за рециклінгом та енергетичним відновленням є більш неоднорідними. Зокрема, Литва має максимальне нормалізоване значення $I_{EVR} = 1,000$, але її I_p становить лише 0,283, що демонструє структурну специфіку системи управління відходами.

Особливої уваги заслуговують результати Словенії, Латвії, Литви та Чехії, які, незважаючи на те, що приєдналися до Європейського Союзу лише у 2004 р., увійшли до першої десятки країн за значенням Індексу. Такий результат є особливо показовим з огляду на відносно короткий період інтеграції цих країн до єдиного європейського нормативно-інституційного простору. Процес підготовки до вступу передбачав поступове приведення національного законодавства у відповідність до права ЄС, у тому числі у сфері охорони довкілля та управління відходами. У межах переговорного процесу відповідність законодавства країн-кандидатів *acquis communautaire* оцінювалися за окремим секторами, а необхідність прийняття або зміни національних нормативно-правових актів була безпосереднім складником підготовки до членства.

Високі позиції Словенії, Чехії, Латвії та Литви у рейтингу ІПЦМУВ можуть розглядатися як результат не лише економічних передумов, а й тривалої інституційної адаптації до екологічних стандартів ЄС. Вступ до ЄС створив для цих країн стимули та нормативні передумови для модернізації систем збирання, відновлення та рециклінгу відходів поступового скорочення їх захоронення та переходу до більш ресурсоефективної моделі поводження з відходами. Водночас Європейська Комісія відзначає, що після вступу десяти нових держав-членів у 2004 р. саме Литва, Словенія та Латвія, серед інших збільшили рівень рециклінгу муніципальних відходів більш ніж на 40 процентних пунктів у 2004–2022 рр. [26].

Показовим є те, що у 2004 р. саме для цих країн було встановлено перехідні періоди щодо виконання вимог законодавства ЄС про відходи електричного та електронного обладнання через недостатній розвиток відповідної інфраструктури.

Середню частину рейтингу формують Ірландія, Польща, Кіпр, Мальта, Португалія, Іспанія, Словаччина, Хорватія, Угорщина та Греція. Їх позиції – від 11-го до 20-го місця – характеризують проміжний рівень розвитку циркулярної моделі управління відходами. Для цієї групи країн характерним є поєднання окремих позитивних результатів із недостатньо розвиненими окремими складниками системи управління відходами. Отже, підвищення ІПЦМУВ для таких країн потребує не стільки окремих локальних заходів, скільки комплексного вдосконалення системи управління відходами.

Найнижчі позиції в рейтингу займають Люксембург (0,460), Естонія (0,323), Румунія (0,313), Фінляндія (0,263) та Болгарія (0,185), які посідають відповідно 21–25 місця. Низька позиція Болгарії свідчить про суттєве відставання за сукупністю показників, покладених в основу ІПЦМУВ. Низькі позиції Румунії та Естонії також вказують на наявність структурних проблем у переході від традиційної моделі поводження з відходами до циркулярної, зокрема у сфері матеріального відновлення та скорочення захоронення.

Важливим результатом проведеного аналізу є виявлення асиметрії між окремими напрямками трансформації систем управління відходами. Найбільш сформованими напрямками є запобігання утворенню відходів та скорочення їх захоронення, тоді як найбільш проблемними залишаються матеріальний рециклінг та енергетичне відновлення. Це має принципове значення для інтерпретації результатів, оскільки циркулярна модель передбачає не просто зменшення обсягів захоронення, а повернення матеріалів у господарський оборот. Особливо показовим є те, що середнє значення I_p (0,408) майже вдвічі нижче за $I_{зуб}$ (0,792). Це дає змогу зробити висновок, що зменшення негативних способів поводження з відходами випереджає розвиток механізмів їх матеріального повернення в економічний цикл. Відповідно подальший розвиток циркулярної економіки в країнах ЄС має бути пов'язаний не лише зі скороченням захоронення, але й із

розширенням потужностей та технологій рециклінгу, повторного використання та високоякісного матеріального відновлення.

Усі держави-члени Європейського Союзу, відповідно до законодавства ЄС, зобов'язані формувати національні рамки управління відходами, що охоплюють плани управління відходами та програми запобігання їх утворенню. Відповідно до Рамкової директиви 2008/98/ЄС про відходи, у редакції Директиви (ЄС) 2018/851, такі документи мають бути орієнтовані не лише на поводження з відходами, а й на запобігання їх утворенню, повторне використання, підготовку до повторного використання, рециклінг та інші форми відновлення. Отже, система планування поступово трансформується від традиційного управління потоками відходів до управління ресурсами протягом усього життєвого циклу продукції [70].

Принциповою новацією сучасної політики управління відходами в країнах ЄС є посилення обов'язкових кількісних орієнтирів. Директива (ЄС) 2018/851 встановила мінімальний рівень підготовки до повторного використання та рециклінгу муніципальних відходів на рівні 55 % до 2025 р., 60 % до 2030 р. та 65 % до 2035 р. [70]. Одночасно держави-члени мають забезпечити окреме збирання основних потоків відходів, включно з біовідходами та текстильними відходами.

Важливим складником нової моделі управління відходами в країнах ЄС стало обмеження захоронення. Відповідно до Директиви про захоронення відходів [34], частка муніципальних відходів, що направляються на полігони, має бути скорочена до не більше 10 % до 2035 р., а з 2030 р. встановлюються обмеження щодо захоронення відходів, придатних для рециклінгу або відновлення.

У багатьох цільових країнах плани управління відходами охоплюють переробку, запобігання утворенню відходів та ефективність використання ресурсів, а отже, елементи переходу до циркулярної економіки. Після прийняття Нового плану дій ЄС щодо циркулярної економіки 2020 р. [28] цей підхід отримав значно ширше нормативне закріплення. План дій передбачав перехід до політики сталих продуктів, яка охоплює довговічність, повторне використання,

ремонтпридатність, можливість модернізації, використання вторинної сировини, скорочення одноразового використання та цифрові паспорти продукції.

Чеська республіка є показовим прикладом переходу від традиційного регулювання відходів до комплексної циркулярної моделі. Новий Закон Чеської Республіки № 541/2020Sb про відходи [224], який набув чинності у 2021 р., закріпив принципи ієрархії відходів, окремого збирання а поступового скорочення захоронення. Закон передбачає досягнення рівня підготовки до повторного використання та рециклінгу муніципальних відходів 55 % у 2025 р., 60 % у 2030 р. та 65 % у 2035 р. Особливо важливим є положення щодо захоронення, а саме з 2030 р. забороняється захоронення відходів, які можуть бути ефективно рециклінговані, а також окремих відходів з високою теплотворною здатністю. Чеське законодавство встановлює розгалужену систему окремого збирання, і передбачає, що муніципалітети повинні забезпечувати окреме збирання паперу, пластику, скла, металів, біовідходів, харчових олій та жирів [143], а з 2025 р. – також текстилю.

Хоча деякі країни посилаються на перехід до циркулярної економіки, проте інші посилаються на продуктивність ресурсів, ефективність використання ресурсів, стале управління матеріалами та стале виробництво та споживання.

Перехід від лінійного до циркулярного підходу можна побачити в політиці та заходах, які наголошують на ефективності використання ресурсів та пов'язують управління відходами з іншими фазами життєвого циклу продуктів і матеріалів (проектування, виробництво, споживання). Впровадження ієрархії відходів у сфері управління відходами; політичні цілі або заходи, що сприяють екодизайну, переробці та повторному використанню; цілі щодо відокремлення утворення відходів від економічного зростання; схеми розширеної відповідальності виробника (РВВ) – усе це можна розглядати як засоби включення принципів циркулярної економіки до політичних та правових рамок.

У Словенії однією з чотирьох головних цілей Національної програми дій щодо навколишнього середовища на 2005–2012 роки було забезпечення сталого виробництва та споживання, і вона закликала до переходу від спалювання відходів

до відновлення матеріалів [215]. Чеська Республіка включала цілі, що стосуються ефективності використання ресурсів, до своєї Державної екологічної політики, Національної стратегії сталого розвитку та Десятирічної програми сталого споживання та виробництва, а також до відповідних галузевих політичних документів (наприклад, Державної енергетичної політики) [143].

Цілі циркулярної економіки також можуть бути встановлені в програмах економічного розвитку. Політика сталого виробництва та споживання визначає цілі щодо ефективності використання ресурсів, підтримуючи зусилля для більш чистого виробництва та плани щодо майбутнього впровадження розширеної відповідальності та зелених державних закупівель. Так, Національна програма реформ у Чеській Республіці включає цілі щодо ефективного використання вторинної сировини, перетворення відходів на ресурси та переробки [143].

Згідно із законодавством ЄС, усі держави-члени ЄС зобов'язані вжити певних політичних заходів, що підтримують підхід циркулярної економіки. Рамкова директива про відходи відіграє в цьому особливо важливу роль. Директива вимагає включення ієрархії відходів у правові та політичні рамки, створення програм запобігання утворенню відходів та заохочує держави-члени впроваджувати схеми РВВ. Інші законодавчі акти ЄС підтримують, принаймні певною мірою, підхід циркулярної економіки до управління відходами, включно з Директивою про відходи електричного та електронного обладнання (ВЕЕО), Директиву про батареї, Директиву про транспортні засоби, що вийшли з ладу, та Директиву про упаковку.

Усі країни ЄС, принаймні певною мірою, включили політику циркулярної економіки до своїх правових та політичних рамок. Це видно, наприклад, у Словенії, де зміни до правової бази щодо відходів після її вступу до ЄС у 2004 р. інтегрували деякою мірою принципи циркулярної економіки. У 2020 р. зміни до законодавства про відходи запровадили детальніші критерії припинення статусу відходів, що безпосереднього сприяє перетворенню відходів на вторинну сировину. У 2021–2022 рр. Словенія здійснила системну реформу екологічного законодавства. Новий Закон про охорону довкілля ZVO-2 [83] комплексно врегулював управління відходами, закріпив принципи циркулярної економіки, «забруднювач платить» та

розширеної відповідальності виробника, а також встановив правові засади для припинення статусу відходів. Особливого значення набуло посилення відповідальності виробників за упаковку. У 2021 р. було прийнято нові правила поводження з упаковкою та упаковочними відходами, орієнтовані на запобігання утворенню відходів, повторне використання, рециклінг та інші форми відновлення. Наразі Уряд Словенії характеризує її як одну з країн Європи, яка має найвищий рівень рециклінгу муніципальних відходів – приблизно 59 % [215].

Регулювання управління відходами вимагає від державних установ виконання низки різних видів діяльності: розробка правових та політичних рамок; встановлення цілей політики; впровадження цих рамок (включно з дозвільними та правозастосовними функціями); збір, моніторинг та оцінка даних; обмін інформацією та знаннями; консультації із зацікавленими сторонами; та координація дій учасників.

Міністерство, відповідальне за екологічну політику, є провідним агентством з питань політики щодо відходів у всіх цільових країнах. Такі міністерства проводять горизонтальні консультації з іншими відповідними міністерствами в національному уряді, зокрема з міністерствами, відповідальними за економіку або промисловий розвиток (з питань циркулярної економіки та/або промислових відходів), сільське господарство (сільськогосподарські відходи), охорону здоров'я (клінічні відходи, охорона здоров'я) та планування землекористування (планування місць обробки відходів). У деяких країнах різні міністерства відповідають за загальну політику управління відходами та політику щодо твердих побутових відходів. Наприклад, в Угорщині провідним міністерством з питань політики управління відходами є Міністерство сільського господарства, тоді як ТПВ підпадають під відповідальність Міністерства національного розвитку [145]. У Чеській Республіці Міністерство охорони навколишнього середовища створило Раду з управління відходами, що складається з відповідних експертів з усіх урядових відомств та представників неурядових організацій, для консультування з питань політики щодо відходів та підтримки узгодженості політики щодо відходів у відповідних сферах політики [224].

Часто окремий правоохоронний орган може бути залучений до забезпечення дотримання вимог. Окремі національні органи з охорони навколишнього середовища також можуть відігравати певну роль у впровадженні та забезпеченні дотримання політики управління відходами (наприклад, Словенія) або в дослідженнях, орієнтованих на політику (наприклад, Нідерландське агентство з екологічної оцінки [148]). У деяких випадках національний незалежний регуляторний орган контролює діяльність, пов'язану з відходами.

Національні органи влади також можуть виконувати низку інших ролей: дозвіл на певну діяльність; експлуатацію національних об'єктів небезпечних відходів (наприклад, в Естонії [144]); збір інформації від муніципалітетів; підтримку місцевих органів влади в їх ролях щодо впровадження шляхом проведення заходів з нарощування потенціалу (наприклад, Польща [147]); та координацію міжмуніципальної співпраці.

У деяких країнах ЄС регіональні або місцеві органи влади також відіграють певну роль як у визначенні політики, так і в плануванні дій. Ця роль зазвичай сильніша в країнах із федеральною системою управління, де регіональний уряд може встановлювати цілі політики та законодавчі рамки, а національний уряд може мати більш обмежену роль.

Однак навіть у країнах, де діє унітарна система, регіональні або субнаціональні органи влади часто відіграють важливу роль у політиці управління відходами та плануванні дій. Це спостерігається в Польщі, де воєводства готують плани управління відходами для свого воєводства та відповідають за більшість дозволів на роботу об'єктів поводження з відходами. Аналогічно, місцеві органи влади відіграють певну роль у видачі дозволів та забезпеченні їх виконання в Нідерландах [211].

Огляди екологічної ефективності також свідчать про те, що національні інституційні рамки, присвячені горизонтальній координації політики циркулярної економіки, є рідкістю. Такі домовленості можуть інтегрувати цілі циркулярної економіки у відповідну міжгалузеву та секторальну політику.

Там, де розподілено інституційні обов'язки за циркулярну економіку (або стале використання матеріалів), часто саме міністерство, відповідальне за екологічну політику, відіграє провідну роль. Це спостерігається, наприклад, у Нідерландах та Чеській Республіці, де Міністерство довкілля відповідає за політику 3R [143; 148].

Результати порівняльного аналізу інституційних рамок управління відходами в країнах ЄС із найвищими показниками ІПЦМУВ наведено у Додатку Е.

У багатьох країнах ЄС ключову роль в управлінні твердими побутовими відходами відіграють муніципальні органи влади. Їх роль у впровадженні може включати забезпечення збору, транспортування та обробки відходів. Муніципалітети також можуть бути залучені до встановлення та стягнення зборів (часто відповідно до регіонального або національного законодавства), тоді як ліцензування та дозвіл на об'єкти поводження з відходами частіше здійснюється на національному або регіональному рівні (особливо в країнах з федеральною системою управління). Муніципалітети також можуть бути залучені до планування дій (наприклад, через місцевий план управління відходами). Часто ці ролі виконуються в районах, що об'єднують сусідні муніципалітети.

Заходи щодо збору та транспортування побутових відходів часто відрізняються між муніципалітетами країни, причому більшість країн демонструють поєднання підходів.

Ці заходи зазвичай відбуваються в межах трьох основних підходів:

- Надання послуг власними силами. Муніципальні органи влади можуть безпосередньо надавати послуги з управління відходами.

- Конкурентні торги. Послуги зі збору та транспортування відходів для одного (або кількох) муніципальних районів можуть бути передані на контракт комерційним постачальникам. Це відбувається в низці країн ЄС, наприклад, в Естонії та Польщі.

- Збір «пліч-о-пліч». Окремі домогосподарства відповідають за організацію збору та транспортування своїх відходів. Такий підхід призводить до прямого укладання договорів між домогосподарствами та збирачами відходів, завдяки чому

кілька компаній можуть працювати «пліч-о-пліч» в одному муніципалітеті. Такий підхід дедалі рідше зустрічається в ЄС: він діяв у Польщі до реформ 2013 р. і продовжує використовуватися в Ірландії [211].

Досвід деяких країн свідчить про те, що тендери все частіше використовуються для надання послуг зі збору та транспортування муніципальних відходів. У Нідерландах лібералізація ринку відходів є метою всіх підготовлених дотепер національних планів управління відходами, а лібералізація ринку їх обробки призвела до зростання цін на обробку відходів і зниження темпів інфляції [148].

Паралельний збір – прямі контракти між виробниками муніципальних відходів та комерційними постачальниками послуг також застосовуються в країнах ЄС. Донедавна в Польщі муніципалітети не несли прямої відповідальності за збір побутових відходів, а домогосподарства укладали прямі контракти з комерційними постачальниками на збір та транспортування відходів [147]. Через те, що в одному муніципалітеті працювало кілька компаній, збільшення кількості вантажівок призводило до збільшення дорожнього руху, забруднення повітря та шуму.

Проблеми у впровадженні реформ інституційних механізмів управління побутовими відходами не є унікальними, як зазначається в Огляді ОЕСР, оператори приватного або неформального сектору, які вже працюють на ринку, оскаржуватимуть реформи, які загрожують їхнім інвестиціям, а муніципалітети можуть не мати можливості виконувати свою нову роль, як підкреслюється на прикладі Естонії [154].

У деяких країнах неформальний сектор є важливим гравцем в управлінні відходами. Участь неформального сектору в переробці часто спостерігається особливо в потоках відходів, що включають високоцінні матеріали (транспортні засоби, що вийшли з експлуатації, деякі ВЕЕО). У багатьох випадках неформальні переробники роблять значний внесок у загальні зусилля з переробки.

Інтеграція цих операторів у офіційну систему управління відходами може допомогти максимізувати позитивний внесок збирачів відходів у досягнення цілей переробки, мінімізуючи ризик негативних наслідків.

Офіційне визнання ролі збирачів відходів в управлінні відходами та надання їм фінансових стимулів для участі у офіційній системі стали ключовими факторами інтеграції неформального сектору. Глибоке розуміння сектору та його функціонування має вирішальне значення для створення правильних стимулів для інтеграції.

Розмір зон збору побутових відходів впливає на ефективність послуг збору та рівень конкуренції на ринку збору відходів, що призводить до компромісу між ефектом масштабу та конкуренцією. У багатьох країнах зоною збору є окремий муніципалітет. Однак законодавство може бути використане для визначення більших зон збору відходів, де це доречно. До того ж муніципалітети можуть об'єднуватися для спільного укладання контрактів на послуги зі збору та транспортування відходів для досягнення ефекту масштабу. В інших країнах ці можливості для досягнення ефективності шляхом спільних дій не завжди використовуються.

У Словенії існує велика кількість малих муніципалітетів, і визнається необхідність розвитку більших регіонів для управління відходами, що дозволено законодавчою базою [215]. Однак можливості для міжмуніципальної співпраці часто втрачаються в тих сферах, де вони можуть бути найбільш необхідними, через проблеми з адміністративною спроможністю.

Ефективні державні закупівлі високоякісних послуг можуть бути складними для державного сектору. Для муніципалітетів з потенційно обмеженим досвідом у закупівлях укладання контрактів з компаніями приватного сектору на надання послуг зі збору, транспортування та обробки відходів може бути особливо складним. У деяких випадках процеси державних закупівель можуть надмірно наголошувати на ціні як вирішальному факторі під час укладання контрактів, що потенційно призводить до низької якості результатів з позиції того, як переможець торгів виконує контракт.

Також можуть виникнути проблеми щодо конкурентної переваги муніципальних об'єктів на ринку контрактів, що спостерігається в Польщі [147].

Апеляції учасників торгів, які не програли тендер, проти тендерних процесів можуть затримати закупівлю послуг з вивезення відходів.

Під час перехідного етапу до конкурентних тендерів на послуги з управління відходами приватного сектору профспілки також можуть виступати проти реформ. Змішані системи можуть створювати невизначеність і правові проблеми: наприклад, у Польщі муніципальні компанії з управління відходами можуть конкурувати за тендери у своєму місті, що призводить до судових позовів щодо потенційно несправедливих нагород [147].

Отже, інституційний потенціал є ключовим фактором успіху закупівель послуг з управління муніципальними відходами.

Для успіху конкурентні торги вимагають «культурних змін в уряді та нового поєднання навичок» у муніципальних органах влади, а стимули для місцевих органів влади до конкурентного укладання контрактів на управління відходами є відносно слабкими [170]. У деяких випадках національні уряди проводять заходи з нарощування потенціалу для підтримки муніципалітетів у їхній роботі. Створення міжмуніципальних або регіональних районів управління відходами також може допомогти вирішити цю проблему, як це спостерігається у Словенії та Польщі [147; 215].

Укладання контрактів приватних постачальників послуг у сфері поводження з відходами із генераторами промислових та небезпечних відходів також є поширеним явищем. Інвестиції приватного сектору в об'єкти обробки відходів відіграють важливу роль у розвитку інфраструктури управління відходами в більшості країн ЄС.

У ширшому масштабі співпраця державного та приватного секторів відіграє важливу роль в управлінні відходами, а також у переході до циркулярної економіки. Наприклад, у Нідерландах приватний сектор бере участь у розробці Національних планів управління відходами та несе відповідальність за управління відходами, визначену законодавством [148].

Уряди можуть підтримувати покращення практик управління відходами в промисловості через мережі обміну інформацією. У Чеській Республіці влада

підтримує обмін інформацією через конференції зі скорочення відходів та конкурс «Перетворення відходів на ресурси», який сприяє переробці та використанню вторинної сировини підприємствами [129]. Ця діяльність відповідає рекомендаціям ОЕСР щодо екологічно безпечного управління відходами, які рекомендують країнам ОЕСР заохочувати обмін інформацією між операторами приватного сектору для сприяння запобіганню утворенню відходів та оптимізації операцій з їх утилізації [170]. У більш загальному плані – збір та обмін цінною інформацією є ключовим фактором для переходу до циркулярної економіки.

Більшість країн ЄС мають широку систему нормативних актів, що регулюють ключові аспекти управління відходами. До них належать технічні визначення для основних категорій відходів, включно з небезпечними відходами, та вимоги до поводження з відходами та їх обробки для забезпечення безпеки та захисту довкілля. Країни, які приєдналися до ЄС у 2004 р., зазнали значних змін у регуляторній базі через приєднання до законодавства ЄС у сфері охорони навколишнього середовища. Ці країни мали запровадити Директиву про сміттєзвалища (1991/31/ЄС зі змінами), правила якої охоплюють контроль за захистом води та ґрунту поблизу сміттєзвалищ, контроль газу для зменшення викидів метану та вимоги до закриття для забезпечення постійного захисту після завершення діяльності: для багатьох нових держав-членів ЄС ця директива принесла значні зміни в їх нормативно-правові рамки.

Серед країн із широкомасштабними заборонами на захоронення відходів варто зазначити Нідерланди, які у 1995 р. заборонили захоронення 35 категорій відходів, зокрема потоків відходів, які можна переробити або відновити для отримання енергії, за винятком місць, де не було альтернативних очисних споруд; це супроводжувалося податком на захоронення, щоб стимулювати будівництво заводів з переробки та спалювання відходів [148]. За рік до заборони на захоронення національні правила вимагали роздільного збору побутових органічних відходів.

Законодавство ЄС вимагає попередньої обробки всіх відходів, що потрапляють на звалища. Окрім правових стандартів, міжнародні стандарти у

сферах екологічного менеджменту та охорони праці можуть допомогти забезпечити належну експлуатацію об'єктів утилізації відходів.

Нарешті, стандарти на продукцію можуть відігравати певну роль у заохоченні переходу до циркулярної економіки. Наприклад, законодавство ЄС щодо транспортних засобів, що вийшли з експлуатації, забороняє використання кількох небезпечних матеріалів в автомобілях (свинець, ртуть, кадмій та хром) для покращення їх придатності для переробки.

Економічні інструменти можуть бути ефективним політичним інструментом у запобіганні, мінімізації та належному управлінні відходами. Збори та платежі – це економічні інструменти, які можна використовувати для відшкодування витрат на управління відходами та підтримки принципу «користувач платить», допомагаючи забезпечити фінансову стійкість послуг з управління відходами. Економічні інструменти, як-от податки та розширена відповідальність виробника, підтримують принцип «забруднювач платить» шляхом інтерналізації екологічних витрат та витрат на здоров'я людини. Згодом економічні інструменти можуть бути корисними для заохочення змін у поведінці (наприклад, скорочення відходів або інвестиції в удосконалені технології обробки відходів), необхідних для досягнення цілей політики щодо відходів.

Інші економічні інструменти, що використовуються в політиці управління відходами, включають схеми торгівлі квотами на викиди парникових газів зі звалищ та сміттєспалювальних установок, фінансові резерви для відновлення колишніх звалищ або зелені тарифи на виробництво електроенергії шляхом спалювання відходів.

Ключові типи економічних інструментів для управління відходами та циркулярної економіки:

– Податки збільшують вартість забруднюючих продуктів або діяльності, і в такий спосіб відбивають стимулювання їх споживання або виробництва. У сфері політики поводження з відходами інструменти, як-от податки на захоронення та спалювання, застосовуються для інтерналізації екологічних витрат на їх обробку й утилізацію. Це здорожує екологічно шкідливі методи поводження з відходами та

стимулює впровадження альтернативних варіантів, зокрема відновлення та переробки. У політиці підтримки циркулярної економіки податки можуть використовуватися для перешкоджання споживанню природних ресурсів, включно з біологічними ресурсами, корисними копалинами та сировиною.

– Збори та платежі використовуються для відшкодування витрат на надання товарів або послуг. На відміну від податків, збори та платежі є взаємними, тобто особа, яка їх сплачує, отримує натомість відповідну послугу чи благо. Натомість податки є безвзаємними платежами. У сфері поводження з відходами це може бути плата за комунальні послуги з вивезення сміття або плата за захоронення відходів на полігонах.

– Системи повернення депозитів встановлюють додаткову плату до ціни продукту, який може забруднити навколишнє середовище. В управлінні відходами це може включати заходи, що використовуються для інтерналізації екологічних витрат на продукти, що завершили термін служби, як-от податки на продукцію, авансові збори за переробку та заходи розширеної відповідальності виробника.

– Субсидії можуть застосовуватися в екологічній політиці для прямого чи опосередкованого зменшення використання чогось, що має доведений негативний вплив на навколишнє середовище. В управлінні відходами субсидії можуть використовуватися для стимулювання кращого управління відходами, скорочення відходів та інвестицій у покращення управління відходами, і можуть мати форму прямих субсидій або податкових звільнень.

– Схеми торгівлі дозволами можуть використовуватися для розподілу прав на викиди або експлуатацію ресурсів в управлінні відходами. Вони також можуть використовуватися для підтримки цілей циркулярної економіки шляхом запобігання надмірній експлуатації природних ресурсів, наприклад, в управлінні рибальством.

Плата за комунальні послуги з відходів та відшкодування витрат

Оскільки більшість домогосподарств у країнах ЄС сплачують плату за збір та транспортування твердих побутових відходів, плата за послуги з утилізації відходів є одним із найпоширеніших економічних інструментів в управлінні відходами.

Ефективне встановлення цих платежів у такий спосіб, щоб вони покривали витрати на надання послуг, є складним завданням для органів влади. Органи влади застосовують низку різних методів розрахунку платежів за тверді побутові відходи, і ці методи можуть відрізнятися залежно від муніципалітету в межах однієї країни.

Часто муніципалітети самі встановлюють ці платежі. Рекомендації щодо встановлення платежів можуть бути надані в законодавстві або в методології, розробленій національними органами влади. Методи встановлення платежів часто базуються на обсязі утворених відходів, розмірі домогосподарства, або з позиції площі, або кількості мешканців, або встановлюються відповідно до іншої змінної (наприклад, споживання води домогосподарствами, як це спостерігається в Польщі) [160].

Відшкодування витрат на управління побутовими відходами вважається важливим у двох аспектах. По-перше, це допомагає забезпечити фінансову стійкість діяльності з управління побутовими відходами. По-друге, це підтримує принцип «забруднювач платить», гарантуючи, що витрати на управління відходами несуть ті, хто відповідає за їх утворення.

Встановлення відповідного збору є непростим – органи влади можуть виявляти небажання встановлювати занадто високі збори через політичні міркування.

Податки на обробку та утилізацію відходів

Податки на обробку та утилізацію відходів можуть бути використані для інтерналізації екологічних витрат на обробку відходів та допомогти у відведенні відходів від найбільш шкідливих методів обробки (захоронення, спалювання без рекуперації енергії), зробивши ці методи дорожчими.

В Естонії запровадження податку на утилізацію відходів сприяло підвищенню конкурентоспроможності інших варіантів обробки та призвело до значного зниження обсягів захоронення. Однак податки часто були занадто низькими, щоб повністю стимулювати відновлення та переробку [144].

Податки на спалювання можуть базуватися на характері та об'ємі спалюваних відходів (прикладом є досвід Нідерландів [148]). Диференціація податків на основі оцінки ризику, пов'язаного з відходами, спостерігалася в більшості країн.

Деякі країни додатково диференціювали податки відповідно до впливу методу обробки на навколишнє середовище. Така диференціація допомагає забезпечити більш точну інтернаціоналізацію екологічних витрат на утилізацію відходів та встановити належні стимули для обробки відходів. Однак деякі країни вирішують повністю або частково звільняти особливо небезпечні види відходів від плати за остаточне захоронення, щоб гарантувати, що вони не будуть незаконно захоронені на небезпечних місцях. Оскільки податки на утилізацію відходів спеціально зосереджені на інтерналізації екологічних витрат на утилізацію та на створенні стимулів для перенаправлення відходів від більш екологічно шкідливих методів обробки, вони часто стягуються разом з іншими зборами, як-от плата за захоронення на полігонах, яка спрямована на відшкодування негайних витрат на утилізацію. У деяких випадках ціни на захоронення відходів спрямовані на покриття обох аспектів, але повинні базуватися на глибокому розумінні як екологічних витрат на утилізацію відходів, так і витрат на надання послуг з обробки.

Варто зазначити, що стягнення податків з окремих методів обробки відходів може створити потенціал для негативних наслідків. Внесок податків на захоронення відходів у надмірне інвестування та, як наслідок, надмірні потужності в інших методах обробки, зокрема спалювання та механіко-біологічне оброблення, спостерігалось в Естонії [144].

Щоб бути повністю ефективними в інтерналізації витрат та перерозподілі стимулів, податки на захоронення повинні бути перекладені на виробників відходів, включно з виробниками побутових відходів.

Стимули, субсидії та плата за продукцію

Уряди часто використовують стимули та субсидії для спонукання до певної поведінки серед фірм та домогосподарств. Зокрема, субсидії та податкові пільги часто використовуються для стимулювання інвестицій у покращену

інфраструктуру управління відходами. Низка країн також використовувала податки на продукцію та авансові збори за утилізацію як частину схем розширеної відповідальності.

Інші стимули, про які повідомлялося в оглядах ефективності, включали заходи, вжиті (зазвичай національними) урядами для заохочення певних практик на інших рівнях управління.

Інші стимули включають виплати фірмам або домогосподарствам для заохочення переробки та раціональних практик управління відходами. До них належать пільгові відсоткові ставки для підприємств від національного банку розвитку залежно від їх екологічного рейтингу, де одним із факторів є практика управління відходами. Також сюди відносять субсидії на домашнє компостування у формі зниженої плати за вивезення відходів або пільгових цін на компостні контейнери, а також грошові стимули для домогосподарств, які сортують сміття в містах із надто низькими показниками переробки. Зокрема, в Іспанії запроваджено заставну систему для відходів будівництва та знесення.

Плата за продукцію – це ще один економічний інструмент, який може бути використаний в управлінні відходами для зміщення стимулів від продуктів, які з більшою ймовірністю призведуть до шкоди навколишньому середовищу, як-от збільшення кількості відходів. Однак існує ризик того, що ці платежі можуть бути використані як інструменти для збільшення доходів без екологічних переваг.

Система управління відходами у Латвії та Литві характеризується активним поєднанням адміністративних та економічних інструментів. Важливим елементом сучасної системи управління відходами Латвії стала депозитно-поворотна система для упаковки напоїв, яка функціонує з 2022 р. Її значення полягає не лише у збільшенні обсягів повернення упаковки, а й у формуванні економічного механізму, що безпосередньо пов'язує поведінку споживача з результатом у сфері управління відходами. Водночас розвиток окремого збирання біовідходів та диференціація платежів за різними потоками відходів формують економічні стимули до зміни структури утворення та поводження з муніципальними відходами.

Натомість Литва є одним з найбільш показових прикладів результативного використання депозитно-поворотного механізму. Депозитна система для одноразової тари з пластику, скла, металу функціонує з 2016 р. і передбачає обов'язкову участь відповідних виробників імпортерів. За даними ОЕСР [142], у 2019 р. система забезпечила збирання приблизно 92 % упаковки, на яку вона поширювалася. Надалі система зберегла високу результативність за даними ОЕСР, у 2022 р. було повернуто приблизно 93 % РЕТ-упаковки, 94 % металевої та 89 % скляної тари [142]. Одночасно у Литві набули чинності обов'язкові вимоги щодо окремого збирання харчових та кухонних відходів [146].

Показовим є також використання Литвою диференційованого економічного стимулювання у сфері упаковки. З 2022 р. система оподаткування упаковки передбачає відмінності між упаковкою, придатною та непридатною для рециклінгу, що створює економічний стимул для виробників використовувати матеріали, які можуть бути повернуті в господарській оборот.

Податки на ресурси

Податки на ресурси можуть підтримувати цілі циркулярної економіки, заохочуючи більш ефективне використання ресурсів. Однак там, де ставки низькі, ці податки матимуть переважно функцію збільшення доходів.

В Естонії гірничодобувні компанії сплачують податок за видобуток та використання ресурсів. Враховуючи розмір сланцевої промисловості в Естонії, це потенційно є значним джерелом доходу; однак в Огляді ОЕСР з екологічної ефективності зазначається, що існує методологія встановлення податків на оціночну вартість ресурсів, і податки були значно знижені, щоб допомогти галузі з огляду на нижчі ціни на нафту [26]. Ці фактори можуть підірвати ефективність податку на ресурси у сприянні ресурсоефективності.

У Польщі, де вже діє збір за видобуток корисних копалин для мідної руди, в Огляді ОЕСР було рекомендовано оцінити економічні інструменти для підвищення матеріальної продуктивності, включно з посиленням стимулюючого ефекту податків на видобуток корисних копалин та заповнювачів [26].

Використання доходів

Хоча плата за утилізацію ТПВ зазвичай використовується для фінансування поточного надання послуг, країни застосовують різні підходи до використання доходів від податків на утилізацію відходів, податків на ресурси та інших податків, пов'язаних з відходами (наприклад, плата за авансову утилізацію). Податки на захоронення часто використовуються для управління витратами після закриття сміттєзвалищ (Нідерланди) або витратами на управління муніципальними відходами (Естонія, Словенія). Часто деякі доходи спрямовуються до спеціального екологічного фонду або центру, який здійснює або фінансує проекти, пов'язані з управлінням відходами (Естонія, Польща). Цільове виділення доходів на управління відходами може створювати ускладнення.

Розширена відповідальність виробника

Принцип РВВ зосереджений на інтерналізації деяких витрат на продукцію, пов'язаних з її завершенням, включно з витратами на управління відходами та впливом на навколишнє середовище, шляхом поширення відповідальності виробника до кінця життєвого циклу продукту.

Зазвичай схеми РВВ встановлюються законодавством, яке покладає на виробників відповідальність за збір та остаточну обробку продукції, що завершила термін її служби. РВВ являє собою поєднання політичних інструментів – вимог щодо повернення, цільових показників переробки, зборів виробників – які разом роблять виробників відповідальними за продукцію після закінчення її терміну служби.

Залежно від того, яка схема встановлена, виробники можуть виконати цю відповідальність, роблячи фінансовий внесок через збори виробників у цю діяльність або беручи на себе цю діяльність. У багатьох випадках виробники можуть колективно працювати над збором та обробкою продукції, що завершила термін служби, наприклад, через організацію з виробництва відходів (ОВВ). Щоб забезпечити підтримку РВВ на зменшення захоронення відходів, схеми РВВ можуть включати цільові показники переробки та/або вимоги до обробки продукції, що завершила термін служби. По суті, схеми РВВ спираються на збори

виробників, а також на штрафи у випадках недотримання вимог, щоб поширити відповідальність на виробників.

У всіх країнах ЄС були запроваджені певні заходи РВВ, які зосереджувалися на обмеженій кількості потоків відходів, причому найбільше уваги приділялися відходам електроніки, упаковки та акумуляторів. Транспортні засоби, використані шини та використана олива також підпадають під вимоги РВВ у більшості країн ЄС [186–187].

Існує низка політичних інструментів, які можна використовувати для реалізації принципу РВВ. До них належать вимоги щодо повернення відходів з цілями переробки або економічні інструменти, як-от схеми повернення депозитів або авансові збори за переробку.

Більшість заходів передбачали принаймні одну організацію відповідальних осіб (ОВО), якій відповідальні виробники платять за збір відходів та організацію сортування, переробки та переробки. У деяких випадках законодавство вимагає від виробників приєднатися до акредитованої ОВО; в інших схемах ОВО створюються для роботи з дрібними виробниками та продуктами-посередниками. У випадках, коли існує відносно невелика кількість відповідальних виробників та споживачів, може не бути потреби в ОВО для координації діяльності (наприклад, програма управління сільськогосподарським пластиком в Естонії). Для деяких конкретних потоків відходів (упаковка, промислові та автомобільні акумулятори, деякі ВЕЕО) в Угорщині уряд змінив механізми управління у 2012 р. Натомість виробники могли вибирати між приєднанням до системи координації, що керується центральним урядом, за плату та застосуванням підходу самостійного дотримання вимог зі зниженою платою. Ці зміни були покликані сприяти покращенню даних про управління відходами та рівня переробки.

Проблеми з координацією між учасниками заходів РВВ спостерігалися в низці країн. Наприклад, у перші роки дії голландської схеми щодо пакувальних матеріалів велика кількість організацій, відповідальних за утилізацію, охоплювала окремі потоки відходів, що зумовлювало труднощі для органів влади та виробників. З роками система розвивалася так, що наразі діє менша кількість

організацій, відповідальних за утилізацію, які стягують плату з виробників безпосередньо під наглядом уряду. У деяких випадках ці продукти пізніше включаються до схеми розширеного розподілу відповідальності за відходи (PBB), але плата за авансову утилізацію також використовується для інтерналізації витрат на управління малими потоками відходів, для яких програма повернення була б занадто дорогою. Посилення ролі державних органів може допомогти в покращенні координації цієї діяльності.

Зелені державні закупівлі

Державні закупівлі можуть стимулювати ринки переробленої продукції та, в ширшому сенсі, є ключовим інструментом для сприяння переходу до циркулярної економіки. В Естонії Національна програма реформ закликає до врахування ресурсоефективності в державних закупівлях [144]. Чеська Республіка фактично зробила обов'язковими зелені державні закупівлі ще у 2010 р. для центральних та місцевих органів влади, а Міністерство охорони навколишнього середовища контролює закупівлі та щорічно публікує дані [224]. Відтоді країна досягла 78 % зелених закупівель для ІКТ-обладнання та 56 % для меблів. Незважаючи на цей успіх, проблеми в практиці закупівель загалом перешкоджають подальшому прогресу в зелених державних закупівлях. Ключова проблема в зелених державних закупівлях виникає, коли надмірно наголошується на ціні як на критерії в тендерних процедурах, а закупівельні органи не мають можливості оцінювати нецінові критерії, як-от екологічні характеристики продукції.

Ринкові механізми ціноутворення на викиди парникових газів

Окрему групу економічних стимулів формують ринкові механізми ціноутворення на викиди парникових газів, зокрема EU ETS (Система торгівлі викидами парникових газів в ЄС) та СВМ (Механізм коригування вуглецевих викидів на кордоні). Їх вплив на систему управління відходами є різним за характером. EU ETS має безпосередній зв'язок із сектором поводження з відходами, оскільки з 2024 р. установки зі спалювання муніципальних відходів із загальною номінальною тепловою потужністю понад 20 МВт підлягають моніторингу, звітуванню та верифікації викидів у межах системи EU ETS.

Європейська Комісія також здійснює оцінювання можливості подальшого включення таких установок до системи торгівлі квотами. Це створює передумови для врахування вуглецевих витрат у виборі технологій поводження з відходами та посилює економічну привабливість запобігання утворенню відходів, повторного використання та рециклінгу [193].

СВАМ, як вуглецевий податок на імпорт товарів з високим рівнем викидів парникових газів до Євросоюзу, на відміну від EU ETS, не є безпосереднім інструментом регулювання відходів, однак має опосередкований вплив на циркулярну трансформацію через ринків матеріалів [47]. Механізм поширюється на імпорт цементу, заліза і сталі, добрив, електроенергії та водню і забезпечує врахування вуглецевого складника імпортованої продукції. Внаслідок цього формується додатковий економічний стимул до зниження вуглецеємності виробництва та використання вторинної сировини, зокрема металевої, що безпосередньо пов'язує політику декарбонізації з розвитком циркулярних потоків матеріалів.

Інформування та підвищення обізнаності громадськості

Обізнаність і підтримка громадськості є ключовими факторами зміни поведінки і, отже, успіху багатьох політик щодо відходів, включно зі скороченням відходів, роздільним збором та переробкою. Освіта молоді може бути ключовим шляхом до підвищення обізнаності громадськості. Кілька країн ЄС уже запровадили ініціативи з екологічної освіти.

У Польщі національне міністерство охорони навколишнього середовища організувало інформаційну кампанію «Не засмічуйте свою совість» [147].

Співпраця з бізнесом, включно з громадськими організаціями, може відігравати важливу роль у підвищенні обізнаності громадськості щодо переробки. У Нідерландах громадські організації підтримують інформаційні кампанії щодо роздільного збору та переробки відходів [148]. В Естонії «Зробимо це! Моя Естонія» – це незалежно організований щорічний день громадської діяльності, включно з прибиранням сміття [144].

Моніторинг та звітність

Ефективний моніторинг і звітність є ключовим інструментом для ефективного управління відходами. У Чеській Республіці співіснування двох окремих, несумісних інформаційних систем для даних про відходи призвело до дублювання, прогалин та розбіжностей в інформаційній базі. Це підірвало здатність органів влади контролювати впровадження політики, вимірювати результати відповідно до цілей та планувати інвестиції в обробку відходів [224].

У Словенії, хоча рівень звітності для більшості комунальних служб поводження з відходами та виробників промислових відходів був високим, дані про відходи будівництва та знесення були недостатніми [215].

Вимоги до звітності можуть створювати адміністративний тягар для виробників та операторів відходів, що необхідно зважувати з урахуванням інформаційної вигоди.

Забезпечення виконання та сприяння дотриманню вимог

Для забезпечення дотримання операторами, підприємствами та домогосподарствами правил поводження з відходами необхідна низка заходів. До них належать заходи щодо забезпечення виконання вимог, як-от перевірки на місці та санкції для порушників, а також ширший спектр заходів щодо сприяння дотриманню вимог, щоб забезпечити обізнаність операторів та забруднювачів про вимоги (та пов'язані з ними штрафи); ця діяльність може бути пов'язана з ширшими кампаніями з підвищення обізнаності громадськості.

Органи, що здійснюють виконання вимог: координація та нарощування потенціалу

Забезпечення виконання вимог щодо відходів зазвичай здійснюється поряд з іншими видами екологічного забезпечення виконання вимог. У більшості країн ЄС низка органів влади працює над забезпеченням виконання вимог, зокрема у секторі відходів. Координація необхідна на всіх рівнях управління: наприклад, у Нідерландах національна інспекція з питань навколишнього середовища людини та транспорту співпрацює з провінційними органами влади, які ліцензують та забезпечують виконання більшості видів діяльності з управління відходами [148].

У Польщі Головна інспекція з охорони навколишнього середовища на національному рівні працює під керівництвом воєводських інспекцій на регіональному рівні [147].

Сприяння дотриманню вимог

Поряд із заходами щодо правоохоронних органів, просування дотримання вимог може відігравати важливу роль у підвищенні обізнаності потенційних забруднювачів. У Нідерландах, країні, яка є лідером у правоохоронній діяльності, національна інспекція дотримується політики «взаємної довіри» з організаціями, які вона контролює [148]. Інспекція укладала угоди з компаніями з хорошими показниками дотримання вимог, а уряд вивчав системи для забезпечення дотримання вимог приватними особами.

Інспекції об'єктів

Інспекції об'єктів управління відходами – разом з управлінням відходами на промислових заводах та інших місцях – є основним видом діяльності з правозастосування. Країни ЄС все частіше використовують оцінки ризиків для цільової інспекційної діяльності та ресурсів. Так, наприклад, Польща запровадила підхід, що ґрунтується на ризиках, протягом періоду огляду [147].

Інспекції перевезень відходів

Належне правоохоронне забезпечення правил перевезення відходів також вимагає співпраці між урядовими органами. Країни ЄС все більше покладаються на підходи, що ґрунтуються на оцінці ризику, як це спостерігається, наприклад, у Нідерландах [148]. Підхід, що ґрунтується на оцінці ризику, – за яким правоохоронні дії спрямовані на виявлення та цілеспрямованість перевезень з високим рівнем ризику – може бути життєво важливим для сфер торгівлі з високим обсягом відходів.

Міжнародна співпраця підтримує роботу правоохоронних органів у цій сфері, наприклад, мережа IMPEL у країнах ЄС відіграла ключову роль у посиленні контролю за дотриманням правил перевезення відходів.

На основі проведеного аналізу кращих практик країн ЄС із запровадження важелів стимулювання ефективного управління відходами (Додаток Ж) нами

пропонується механізм стимулювання ефективного управління відходами, що представлено на рис. 3.5.

Аналіз міжнародного досвіду управління відходами та сучасного стану реформування цієї сфери в Україні свідчить, що для побудови ефективної системи управління відходами необхідним є комплексне впровадження економічних, організаційних та адміністративних важелів стимулювання. Попри започатковану гармонізацію українського законодавства з нормами ЄС та ухвалення стратегічних документів у сфері управління відходами, значна частина інструментів циркулярної економіки в Україні залишається недостатньо розвиненою або реалізується фрагментарно.

Особливо актуальним є перехід від переважно лінійної моделі поводження з відходами до циркулярної моделі, що базується на принципах повторного використання ресурсів, переробки та мінімізації відходів.

Серед економічних важелів першочергового значення для країни набуває впровадження повноцінна система розширеної відповідальності виробника (РВВ), яка дає змогу перенести частину фінансового навантаження щодо управління відходами з органів місцевого самоврядування та населення на виробників продукції. Водночас необхідним є підвищення економічної не вигідності захоронення відходів шляхом збільшення тарифів на захоронення та впровадження екологічних податків на захоронення та спалювання відходів. В Україні вартість захоронення відходів залишається суттєво нижчою, ніж у країнах ЄС, що стримує розвиток сектору переробки та інвестиції у вторинну сировину.

Важливим напрямом також є застосування стимулів для розвитку переробної інфраструктури, включно з податковими пільгами, екологічними фондами, механізмами зелених закупівель та підтримки проєктів з компостування та виробництва біогазу.

Організаційні важелі мають бути спрямовані насамперед на розвиток інфраструктури роздільного зберігання, сортування та переробки відходів. В Україні потребує подальшого розвитку система обов'язкового роздільного збирання побутових відходів, уніфікація контейнерної системи та створення

сучасних сортувальних і переробних потужностей. Важливим є також формування регіональних і місцевих планів управління відходами як фактичних «дорожніх карт» розвитку сектору та залучення інвестицій. Окремої уваги потребує підвищення рівня екологічної культури населення через системні інформаційно-просвітницькі кампанії та інтеграцію екологічної освіти у початковий процес. Досвід країн ЄС свідчить, що ефективність роздільного збирання безпосередньо залежить від рівня обізнаності населення та довіри до системи управління відходами.

Адміністративні важелі мають забезпечувати ефективний контроль, моніторинг та дотримання законодавства у сфері управління відходами. Для України актуальним залишається посилення екологічного контролю, цифровізація системи обліку відходів, створення прозорих механізмів звітності та значне підвищення відповідальності за порушення екологічного законодавства. До того ж необхідною є подальша імплементація секторального законодавства ЄС щодо упаковки, електронних відходів, батарейок та інших потоків відходів, а також впровадження ризик-орієнтованого підходу до екологічного нагляду. Сукупність зазначених заходів створить передумови для зниження рівня захоронення відходів, розвитку ринку вторинної сировини, підвищення ресурсоефективності економіки та переходу України до моделі циркулярної економіки.

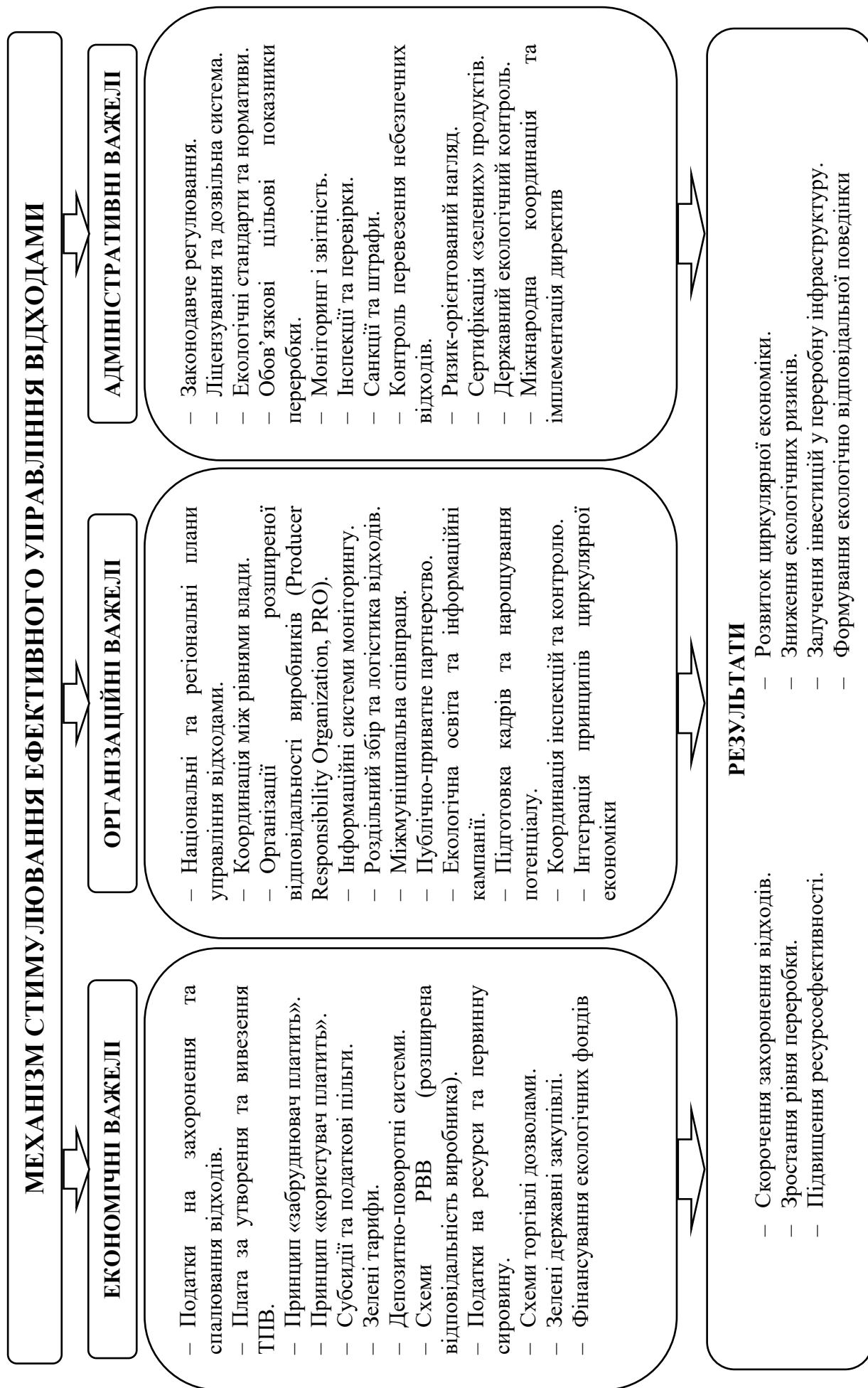


Рисунок 3.7 – Механізм стимулювання ефективного управління відходами

Висновки до розділу 3

Визначення циркулярної стійкості підприємства як індикатора оцінки ефективності технологій рециклінгу дає змогу розглядати її як комплексну характеристику здатності підприємства, довгостроково підтримувати та розвивати циркулярні практики в умовах економічних, технологічних та екологічних змін. На відміну від поняття циркулярності чи циркулярної економіки підприємства, циркулярна стійкість охоплює не лише ефективність повторного використання та переробки ресурсів, а й інтеграцію екологічних, соціальних та економічних аспектів сталого розвитку у систему управління підприємством. Доведено, що впровадження технологій рециклінгу сприяє зменшенню ресурсозалежності, мінімізації відходів, скороченню викидів, підвищенню економічної ефективності та формуванню стійких зелених ланцюгів вартості. Теоретичним підґрунтям концепції циркулярної стійкості виступають теорія систем, концепція життєвого циклу продукту, теорія стійкості, концепція циркулярної економіки, Концепція соціальної відповідальності, концепція інноваційного розвитку, концепція управління ланцюгами постачання, концепція екодизайну, що забезпечує комплексний підхід до оцінювання результативності рециклінгу. Отже, циркулярна стійкість підприємства може розглядатися як інтегральний індикатор ефективності технологій рециклінгу, який відображає рівень адаптивності, ресурсоефективності та здатності підприємства забезпечувати довгострокову екологічну й економічну стійкість.

Запропонована в роботі структурно-логічна модель причинно-наслідкових зв'язків у формуванні інтегрального еколого-економічного ефекту від рециклінгової діяльності відображає послідовний процес трансформації збільшення потужностей переробки у сукупний еколого-економічний результат – від зміни обсягів переробки золошлакових відходів – через скорочення їх захоронення, збереження земельних і природних ресурсів та зменшення викидів CO₂ – до формування прямих і додаткових економічних вигод. Кінцевим результатом такої трансформації є не лише приріст фінансового результату підприємства, а й зменшення антропогенного навантаження, підвищення ресурсної ефективності, підтримка процесів декарбонізації та формування передумов для розвитку циркулярних моделей господарювання. Саме це

дає змогу розглядати запропоновану модель як інструмент оцінювання довгострокового еколого-економічного ефекту масштабування переробки промислових відходів.

Результати імітаційного моделювання дають підстави підтвердити висунуту гіпотезу та визначити необхідну умову її реалізації – технологічне розширення рециклінгових потужностей створює стійкий інтегральний еколого-економічний ефект лише на умови його синхронізації з ресурсним забезпеченням та можливістю реалізації вторинної продукції. Отже, розвиток рециклінгу як елементу зеленого ланцюга доданої вартості має ґрунтуватися на одночасному забезпеченні трьох взаємопов'язаних складників – виробничої потужності, доступності промислових відходів та ринку вторинної продукції. За такого узгодження рециклінг трансформується з операції поводження з відходами на механізм одночасного створення економічної, екологічної та ресурсної вартості, що є одним із практичних проявів зеленої трансформації промисловості.

Результати апробації авторської методики Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами на прикладі країн ЄС-27 засвідчили істотну диференціацію рівня циркулярної трансформації національних систем управління відходами. Показовим є входження до групи країн-лідерів за показниками ІПЦМУВ нових держав-членів ЄС – Чехії, Латвії, Литви та Словенії, – що свідчить про значну результативність процесу інституційної та технологічної трансформації систем управління відходами протягом останніх двох десятиліть. Важливим результатом апробації стало також виявлення нерівномірності розвитку окремих компонентів циркулярної моделі країн ЄС. Найвищі середні значення спостерігаються для субіндексів запобігання утворенню відходів та скорочення їх захоронення, тоді як середні значення субіндексів рециклінгу / матеріального відновлення та енергетичного відновлення є істотно нижчими. Це дає підстави стверджувати, що трансформація системи управління відходами в країнах ЄС значно мірою вже забезпечила скорочення частки захоронення, проте подальший перехід до повноцінної циркулярної моделі потребує посилення саме механізмів повернення матеріалів у господарський оборот. Отже, запропонований Індекс переходу до

циркулярної моделі управління відходами може використовуватися не лише для міжкраїнних порівнянь, а й для ідентифікації структурних проблем визначення пріоритетних напрямів удосконалення політики управління відходами на національному рівні.

Аналіз напрямів формування інституційних рамок політики управління відходами в країнах ЄС, зокрема в нових державах-членах ЄС, які увійшли до групи країн-лідерів за показниками ІПЦМУВ, довів, що сучасна інституційна система політики управління відходами в ЄС характеризується переходом від традиційної моделі управління відходами до інтегрованої моделі циркулярного управління матеріалами та ресурсами. Її визначальними характеристиками є запобігання утворенню відходів, обов'язкове окреме збирання, підвищення рівня повторного використання та рециклінгу, обмеження захоронення, розширена відповідальність виробників, розвиток депозитних систем, економічне стимулювання використання вторинної сировини, екодизайн, ремонтпридатність і регулювання продукції протягом усього її життєвого циклу. Останні законодавчі зміни, зокрема перегляд Рамкової директиви про відходи у 2025 р., свідчать про подальше поглиблення цієї тенденції.

У цьому контексті показники рециклінгу муніципальних та промислових відходів, які використовуються у запропонованому Індексі переходу до циркулярної моделі управління відходами, доцільно розглядати не ізольовано, а як кількісний результат функціонування ширшої нормативної, інституційної та економічної системи циркулярного управління. Саме така інтерпретація дає змогу пояснити відмінності між державами ЄС, та, зокрема, високі темпи покращення показників у низці країн, що приєдналися до ЄС у 2004 р. Досвід цих країн демонструє, що імплементація європейського законодавства не призводить до формування абсолютно однакових національних систем управління відходами. Навпаки, спільна нормативна база ЄС створює загальні вимоги та цілі, тоді як конкретні механізми їх реалізації залежать від інституційної структури, економічних умов, системи муніципального управління та рівня розвитку інфраструктури. Аналіз досвіду Чехії, Словенії, Латвії та Литви свідчить про те, що після вступу до Європейського Союзу ці держави не просто адаптували національне законодавство до європейських вимог,

а поступово сформували комплексні системи стимулювання переходу від лінійної моделі управління відходами до циркулярної.

Запропоновані в роботі підходи до формування механізму стимулювання ефективного управління відходами в Україні базуються на узагальненні кращих практик європейських країн та комплексному поєднанні інституційних, нормативно-правових, економічних та організаційних інструментів, орієнтованих на перехід до циркулярної економіки та сталого використання ресурсів. Відповідно до авторського підходу він має включати економічні важелі (податки на захоронення та спалювання відходів, плата за утворення та вивезення ТПВ, принцип «забруднювач платить», принцип «користувач платить», субсидії та податкові пільги, зелені тарифи, депозитно-поворотні системи, схеми розширеної відповідальності виробника, податки на ресурси та первинну сировину, систему торгівлі квотами на викиди парникових газів, зелені державні закупівлі, фінансування екологічних фондів), організаційні важелі (національні та регіональні плани управління відходами, координація між рівнями влади, інформаційні системи моніторингу, роздільний збір та логістика відходів, міжмуніципальна співпраця, публічно-приватне партнерство, екологічна освіта та інформаційні кампанії, підготовка кадрів та нарощування потенціалу, координація інспекцій та контролю, інтеграція принципів циркулярної економіки) та адміністративні важелі (законодавче регулювання, ліцензування та дозвільна система, екологічні стандарти та нормативи, обов'язкові цільові показники переробки, моніторинг і звітність, інспекції та перевірки, санкції та штрафи, контроль перевезення небезпечних відходів, ризик-орієнтований нагляд, сертифікація зелених продуктів, державний екологічний контроль, міжнародна координація та імплементація директив). Результатами впровадження цього механізму має стати скорочення захоронення відходів, зростання рівня переробки, підвищення ресурсоефективності, розвиток циркулярної економіки, зниження екологічних ризиків, залучення інвестицій у переробну інфраструктуру та формування екологічно відповідальної поведінки суспільства.

Основні результати проведеного дослідження опубліковані у працях автора [9; 18; 20].

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження дало змогу узагальнити сутність зеленої економіки як сучасної моделі економічного розвитку, орієнтованої на досягнення балансу між економічним зростанням, соціальним добробутом та екологічною безпекою. Встановлено, що зелена економіка базується на принципах ресурсоефективності, енергоощадності, циркулярності, екологізації виробничих процесів та відповідального споживання. Її реалізація передбачає інтеграцію екологічних аспектів у всі етапи створення вартості, що забезпечує не лише зниження негативного впливу на довкілля, а й підвищення конкурентоспроможності, інноваційності та стійкості національної економіки. У роботі удосконалено концептуальні основи формування зеленого ланцюга вартості, які ґрунтуються на інтеграції екологічних компонентів у всі етапи створення вартості – від дизайну продукту, логістики, виробництва до управління інформаційними системами, збуту продукції, споживання та утилізації продукції. Адаптована автором концептуальна модель формування зеленого ланцюга створення вартості демонструє взаємозв'язок між екологічною відповідальністю та результативністю бізнесу, прибутковість якого формується як комплексний ефект від економії ресурсів, зростання інноваційного потенціалу, підвищення репутаційної цінності та доступу до нових ринків і джерел фінансування.

Систематизація теоретико-методологічних підходів до дослідження управління зеленими ланцюгами вартості засвідчила формування цієї концепції на перетині екологічного, економічного та управлінського підходів до організації господарської діяльності. Обґрунтованою методологічною основою управління зеленими ланцюгами вартості є системне поєднання управлінських та технологічних інструментів. До управлінського складника належать залученість керівництва, управління витратами, управління компетентностями, управління торгівлею викидами вуглецю, а також управління іміджем бренду та культурою компанії. Технологічний складник охоплює екологізацію технологій виробничого процесу, мінімізацію авіап перевезень, інвестиції у модернізацію транспортної інфраструктури, формування циркулярних ланцюгів постачання, використання адитивних технологій, цифровізації ланцюга постачання

тощо. Їх комплексне застосування забезпечує підвищення ресурсної ефективності, скорочення екологічного навантаження, оптимізацію логістичних процесів і формування довгострокових конкурентних переваг підприємств у межах переходу до моделі сталого розвитку.

Визначено, що рециклінг є одним із ключових складників формування зелених ланцюгів доданої вартості та важливим інструментом переходу до циркулярної й ресурсоефективної економіки. Встановлено, що розвиток систем переробки промислових відходів сприяє скороченню екологічного навантаження, збереженню природних ресурсів, формуванню вторинної сировинної бази і підвищенню енергоефективного виробництва. Особливого значення набувають інноваційні технології переробки різних видів відходів, інтеграція принципів екодизайну, чистого виробництва та розширеної відповідальності виробника, що забезпечує формування замкнених виробничих циклів та підвищення стійкості промислового розвитку.

Аналіз сучасних світових тенденцій розвитку рециклінгу у промисловому виробництві засвідчив поступовий перехід від моделі захоронення відходів до циркулярного підходу, орієнтованого на повторне використання ресурсів, переробку та відновлення матеріалів. У країнах з високим рівнем доходу пріоритет надається декарбонізації виробництва, розвитку низьковуглецевих технологій, компостуванню, анаеробному зброджуванню та цифровізації управління відходами, тоді як для країн, що розвиваються, актуальними залишаються питання розширення інфраструктури збору і обробки відходів. Загалом світові тренди свідчать про посилення ролі рециклінгу як інструменту ресурсозбереження, декарбонізації та забезпечення сталого розвитку.

Дослідження динаміки формування системи управління відходами в Україні показало, що національна модель поступово трансформується від переважно екстенсивної системи накопичення та захоронення відходів до впровадження принципів циркулярної економіки. Встановлено, що сучасний етап розвитку характеризується адаптацією законодавства до вимог ЄС, розвитком систем роздільного збору, посиленням екологічного регулювання та впровадженням принципу розширеної відповідальності виробника, водночас значними викликами

залишаються високий рівень накопичення промислових відходів, недостатній розвиток інфраструктури рециклінгу та обмеженість інвестицій у сучасні технології переробки.

Апробація запропонованого методу оцінювання рівня переходу до циркулярної моделі управління відходами на основі інтегрального Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами (ІПЦМУВ) дала можливість зробити висновок про нелінійний процес структурно-інституційної трансформації системи управління відходами в Україні, результативність якого залежить одночасно від економічної структури, державної політики та здатності сформувати інфраструктуру замкненого ресурсного циклу.

Розроблені науково-методичні підходи до оцінки ефективності впровадження технологій рециклінгу дали змогу обґрунтувати систему еколого-економічних показників оцінювання результативності переробки промислових відходів. Запропонований підхід базується на оцінюванні скорочення обсягів захоронення відходів, зниження викидів CO₂, економії природних ресурсів та формування вторинних матеріальних потоків. Практичне застосування моделей оцінювання підтвердило, що впровадження технологій рециклінгу забезпечує формування додаткової економічної цінності, розвиток індустриального симбіозу, підвищення ресурсоефективності та інвестиційної привабливості.

Під час дослідження обґрунтовано:

- поняття «циркулярність підприємства» як характеристику ступеня замкненості та ефективності використання ресурсних і матеріальних потоків у процесі створення вартості, яка визначається масштабом повторного використання, відновлення, рециклінгу та повернення ресурсів і матеріалів у господарський оборот, а також рівнем запобігання утворенню відходів та їх залучення до подальших виробничих процесів;

- поняття «циркулярна стійкість підприємства» як інтегральну характеристику здатності підприємства забезпечувати довгострокову економічну життєздатність і адаптивність шляхом системної інтеграції принципів циркулярної економіки у процеси створення вартості, що передбачає ефективне використання ресурсів,

замкнення матеріальних потоків, мінімізацію утворення відходів та їх повторне залучення до господарського обороту, одночасно забезпечуючи позитивні екологічні та соціальні результати. Доведено, що впровадження технологій рециклінгу сприяє скороченню ресурсозалежності, мінімізації відходів, підвищенню економічної ефективності та формуванню стійких зелених ланцюгів вартості.

Запропонована в роботі структурно-логічна модель причинно-наслідкових зв'язків у формуванні інтегрального еколого-економічного ефекту від рециклінгової діяльності відображає послідовність трансформації розширення потужностей переробки золошлакових відходів, скорочення їх захоронення, збереження земельних і природних ресурсів та зменшення викидів CO₂, що створює передумови для формування прямих і додаткових економічних вигод. Кінцевий результат цього процесу проявляється не лише у прирості фінансового результату підприємства, а й у зниженні антропогенного навантаження, підвищенні ресурсної ефективності, підтримці процесів декарбонізації та формуванні передумов для розвитку циркулярних моделей господарювання. Це дає підстави розглядати запропоновану модель як інструмент оцінювання довгострокового інтегрального еколого-економічного ефекту від масштабування переробки промислових відходів.

Результати імітаційного моделювання підтвердили висунуту гіпотезу та дали змогу визначити необхідну умову її реалізації: технологічне розширення рециклінгових потужностей забезпечує стійкій інтегральний еколого-економічний ефект лише за умови його синхронізації з достатнім ресурсним забезпеченням та наявністю можливостей для реалізації вторинної продукції. Тобто розвиток рециклінгу як складника зеленого ланцюга вартості має ґрунтуватися на узгодженому розвитку трьох взаємопов'язаних складників – виробничих потужностей, доступності промислових відходів та сформованого ринку вторинної продукції. За умови їх одночасного поєднання рециклінг трансформується з окремої операції поводження з відходами на механізм одночасного створення економічної, екологічної та ресурсної вартості, що є практичним проявом зеленої трансформації промисловості.

Результати апробації авторської методики розрахунку Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами (ІПЦМУВ) на виборці країн ЄС27

засвідчили суттєву диференціацію рівня циркулярної трансформації національних систем управління відходами в країнах ЄС. Важливим результатом дослідження стало визначення нових держав-членів ЄС – Чехії, Латвії, Литви та Словенії – в групі країн-лідерів за значеннями ІПЦМУВ, що свідчить про результативність здійснюваних ними протягом останніх десятиліть інституційних, нормативних та технологічних перетворень у сфері управління відходами та їх поступову адаптацію до циркулярних принципів. Водночас результати апробації виявили нерівномірність формування окремих компонентів циркулярної моделі в країнах ЄС, що свідчить про відмінність у темпах і структурі циркулярної трансформації національних систем управління відходами.

Проведений аналіз кращих практик трансформації систем управління відходами до циркулярних принципів у країнах ЄС дав змогу запропонувати комплексний механізм стимулювання ефективного управління відходами, що базується на поєднанні інституційних, нормативно-правових, економічних та організаційних інструментів. Встановлено, що ефективна система управління відходами формується на основі рамкового законодавства, стратегічного планування, багаторівневої координації органів влади, вродженні принципів 3R та розширеної відповідальності виробників. Важливу роль відіграють економічні стимули – податки на захоронення та спалювання відходів, екологічні збори, субсидії, депозитно-поворотні системи, податкові пільги та система торгівлі викидами. У сукупності це створює підґрунтя для розвитку рециклінгу, підвищення ресурсоефективності, формування зелених ланцюгів вартості та забезпечення переходу до моделі сталого і низьковуглецевого розвитку економіки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атаманчук З. А., Дідович І. І., Рильський В. В. Драйвери сталого розвитку країн в умовах глобалізації. *Бізнес Інформ*. 2024. № 5. С. 16–25. URL: DOI: [10.32983/2222-4459-2024-5-16-25](https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-5-16-25).
2. Атаманчук З. А., Рильський В. В. Циркулярна економіка і туризм: сучасні тренди та можливості. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Економічні науки*. 2026. Т. 350, № 1. С. 67–73. DOI: [10.31891/2307-5740-2026-350-8](https://doi.org/10.31891/2307-5740-2026-350-8). URL: <https://heraldes.khmnpu.edu.ua/index.php/heraldes/article/view/2627/2684>
3. Глобальні ланцюги доданої вартості та розвиток. Підтримка всеохоплюючого та сталого промислового розвитку з боку ЮНІДО: звіт Організації Об'єднаних Націй з промислового розвитку. Відень: ЮНІДО, 2015. 44 с.
4. ДСТУ EN 450-1:2019. Зола винесення для застосування у бетонах. Частина 1. Визначення, специфікація та критерії відповідності (EN 450-1:2012, IDT) / Технічний комітет стандартизації «Будівельні вироби і матеріали» (ТК 305). Чинний від 2025-01-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2024. 24 с. URL: https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=108815&utm_source
5. Зварич І., Корнієнко Д. Стратегічний аналіз міжнародної торгівлі відходами: Німеччина та Італія як парадигми інтеграції України в європейську циркулярну економіку. *Економіка та суспільство*. 2026. № 83. DOI: [10.32782/2524-0072/2026-83-38](https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-83-38). URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/7456>
6. Зелена металургія повоєнної України / А. Девлін, В. Михненко, А. Загоруйчик, Н. Салмон, М. Солдак. *Вісник економічної науки України*. 2025. № 1(48). С. 215–239. URL: <https://www.venu-journal.org/download/2025/1/33-Devlin.pdf>
7. Із третього світу в перший: реформа управління відходами в Україні / РwC Україна. Київ: РwC, 2020. 55 с.
8. Миценко В. І., Ульяненко Д. В. Концепія глобальних ланцюгів доданої вартості у фреймах сталого розвитку. *Економіка і організація управління*. 2024. № 3(55). С. 80–93. DOI: [10.31558/2307-2318.2024.3.9](https://doi.org/10.31558/2307-2318.2024.3.9).

9. Миценко В. І., Ульяненко Д. В. Концепція 3R у «зелених» патернах ланцюгів створення вартості. *Проблеми розвитку соціально-економічних систем в національній та глобальній економіці*: праці XXV Всеукраїнської наукової конференції студентів та молодих вчених (м. Вінниця, 2 квітня 2025 р.) / ред. кол. Т. В. Орехова та ін. Вінниця: ДонНУ імені Василя Стуса, 2025. Т. 2. С. 44–48.

10. Нова політика ЄС з «циркулярної» економіки: можливості для України: аналітичний звіт / ГО «Діксі Груп», Міжнародний фонд «Відродження». Київ: Діксі Груп, 2020. 16 с. URL: https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2020/09/dixi_pb_circular-economy_ukr_full_3.pdf

11. Про управління відходами: Закон України від 20 черв. 2022 р. № 2320-IX. *Відомості Верховної Ради України*. 2023. № 17. Ст. 75.

12. Рябчин О. М., Орехова Т. В. Пріоритети фінансування сталого відновлення міжнародними фінансовими організаціями та агенціями з міжнародного розвитку. *Економіка і організація управління*. 2025. № 2(58). С. 186–197. DOI: [10.31558/2307-2318.2025.2.18](https://doi.org/10.31558/2307-2318.2025.2.18).

13. Сегеда С., Батажок С. «Зелена» модернізація агропродовольчого виробництва як основа стійкості продовольчої системи. *Економічний аналіз*. 2025. Т. 35, № 4. С. 234–242. DOI: [10.35774/econa2025.04.232](https://doi.org/10.35774/econa2025.04.232).

14. Сегеда С., Приходько Т. Економічна адаптація продовольчої системи України до вимог ЄС у контексті «зеленої» економіки. *Економічний аналіз*. 2025. Т. 35, № 3. С. 627–640. DOI: [10.35774/econa2025.03.627](https://doi.org/10.35774/econa2025.03.627).

15. Ульяненко Д. В. Динаміка формування моделі управління відходами в Україні. *Економічний простір*. 2026. № 215. С. 449–454. DOI: [10.30838/EP.215.449-454](https://doi.org/10.30838/EP.215.449-454).

16. Ульяненко Д. В. Концепція «зелених» ланцюгів доданої вартості у контексті реалізації принципів сталого розвитку. *Економіка і організація управління*. 2023. № 1(49). С. 181–189. DOI: [10.31558/2307-2318.2023.1.18](https://doi.org/10.31558/2307-2318.2023.1.18).

17. Ульяненко Д. В. Напрями трансформації промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості. *Проблеми розвитку соціально-економічних систем в національній та глобальній економіці*: праці XXIII Всеукраїнської наукової

конференції студентів та молодих вчених (м. Вінниця, 21 квітня 2023 р.) / ред. кол. Т. В. Орехова та ін. Вінниця: ДонНУ імені Василя Стуса, 2023. Т. 1. С. 125–128.

18. Ульяненко Д. В. Рециклінг як одна з основних складових трансформації промисловості до моделі циркулярної економіки. *Управління розвитком соціально-економічних систем: глобалізація, підприємництво, стале економічне зростання: праці XXV Міжнародної наукової конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (м. Вінниця, 27 листопада 2025 р.)* / ред. кол. Т. В. Орехова та ін. Вінниця: ДонНУ імені Василя Стуса, 2025. Т. 1. С. 176–178.

19. Ульяненко Д. В. Розвиток технологій рециклінгу в рамках трансформації промисловості до моделі циркулярної економіки. *Економіка і організація управління*. 2025. № 4(60). С. 243–258. DOI: 10.31558/2307-2318.2025.4.23.

20. Ульяненко Д. В., Савченко М. В. Циркулярна стійкість підприємства як індикатор оцінки ефективності технологій рециклінгу. *Актуальні проблеми економіки*. 2024. № 4(274). С. 22–37. DOI: 10.32752/1993-6788-2024-1-274-22-37.

21. Уряд затвердив Національний план управління відходами до 2033 року / Євроінтеграційний портал. 2025. URL: <https://eu-ua.kmu.gov.ua/news/uryad-zatverdyyv-natsionalnyj-plan-upravlinnya-vidhodamy-do-2033-roku/>

22. Утворення та управління відходами. *Держстат*. URL: <https://stat.gov.ua/uk/datasets/utvorennnya-ta-upravlinnya-vidkhodamy>

23. Шебанін В. С., Решетілов Г. О. Циркулярна економіка регіону: теоретичний аспект. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2021. Вип. 4(112). С. 4–13. DOI: 10.31521/2313-092X/2021-4(112).

24. Шкурат М. Є., Лозінський А. В. Трансформаційні процеси у виробничих галузях в умовах розвитку циркулярної економіки: глобальні тенденції. *Проблеми економіки*. 2024. № 4(62). С. 44–55. DOI: [10.32983/2222-0712-2024-4-44-55](https://doi.org/10.32983/2222-0712-2024-4-44-55).

25. Яценко О. М., Швиданенко О. А., Швиданенко Г. О. Циркулярна економіка як основа забезпечення сталого розвитку країни в контексті євроінтеграції. *Економіка і регіон*. 2022. № 4(87). С. 150–167. URL: <https://journals.nupp.edu.ua/eir/article/download/2794/2202/3908>

26. 20 years together – Celebrating the accession of Cyprus, Czechia, Estonia, Hungary, Latvia, Lithuania, Malta, Poland, Slovakia and Slovenia: anniversary report / European Commission. Brussels: EC, 2024. 48 p.

27. A Critical Review on Sustainable Hazardous Waste Management Strategies: A Step Towards a Circular Economy / A. Kumar, A. K. Thakur, G. K. Gaurav, J. J. Klemeš, V. K. Sandhwar, K. K. Pant, R. Kumar. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30, № 48. P. 105030–105055. DOI: 10.1007/s11356-023-29511-8.

28. A new Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe: communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions / European Commission. Brussels, 2020.

29. A Toolbox for Improved Recycling of Critical Metals and Materials in low-Carbon Technologies / G. Zante, C. E. Elgar, J. M. Hartley, R. Mukherjee, J. Kettle, L. E. Horsfall, A. Walton, G. D. J. Harper, A. P. Abbott. *RSC Sustainability*. 2024. Vol. 2, № 2. P. 320–347. DOI: 10.1039/d3su00390f.

30. Agarwal C., Pandey A. K. Remediation and recycling of inorganic acids and their green alternatives for sustainable industrial chemical processes. *Environmental Science: Advances*. 2023. Vol. 2, № 10. P. 1306–1339. DOI: 10.1039/d3va00112a.

31. Ahlstrom D. How business contributes to society. *Academy of Management Perspectives*. 2010. Vol. 24, № 3. P. 10–24.

32. Anaerobic Digestion as a Sustainable Biorefinery Concept for Waste to Energy Conversion / A. Kushwaha, V. Mishra, V. Gupta, S. Goswami, P. K. Gupta, L. K. Singh, C. B. Gupt, K. Rakshit, L. Goswami. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* / ed. by S. Varjani et al. Elsevier, 2022. P. 129–163. DOI: 10.1016/b978-0-323-85387-3.00008-2.

33. Anaerobic digestion of poplar processing residues for methane production after alkaline treatment / Y. Yao, M. He, Y. Ren, L. Ma, Y. Luo, H. Sheng, H. Zhang, Q. Li, L. An. *Bioresource Technology*. 2013. Vol. 134. P. 347–352. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.12.160.

34. Analysis of Industrial Solid Waste and the Possibility of Recycling and Utilization / B. Chen, M. Liu, L. Wang, Q. Guo, Sh. Zhou. *Green Chemistry Letters and Reviews*. 2025. Vol. 18, № 1. Art. 2493155. DOI: [10.1080/17518253.2025.2493155](https://doi.org/10.1080/17518253.2025.2493155).
35. Arenas D., Fosse J., Huc E. Business Going Green – An Exploratory Study on the Process Towards Sustainability. Barcelona: ESADE-Institute for Social Innovation, 2010.
36. Arylgermylation of alkenes by cooperative photoactivation and hydrogen atom transfer strategy / J. Cao, Y. Liu, Z. Wang, L. Liu. *Organic Chemistry Frontiers*. 2024. Vol. 11, № 23. P. 7098–7106. DOI: [10.1039/d4qo01497a](https://doi.org/10.1039/d4qo01497a).
37. Ashton W., Russell S., Futch E. The adoption of green business practices among small US Midwestern manufacturing enterprises. *Journal of Environmental Planning and Management*. 2017. Vol. 60, № 12. P. 2133–2149. DOI: [10.1080/09640568.2017.1281107](https://doi.org/10.1080/09640568.2017.1281107).
38. Assessing Environmental Impacts of Municipal Solid Waste of Johor by Analytical Hierarchy Process / A. H. Abba, Z. Z. Noor, R. O. Yusuf, M. F. M. D. Din, M. A. A. Hassan. *Resources, Conservation and Recycling*. 2013. Vol. 73. P. 188–196. DOI: [10.1016/j.resconrec.2013.01.003](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.01.003).
39. Assortative mating on blood type: Evidence from one million Chinese pregnancies / Y. Hou, K. Tang, J. Wang, D. Xie, H. Zhang, H. Zhao, J. Yin, X. Lin, H. Wang, J. Zhang. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2022. Vol. 119, № 51. Art. e2209643119. P. 1–12. DOI: [10.1073/pnas.2209643119](https://doi.org/10.1073/pnas.2209643119).
40. ASTM C618-26. Standard Specification for Coal Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. Active Standard. West Conshohocken: ASTM International, 2026. 5 p. URL: https://store.astm.org/standards/c618?utm_source
41. Ayers J. Handbook of supply chain management. 2nd ed. Boca Raton, FL: Auerbach Publications, 2006. 640 p.
42. Bacterial diversity in rice field soil and sludge soil samples: a comparative metagenomics-based study / N. Singh, V. Singh, V. Mishra, C. S. Seth, B. Singh. *Environmental Research Communications*. 2024. Vol. 6, № 12. Art. 125015. P. 1–11. DOI: [10.1088/2515-7620/ad9143](https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad9143).

43. Bandara R., Indunil G. M. Food Packaging from Recycled Papers: Chemical, Physical, Optical Properties and Heavy Metal Migration. *Heliyon*. 2022. Vol. 8, № 10. Art. e10959. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e10959.
44. Base- or Acid-Assisted Polystyrene Plastic Degradation in Supercritical CO₂ / Y. Liu, J. Shi, L. Mao, B. Lu, X. Kang, H. Jin. *Waste Disposal & Sustainable Energy*. 2023. Vol. 5, № 2. P. 165–175. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10023313/>
45. Benchmarking Construction Waste Management Performance Using Big Data / W. Lu, X. Chen, Y. Peng, L. Shen. *Resources, Conservation and Recycling*. 2015. Vol. 105. P. 49–58. DOI: 10.1016/j.resconrec.2015.10.013.
46. Blogs & Insights. *Agility*. URL: [Blogs & Insights – Agility](#)
47. Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) / European Commission. 2026. URL: https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en
48. Čekanavičius L., Bazyte R., Dičmonaitė A. Green business: Challenges and practices. *Ekonomika*. 2014. Vol. 93, № 1. P. 74–88. DOI: 10.15388/Ekon.2014.0.3021. URL: <https://www.journals.vu.lt/ekonomika/article/view/3021>
49. Challenges of Water Contamination in Urban Areas / N. Singh, T. Poonia, S. S. Siwal, A. L. Srivastav, H. K. Sharma, S. K. Mittal. *Current Directions in Water Scarcity Research*. 2022. Vol. 6. P. 173–202. DOI: 10.1016/b978-0-323-91838-1.00008-7.
50. Chan E. S. W. Managing green marketing: Hong Kong hotel managers' perspective. *International Journal of Hospitality Management*. 2013. Vol. 34. P. 442–461. DOI: [10.1016/j.ijhm.2012.12.007](https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2012.12.007).
51. Characteristics, dynamic analyses and hazard assessment of debris flows in Niumiangou valley of Wenchuan County / Z. Yang, X. Zhao, M. Chen, G. Zheng, J. Ma, Y. Tian. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, № 2. Art. 1161. P. 1–13. DOI: 10.3390/app13021161.
52. Chin T. A., Tat H. H., Sulaiman Z. Green supply chain management, environmental collaboration and sustainability performance. *Procedia CIRP*. 2015. Vol. 26. P. 695–699. DOI: [10.1016/j.procir.2014.07.035](https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.035).
53. Chopra S., Meindl P. Supply chain management: strategy, planning, and operation. 6th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2015. 516 p. URL:

[https://rudycr.com/supchn/Supply%20chain%20management%20strategy,%20planning,%20and%20operation%20\(Chopra,%20Sunil%20Meindl,%20Peter%20Vir%20Kalra,%20Dharam\)2016.pdf](https://rudycr.com/supchn/Supply%20chain%20management%20strategy,%20planning,%20and%20operation%20(Chopra,%20Sunil%20Meindl,%20Peter%20Vir%20Kalra,%20Dharam)2016.pdf)

54. Christopher M. Logistics and supply chain management: Creating value-adding networks. 3rd ed. London: Prentice Hall, 2005. 288 p. URL: <https://calidadsinlagrimas.com/wp-content/uploads/2025/06/Logistics-and-Supply-Chain-Management-Martin-Christopher.pdf>

55. Chun S.-H., Hwang H. J., Byun Y.-H. Supply chain process and green business activities: Application to small and medium enterprises. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2015. Vol. 186. P. 862–867. DOI: [10.1016/j.sbspro.2015.04.191](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.191).

56. Circulair Materialenplan (CMP) [Циркулярний план матеріалів Нідерландів від 30 грудня 2025 року] / Rijksoverheid, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. 2025. URL: <https://circulairmaterialenplan.nl/cmp-vervangt-lap3/>

57. Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: plastic, textile and electro-electronic cases / E. Rossi, A. C. Bertassini, C. dos S. Ferreira et al. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 247. Art. 119137. DOI: [10.1016/j.jclepro.2019.119137](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119137).

58. Circular Transition Indicators (CTI): Sector guidance – Electronic devices / World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Geneva: WBCSD, 2021. 24 p. URL: <https://www.wbcsd.org/Programs/Circular-Economy/Metrics-Measurement/Resources/CircularTransition-Indicators-CTI-Sector-guidance-Electronic-devices>

59. Closing the loop – an EU action plan for the Circular Economy: communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions / European Commission. Brussels, 2015.

60. CMG A., Fagorite V., Oli I. C. Mine Waste: Sources, Problems and Mitigations. *EPH – International Journal of Applied Science*. 2019. Vol. 5, iss. 3. P. 1–7. DOI: [10.53555/eijas.v5i3.112](https://doi.org/10.53555/eijas.v5i3.112).

61. Code de l'environnement [Екологічний кодекс Французької Республіки] / République Française, Légifrance. 2026. URL: https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte_lc/LEGITEXT000006074220/
62. Cohen S., Roussel J. Strategic supply chain management: The five core disciplines for top performance. New York: McGraw-Hill, 2013. 336 p. URL: https://books.google.com.ua/books/about/Strategic_Supply_Chain_Management_The_Fi.html?id=wrSQaYl7wVAC&redir_esc=y
63. Costanza R. Ecological economics: the science and management of sustainability. New York: Columbia University Press, 1992. 525 p.
64. Crop Residue Burning in India: Policy Challenges and Potential Solutions / S. Bhuvaneshwari, H. Hettiarachchi, J. Meegoda. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. Vol. 16, № 5. Art. 832. P. 1–19. DOI: 10.3390/ijerph16050832.
65. Current Research Progress of Physical and Biological Methods for Disposing Waste Plastics / Y. Liu, J. Shi, H. Jin, L. Guo. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 408. Art. 137199. P. 1–14. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137199.
66. Darnal N., Jolley G. J., Handfield R. Environmental management systems and green supply chain management: Complements for sustainability? *Business Strategy and the Environment*. 2008. Vol. 17, № 1. P. 30–45. DOI: [10.1002/bse.557](https://doi.org/10.1002/bse.557).
67. De Franco G., Kothari S. P., Verdi R. S. The benefits of financial statement comparability. *Journal of Accounting Research*. 2011. Vol. 49, № 4. P. 895–931. DOI: [10.1111/j.1475-679X.2011.00415.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-679X.2011.00415.x). URL: [The Benefits of Financial Statement Comparability – DE FRANCO – 2011 – Journal of Accounting Research – Wiley Online Library](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-679X.2011.00415.x)
68. Development of recycling industries within the UNIDO circular economy approach. Vienna: United Nations Industrial Development Organization, 2025. 56 p.
69. Directive (EU) 2018/850 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 1999/31/EC on the landfill of waste. *Official Journal of the European Union*. 2018. L 150. P. 100–108. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/850/oj/eng>

70. Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*. 2018. L 150. P. 109–140. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/851/oj/eng>

71. Directive (EU) 2018/852 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste. *Official Journal of the European Union*. 2018. L 150. P. 141–154. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0852&utm_source

72. Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of life vehicles – Commission Statements. *Official Journal of the European Union*. 2000. L 269. P. 34–43. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/53/oj/eng>

73. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. *Official Journal of the European Union*. 2008. L 312. P. 3–30. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj/eng>

74. Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). *Official Journal of the European Union*. 2012. L 197. P. 38–71. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/19/oj/eng>

75. Diwekar U. Green process design, industrial ecology, and sustainability: A systems analysis perspective. *Resources, Conservation and Recycling*. 2005. Vol. 44, № 3. P. 215–235. DOI: [10.1016/j.resconrec.2005.01.007](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.01.007).

76. Dowie T. Green design. *World Class Design to Manufacture*. 1994. Vol. 1, № 4. P. 32–38. DOI: [10.1108/09642369210063045](https://doi.org/10.1108/09642369210063045).

77. Elkington J. Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development. *California Management Review*. 1994. Vol. 36, iss. 2. P. 90–100. DOI: [10.2307/41165746](https://doi.org/10.2307/41165746).

78. Enablers and barriers to the organizational adoption of sustainable business practices / S. Seidel, C. Pimmer, J. Recker, J. vom Brocke. *Proceedings of the 16th*

Americas Conference on Information Systems (AMCIS 2010). Lima, Peru, 2010. P. 12–15.
URL:

https://www.researchgate.net/publication/43945563_Enablers_and_barriers_to_the_organizational_adoption_of_sustainable_business_practices

79. Enhancing antitumor efficacy of CLDN18.2-directed antibody-drug conjugates through autophagy inhibition in gastric cancer / W. Xue, C. Xu, K. Zhang, L. Cui, L. Gu, D. Jiang, F. Zhang, X. Zhao, X. Zhang, Y. Yao. *Cell Death Discovery*. 2024. Vol. 10, № 1. Art. 343. P. 1–11. DOI: [10.1038/s41420-024-02167-0](https://doi.org/10.1038/s41420-024-02167-0).

80. Enhancing beef tallow flavor through enzymatic hydrolysis: Unveiling key aroma precursors and volatile compounds using machine learning / X. Xiang, K. Wang, F. Wang, Q. Han, X. Wang, Q. Cheng, J. S. Elmore, S. J. Frazier, H. Hou. *Food Chemistry*. 2025. Vol. 477. Art. 143559. P. 1–12. DOI: [10.1016/j.foodchem.2025.143559](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143559).

81. Environment at a Glance: Lithuania / OECD. Paris: OECD Publishing, 2025. URL: https://www.oecd.org/en/publications/environment-at-a-glance-country-notes_59ce6fe6-en/lithuania_47813dc8-en.html

82. Environmental Indicators: A Systematic Approach To Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development / A. Hammond, A. Adriaanse, E. Rodenburg, D. Bryant, R. Woodward. Washington: World Resources Institute, 1995. DOI: [10.1021/ja01151a046](https://doi.org/10.1021/ja01151a046).

83. Environmental Protection Act (ZVO-2) [Закон Словенії про охорону довкілля від 2022 року із змінами від 13 лютого 2026 року] / UNEP Law and Environment Assistance Platform. 2026. URL: <https://leap.unep.org/en/countries/si/national-legislation/environmental-protection-act-zvo-2>

84. Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South / I. R. Abubakar, K. M. Maniruzzaman, U. L. Dano, F. S. AlShihri, M. S. AlShammari, S. M. S. Ahmed, W. A. G. Al-Gehlani, T. I. Alrawaf. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19, № 19. Art. 12717. P. 1–26. DOI: [10.3390/ijerph191912717](https://doi.org/10.3390/ijerph191912717).

85. European Circular Economy Stakeholder Platform / European Commission, European Economic and Social Committee. 2026. URL: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en>

86. Extraction of flavonoids from *Cyclocarya paliurus* (Juglandaceae) leaves using ethanol/salt aqueous two-phase system coupled with ultrasonic / S. Yang, B. Liu, M. Tang, G. Yang, S. Zhou, M. Zhao. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2020. Vol. 44, iss. 6. Art. e14469. P. 1–9. DOI: 10.1111/jfpp.14469.

87. Extreme soil salinity reduces N and P metabolism and related microbial network complexity and community immigration rate / C. Yang, Y. Chen, W. Sun, M. Li, J. Zhou, Y. He, G. Yan, J. Gu. *Environmental Research*. 2024. Vol. 264. Art. 120361. P. 1–15. DOI: 10.1016/j.envres.2024.120361.

88. Facilitated methanogenesis involved in anaerobic digestion of dairy manure by soil / Y. Yao, H. Li, Q. Qiu, J. Shi, S. Chen, Y. Qiu, X. Yu, X. Wang, Z. Wang, C. Chen. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 236. Art. 117640. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117640.

89. Florida R., Davison D., Cline M. Do green businesses benefit communities? *Public Policy*. 1999. URL: https://creativeclass.com/articles/7%20Do_Green_Businesses_Benefit_Communities.pdf

90. Fly Ash-Based Eco-Efficient Concretes: A Comprehensive Review of the Short-Term Properties / M. Amran, R. Fediuk, G. Murali, S. Avudaiappan, T. Ozbakkaloglu, N. Vatin, M. Karelina, S. Klyuev, A. Gholampour. *Materials*. 2021. Vol. 14, № 15. Art. 4264. P. 1–25. DOI: [10.3390/ma14154264](https://doi.org/10.3390/ma14154264).

91. GDP Per Capita, PPP (Constant 2021 International \$) / World Bank. 2024. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.KD>

92. Generation of waste by waste category, hazardousness and NACE Rev. 2 activity / Eurostat. 2026. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasgen/default/table?lang=en

93. Generation of waste excluding major mineral wastes per GDP unit / Eurostat. 2026. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_pc032/default/table?lang=en

94. Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG) [Закон Німеччини про циркулярну економіку від 1 червня 2012 року зі змінами від 27 серпня 2024 року] / Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). 2024. URL: <https://www.bundesumweltministerium.de/gesetz/kreislaufwirtschaftsgesetz>

95. Graedel T., Allenby B. Industrial ecology and sustainable engineering. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010. 425 p.

96. Green business value chain: a systematic review / Md. M. Hasan, Md. Nekmahmud, Y. Lu, M. A. Patwary. Sustainable Production and Consumption. 2019. Vol. 20. P. 326–339. DOI: 10.1016/j.spc.2019.08.003.

97. Greener Production of Compost from Agricultural Biomass Residues Amended with Mule Dung for Agronomic Application / A. S. Vizhimalar, M. Vasanthy, C. Thamaraiselvi, M. Biruntha, J. A. J. Paul, A. Thirupathi, S. W. Chang, Z. Xu, S. Al-Rashed, G. Munuswamy-Ramanujam, B. Ravindran. *Chemosphere*. 2022. Vol. 288. Art. 132561. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.132561.

98. Guimaraes T., Sato O. Differences in perceptions of human resource development across countries. *Journal of Transnational Management Development*. 1996. Vol. 2, № 3. DOI: [10.4337/9780857932990](https://doi.org/10.4337/9780857932990).

99. Gutberlet J., Uddin S. M. N. Household Waste and Health Risks Affecting Waste Pickers and the Environment in low- and Middle-Income Countries. *International Journal of Occupational and Environmental Health*. 2017. Vol. 23, № 4. P. 299–310. DOI: 10.1080/10773525.2018.1484996.

100. Hasper M. Green technology in developing countries: Creating accessibility through a global exchange forum. *Duke Law & Technology Review*. 2009. Vol. 8, № 1. Art. 4. P. 1–16. URL: <https://scholarship.law.duke.edu/dltr/vol7/iss1/9/>

101. Hemalatha T., Ramaswamy A. A review on fly ash characteristics – Towards promoting high volume utilization in developing sustainable concrete. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 147. P. 546–559. DOI: [10.1016/j.jclepro.2017.01.114](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.114).

102. Highquality Collection and Disposal of WEEE: Environmental Impacts and Resultant Issues / J. Baxter, K.-A. Lyng, C. Askham, O. J. Hanssen. *Waste Management*. 2016. Vol. 57. P. 17–26. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.02.005.

103. Hoornweg D., Bhada-Tata P. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. Washington, DC: World Bank, 2012. 116 p. (Urban Development Series Knowledge Papers; № 15). URL: <https://hdl.handle.net/10986/17388>

104. Hopewell J., Dvorak R., Kosior E. Plastics Recycling: Challenges and Opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2009. Vol. 364, № 1526. P. 2115–2126. DOI: 10.1098/rstb.2008.0311.

105. Hughes J., Ralf M., Michels W. Transform your supply chain: Releasing value in business. Andover: Cengage Learning EMEA, 1998. 240 p. URL: https://books.google.com.ua/books/about/Transform_Your_Supply_Chain.html?id=Hj3r97iFwqIC&redir_esc=y

106. Hybridization-based discovery of novel quinazoline-2-indolinone derivatives as potent and selective PI3K α inhibitors / C. Liu, Y. Cao, Y. Zuo, J. He, S. Fang, Y. Wu, X. Wu, Y. Zhou. *Journal of Advanced Research*. 2024. Vol. 68. P. 459–475. DOI: 10.1016/j.jare.2024.03.002.

107. Hydrometallurgical Recovery / Recycling of Platinum by the Leaching of Spent Catalysts: A Review / M. K. Jha, J.-C. Lee, M.-S. Kim, J. Jeong, B.-S. Kim, V. Kumar. *Hydrometallurgy*. 2013. Vol. 133. P. 23–32. DOI: 10.1016/j.hydromet.2012.11.012.

108. Inbound Logistics: Logistics and Supply Chain Articles, News, Tools, and Resources. 2026. URL: <https://www.inboundlogistics.com/>

109. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2018 / U.S. Environmental Protection Agency. Washington: US EPA, 2020. 430-R-20-002. URL: <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2018>

110. Kadir A. A., Azhari N. W., Jamaludin S. N. An Overview of Organic Waste in Composting. *MATEC Web of Conferences*. 2016. Vol. 47. Art. 05025. P. 1–6. DOI: 10.1051/mateconf/20164705025.

111. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*. 2017. Vol. 127. P. 221–232. DOI: [10.1016/j.resconrec.2017.09.005](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005).

112. Koksharov V., Starodubets N., Ponomareva M. Assessment of an Enterprise Circular Economy Development. *WSEAS Transactions on Business and Economics*. 2019. Vol. 16. P. 559–567. URL: https://www.researchgate.net/publication/361074040_Assessment_of_an_Enterprise_Circular_Economy_Development

113. Kotler P., Armstrong G. Principles of Marketing. 17th ed. Pearson Education, 2018. 736 p.

114. Kotler P., Keller K. L. Marketing Management. 15th global ed. Pearson Education, 2016. 714 p. DOI: [10.1080/08911760903022556](https://doi.org/10.1080/08911760903022556).

115. Kumar P., Ghodeswar B. M. Factors affecting consumers' green product purchase decisions. *Marketing Intelligence & Planning*. 2015. Vol. 33, № 3. P. 330–347. DOI: [10.1108/MIP-03-2014-0068](https://doi.org/10.1108/MIP-03-2014-0068).

116. Lambert D. Supply chain management: Processes, partnerships, performance. 4th ed. Sarasota, FL: Supply Chain Management Institute, 2014. 463 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/282673243_Douglas_M_Lambert_Editor_Supply_Chain_Management_Processes_Partnerships_Performance_Fourth_Edition_Ponte_Vedra_Beach_FL_Supply_Chain_Management_Institute_2014_pp_463

117. Laubscher M., Marinelli T. Integration of Circular Economy in Business. *ResearchGate*. 2014. November. DOI: 10.13140/2.1.4864.4164. URL: https://www.researchgate.net/publication/270207909_Integration_of_Circular_Economy_in_Business

118. Law on Waste Management (No. VIII-787) [Закон Литовської Республіки про управління відходами від 16 червня 1998 року зі змінами і доповненнями] / Lithuania. *Ecolex: International Environmental Law Database*. 2024. URL: <https://www.ecolex.org/details/legislation/law-on-waste-management-no-viii-787-lex-faoc028121/>

119. Le Plan de Gestion des Ressources et Déchets (PGRD) de la Région de Bruxelles-Capitale [План управління ресурсами та відходами регіону Брюссель-Столиця від 22 листопада 2018 року з оцінкою за 2018–2023 pp.] / Bruxelles Environnement. 2023.

URL: <https://environnement.brussels/citoyen/politique-regionale/plans-strategiques-regionaux/le-plan-de-gestion-des-ressources-et-dechets-pgrd>

120. Lee H., Lee H. The Process Development of Glass Cullet and Recycled Glass Aggregate for Improving Recycling Rate. *Research Square*. 2021. Preprint. DOI: [10.21203/rs.3.rs-709571/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-709571/v1).

121. Legislative Decree No. 152/2006 approving the Code on the Environment. [Законодавчий декрет Італійської Республіки № 152/2006 про затвердження Екологічного кодексу] / Italy, AMP EID. 2006. URL: <https://ampeid.org/documents/italy/legislative-decree-no-152-2006-approving-the-code-on-the-environment/>

122. Levitt T. Exploit the Product Life Cycle. *Harvard Business Review*. 1965. Vol. 43, № 6. P. 81–94. URL: <https://hbr.org/1965/11/exploit-the-product-life-cycle>

123. LOI n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire (1) [Закон Французької Республіки про боротьбу з марнотратством та циркулярну економіку] / République Française, Légifrance. *Journal officiel de la République française*. 2020. N° 0035. Texte n° 2. URL: <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000041553759>

124. Lokaal Materialenplan 2023–2030 [Регіональний план матеріалів Фландрії на період 2023–2030 pp. від 26 травня 2023 року] / Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij (OVAM). 2023. URL: <https://ovam.vlaanderen.be/lokaal-materialenplan-2023-2030>

125. Loknath Y., Abdul Azeem B., Green management – concept and strategies. *Proceedings of National Conference on Marketing and Sustainable Development*. 2017. P. 688–702. URL: https://www.researchgate.net/publication/330089504_Green_Management-Concept_and_Strategies

126. Lun Y. H. V. Green management practices and firm performance: A case of container terminal operations. *Resources, Conservation and Recycling*. 2011. Vol. 55, № 6. P. 559–566. DOI: [10.1016/j.resconrec.2010.12.001](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.12.001).
127. Makower J. State of Green Business 2014. *Trellis*. Updated 16.02.2026. URL: <https://trellis.net/article/state-green-business-2014/>
128. Mesarovic M. D. Foundations for a General Systems Theory. New York: John Wiley & Sons, 1964. 312 p.
129. Mesarovic M. D. General Systems Theory and Systems Research Contrasting Conceptions of Systems Science. *Proceedings from the Second Systems Symposium*. Cleveland, Ohio, 1962.
130. Mesarovic M. D., Takahara Y. General Systems Theory: Mathematical Foundations. Amsterdam: Elsevier Science, 1975. 322 p.
131. Microbial mechanisms for higher hydrogen production in anaerobic digestion at constant temperature versus gradient heating / H. Wu, A. Li, H. Zhang, L. Cui, Z. Chang, Y. Yao. *Microbiome*. 2024. Vol. 12, № 1. Art. 165. P. 1–18. DOI: 10.1186/s40168-024-01908-8.
132. Mioara B., Mihai T. Incidence of green business on developing the entrepreneurial environment from metropolitan area of Iași. *Procedia Economics and Finance*. 2014. Vol. 15. P. 1201–1208. DOI: [10.1016/S2212-5671\(14\)00579-6](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00579-6).
133. Molenaar J. W., Kessler J. J. Business benefits of using sustainability standards: A meta-review. Aidenvironment, commissioned by ISEAL Alliance. 2017. URL: <https://aidenenvironment.org/wp-content/uploads/2024/07/Aidenvironment-report-business-benefits-of-standards.pdf>
134. Municipal Solid Waste Management and Waste-to-Energy in the Context of a Circular Economy and Energy Recycling in Europe / J. Malinauskaite, H. Jouhara, D. Czajczyńska, P. Stanchev, E. Katsou, P. Rostkowski, R. J. Thorne, J. Colón, S. Ponsá, F. Al-Mansour, L. Anguilano, R. Krzyżyńska, I. C. López, N. Vlasopoulos, N. Spencer. *Energy*. 2017. Vol. 141. P. 2013–2044. DOI: 10.1016/j.energy.2017.11.128.
135. Municipal waste by waste management operations / Eurostat. 2026. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasmun/default/table?lang=en

136. Murray R. Zero Waste. London: Greenpeace Publications, 2002. 112 p.
137. Need for Sustainable Packaging: An Overview / I. D. Ibrahim, Y. Hamam, E. R. Sadiku, J. M. Ndambuki, W. K. Kupolati, T. Jamiru, A. A. Eze, J. Snyman. *Polymers*. 2022. Vol. 14, № 20. Art. 4430. P. 1–16. DOI: [10.3390/polym14204430](https://doi.org/10.3390/polym14204430).
138. Newton T., Harte G. Green business: Technician kitsch? *Journal of Management Studies*. 1997. Vol. 34, № 1. P. 75–98. DOI: [10.1111/1467-6486.00043](https://doi.org/10.1111/1467-6486.00043).
139. Nogareda J. S., Ziegler A. Green Management and Green Technology – Exploring the Causal Relationship. *ZEW Discussion Paper*. 2006. № 06-040.
140. Nulkar G. SMEs and environmental performance – a framework for green business strategies. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2014. Vol. 133. P. 130–140. DOI: [10.1016/j.sbspro.2014.04.177](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.04.177).
141. O’Sullivan M. The sustainability of industrial development in Ireland. *Regional Studies*. 2000. Vol. 34, № 3. P. 277–290. DOI: [10.1080/00343400050015113](https://doi.org/10.1080/00343400050015113).
142. OECD database on Policy Instruments for the Environment (PINE): brochure / OECD. Paris: OECD Publishing, 2017. URL: <https://www.oecd.org/en/data/datasets/policy-instruments-for-the-environment-pine-database.html>
143. OECD Environmental Performance Reviews: Czech Republic 2018 / OECD. Paris: OECD Publishing, 2018. 192 p. DOI: [10.1787/9789264300958-en](https://doi.org/10.1787/9789264300958-en).
144. OECD Environmental Performance Reviews: Estonia 2017 / OECD. Paris: OECD Publishing, 2017. 176 p. DOI: [10.1787/9789264268241-en](https://doi.org/10.1787/9789264268241-en).
145. OECD Environmental Performance Reviews: Hungary 2018 / OECD. Paris: OECD Publishing, 2018. 176 p. DOI: [10.1787/9789264298613-en](https://doi.org/10.1787/9789264298613-en).
146. OECD Environmental Performance Reviews: Lithuania 2021 / OECD. Paris: OECD Publishing, 2021. 185 p. (OECD Environmental Performance Reviews). DOI: [10.1787/48d82b17-en](https://doi.org/10.1787/48d82b17-en).
147. OECD Environmental Performance Reviews: Poland 2015 / OECD. Paris: OECD Publishing, 2015. 208 p. DOI: [10.1787/9789264227385-en](https://doi.org/10.1787/9789264227385-en).
148. OECD Environmental Performance Reviews: The Netherlands 2015 / OECD. Paris: OECD Publishing, 2015. 212 p. DOI: [10.1787/9789264240056-en](https://doi.org/10.1787/9789264240056-en).

149. Origin and Health Impacts of Emissions of Toxic By-Products and Fine Particles from Combustion and Thermal Treatment of Hazardous Wastes and Materials / S. A. Cormier, S. Lomnicki, W. Backes, B. Dellinger. *Environmental Health Perspectives*. 2006. Vol. 114, № 6. P. 810–817. DOI: 10.1289/ehp.8629.

150. Origin of System Dynamics / System Dynamics Society. URL: <https://systemdynamics.org/origin-of-system-dynamics/>

151. Pane Haden S. S., Oyler J. D., Humphreys J. H. Historical, practical, and theoretical perspectives on green management: An exploratory analysis. *Management Decision*. 2009. Vol. 47, № 7. P. 1041–1055. DOI: [10.1108/00251740910978287](https://doi.org/10.1108/00251740910978287).

152. Pattinson C. Emerging technologies and their environmental impact. *Green Information Technology: A Sustainable Approach* / ed. by M. Dastbaz et al. Elsevier Inc., 2015. Ch. 2. P. 23–38. DOI: [10.1016/B978-0-12-801379-3.00002-4](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801379-3.00002-4).

153. Plan Wallon Déchets-Ressources (PWD-R) [Валлонський план управління відходами як ресурсами від 22 березня 2018 року] / Service public de Wallonie (SPW), L'Environnement en Wallonie. 2018. URL: <https://environnement.wallonie.be/home/gestion-environnementale/dechets/economie-circulaire/pwdr.html>

154. Policy roundtables – Waste management services: DAF/COMP(2013)26 / OECD Competition Committee. Paris: OECD Publishing, 2013. 320 p. URL: www.oecd.org/daf/competition/Waste-management-services-2013.pdf

155. Polonsky M. J., Rosenberger III P. J. Reevaluating green marketing: A strategic approach. *Business Horizons*. 2001. Vol. 44, № 5. P. 21–30. DOI: [10.1016/S0007-6813\(01\)80057-4](https://doi.org/10.1016/S0007-6813(01)80057-4).

156. Raabe D. The Materials Science Behind Sustainable Metals and Alloys. *Chemical Reviews*. 2023. Vol. 123, № 5. P. 2436–2608. DOI: 10.1021/acs.chemrev.2c00799.

157. Ragaert K., Delva L., Van Geem K. Mechanical and Chemical Recycling of Solid Plastic Waste. *Waste Management*. 2017. Vol. 69. P. 24–58. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.07.044.

158. Ram A. K., Mohanty S. State of the art review on physiochemical and engineering characteristics of fly ash and its applications. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2022. Vol. 9. Art. 9. P. 1–19. DOI: [10.1007/s40789-022-00472-6](https://doi.org/10.1007/s40789-022-00472-6).

159. Re:inventex – перша в Україні компанія з повним циклом механічної переробки текстильних відходів. URL: <https://www.reinventex.com.ua/circular-economy>

160. Recommendation of the Council on the Environmentally Sound Management of Waste: OECD Legal Instruments: C(2004)100 / OECD Council. Adopted on 18 May 2004. Paris: OECD, 2007. URL: [https://one.oecd.org/document/C\(2004\)100/en/pdf](https://one.oecd.org/document/C(2004)100/en/pdf)

161. Recycled Aggregate from C&D Waste & its use in Concrete – A Breakthrough Towards Sustainability in Construction Sector: A Review / M. Behera, S. K. Bhattacharyya, A. K. Minocha, R. Deoliya, S. Maiti. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 68. P. 501–516. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.07.003.

162. Recycled Construction and Demolition Concrete Waste as Aggregate for Structural Concrete / A. M. Wagih, H. Z. El-Karmoty, M. Ebid, S. H. Okba. *HBRC Journal*. 2013. Vol. 9, № 3. P. 193–200. DOI: 10.1016/j.hbrcj.2013.08.007.

163. Recycling and Environmental Issues of Lithium-Ion Batteries: Advances, Challenges and Opportunities / C. M. Costa, J. C. Barbosa, R. Gonçalves, H. Castro, F. J. Del Campo, S. Lanceros-Méndez. *Energy Storage Materials*. 2021. Vol. 37. P. 433–465.

164. Recycling of nutrients from organic waste by advanced compost technology – A case study / Y. Wei, N. Wang, Y. Lin, Y. Zhan, X. Ding, Y. Liu, A. Zhang, G. Ding, T. Xu, J. Li. *Bioresource Technology*. 2021. Vol. 337. Art. 125411. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.125411.

165. Recycling of Organic Wastes in Agriculture: An Environmental Perspective / B. Sharma, B. Vaish, Monika, N. Singh, U. K. Singh, P. Singh, R. P. Singh. *International Journal of Environmental Research*. 2019. Vol. 13, № 2. P. 409–429. DOI: 10.1007/s41742-019-00175-y.

166. Reduce, reuse and recycle: Cohabitation in the built environment / K. Bushnell, A. Harpster, S. Simchuk, J. Manckia, C. Stevens. *International Journal of Stroke*. 2010. Vol. 5, № 5. P. 421–422. DOI: [10.1111/j.1747-4949.2010.00472.x](https://doi.org/10.1111/j.1747-4949.2010.00472.x).

167. Regulation (EU) 2023/1542 of the European Parliament and of the Council of 12 July 2023 concerning batteries and waste batteries, amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC. *Official Journal of the European Union*. 2023. L 191. P. 1–117. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj/eng>

168. Regulation (EU) 2024/1781 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for sustainable products, amending Directive (EU) 2020/1828 and Regulation (EU) 2023/1542 and repealing Directive 2009/125/EC. *Official Journal of the European Union*. 2024. L 1781. P. 1–84. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1781/oj/eng>

169. Regulation (EU) 2025/40 of the European Parliament and of the Council of 19 December 2024 on packaging and packaging waste, amending Regulation (EU) 2019/1020 and Directive (EU) 2019/904, and repealing Directive 94/62/EC. *Official Journal of the European Union*. 2024. L 40. P. 1–114. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2025/40/oj/eng>

170. Regulatory Frameworks for Urban Services – Background discussion paper to inform the Regulatory Reform Review of China / OECD. Paris: OECD Publishing, 2007. 45 p. URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2009/05/oecd-reviews-of-regulatory-reform-china-2009_g1gha7b2/9789264059429-en.pdf

171. Relationship Between Organic Farmland Expansion and Greenhouse Gas Emissions in Europe: Implications for the Implementation of the Sustainable Development Goals / S. Kozlovskiy, I. Zayukov, V. Kozlovskiy, O. Tregubov, S. Storchak, V. Mishchenko, R. Lavrov. *Problemy Ekorozwoju*. 2025. Vol. 20(1). P. 159–173. DOI: [10.35784/preko.6337](https://doi.org/10.35784/preko.6337).

172. Resource revolution: Meeting the world's energy, materials, food, and water needs / McKinsey Global Institute; McKinsey Sustainability and Resource Productivity Practice. S. l: McKinsey Global Institute, 2011. 161 p.

173. Review on E-Waste Management and Its Impact on the Environment and Society / M. Jain, D. Kumar, J. Chaudhary, S. Kumar, S. Sharma, A. S. Verma. *Waste Management Bulletin*. 2023. Vol. 1, iss. 3. P. 34–44. DOI: 10.1016/j.wmb.2023.06.004.

174. Roleders V., Oriekhova T., Sysoieva I. Trends in a global circular economy. *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development*. 2022. № 44(2). P. 176–184. DOI: [10.15544/mts.2022.18](https://doi.org/10.15544/mts.2022.18).

175. Sahajwalla V. Green Processes: Transforming Waste Into Valuable Resources. *Engineering*. 2018. Vol. 4, № 3. P. 309–310. DOI: [10.1016/j.eng.2018.05.011](https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.05.011).

176. Saidan M. N. Cross-sectional survey of non-hazardous waste composition and quantities in industrial sector and potential recycling in Jordan. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2019. Vol. 12. Art. 100227. P. 1–6. DOI: [10.1016/j.enmm.2019.100227](https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100227).

177. Schroeder P., Anggraeni K., Weber U. The relevance of circular economy practices to the Sustainable Development Goals. *Journal of Industrial Ecology*. 2019. Vol. 23, iss. 1. P. 77–95. DOI: [10.1111/jiec.12732](https://doi.org/10.1111/jiec.12732).

178. Seif R., Salem F. Z., Allam N. K. E-waste recycled materials as efficient catalysts for renewable energy technologies and better environmental sustainability. *Environment, Development and Sustainability*. 2024. Vol. 26, № 5. P. 5473–5508. DOI: [10.1007/s10668-023-02925-7](https://doi.org/10.1007/s10668-023-02925-7).

179. Seroka-Stolka O. The development of green logistics for implementation sustainable development strategy in companies. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2014. Vol. 151. P. 302–309. DOI: [10.1016/j.sbspro.2014.10.028](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.10.028).

180. Seroprevalence of Hepatitis B and C Among Domestic and Healthcare Waste Handlers in Belo Horizonte, Brazil / M. P. Mol, J. P. Gonçalves, E. A. Silva, C. F. Scarponi, D. B. Greco, S. Cairncross, L. Heller. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*. 2016. Vol. 34, № 9. P. 875–883. DOI: [10.1177/0734242\(16649686](https://doi.org/10.1177/0734242(16649686).

181. Shrivastava S. A systematic literature review on green manufacturing concepts in cement industries. *International Journal of Quality & Reliability Management*. 2017. Vol. 34, № 1. P. 68–90. DOI: [10.1108/MRR-09-2015-0216](https://doi.org/10.1108/MRR-09-2015-0216).

182. Smol M., Kulczycka J., Avdiushchenko A. Circular economy indicators in relation to eco-innovation in European regions. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2017. Vol. 19. P. 669–678. DOI: [10.1007/s10098-016-1323-8](https://doi.org/10.1007/s10098-016-1323-8).

183. Solvent Use and Waste Issues / C. S. Slater, M. J. Savelski, W. A. Carole, D. J. C. Constable. *Green Chemistry Metrics: Measuring and Monitoring Sustainable Processes* / ed. by A. Lapkin, D. Constable. Oxford: Wiley-Blackwell, 2010. P. 49–82.

184. Srivastava S. K. Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*. 2007. Vol. 9, no. 1. P. 53–80. DOI: [10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x](https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x).

185. Study on the effects of different Water-Cement ratios on the flow pattern properties of cement grouts / Z. Q. Yang, K. P. Hou, T. T. Guo, X. L. Zhou, S. B. Yu. *Applied Mechanics and Materials*. 2011. Vol. 71–78. P. 1264–1267. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.71-78.1264.

186. Study to Support Preparation of the Commission's Guidance for Extended Producer Responsibility Schemes: Recommendations for Guidance / M. Hilton, D. Hogg, P. Jones, A. Massie, J. Papineschi, C. Sherrington. Brussels: European Commission, Directorate-General for Environment, 2020. 115 p. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/08a892b7-9330-11ea-aac4-01aa75ed71a1/language-en>

187. Study to Support Preparation of the Commission's Guidance for Extended Producer Responsibility Schemes: Final Report / M. Hilton, D. Hogg, P. Jones, A. Massie, J. Papineschi, C. Sherrington. Brussels: European Commission, Directorate-General for Environment, 2020. 287 p. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ecb86ea2-932e-11ea-aac4-01aa75ed71a1/language-en>

188. Sustainability of Biodegradable Plastics: New Problem or Solution to Solve the Global Plastic Pollution? / T. D. Moshood, G. Nawanir, F. Mahmud, F. Mohamad, M. H. Ahmad, A. AbdulGhani. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. 2022. Vol. 5, Art. 100273. P. 1–18. DOI: 10.1016/j.crgsc.2022.100273.

189. Taib M. Y. M., Udin Z. M., Ghani A. H. A. The collaboration of green design & technology towards business sustainability in Malaysian manufacturing industry. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2015. Vol. 211. P. 237–242. DOI: [10.1016/j.sbspro.2015.11.029](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.029).

190. Techno-economic optimisation of steel supply chains in the clean energy transition: A case study of post-war Ukraine / A. Devlin, V. Mykhnenko, A. Zagoruichyk, N. Salmon, M. Soldak. *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 466. Art. 142675. DOI: [10.1016/j.jclepro.2024.142675](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142675).

191. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? / M. Geissdoerfer, P. Savaget, N. M. P. Bocken, E. J. Hultink. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 143. P. 757–768. DOI: [10.1016/j.jclepro.2016.12.048](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048).

192. The Danish Environmental Protection Agency: tasks within air pollution, noise limits, waste, and chemicals [Офіційний портал Данського агентства з охорони довкілля] / Danish EPA. 2025. URL: <https://eng.mst.dk/>

193. The EU Emissions Trading System (EU ETS). URL: https://commission.europa.eu/topics/climate-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en

194. The European Green Deal: Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions / European Commission. Brussels: European Commission, 2019. 24 p.

195. The European Green Deal: Striving to be the first climate-neutral continent / European Commission. 2019. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

196. The Global Menace of Hazardous Waste: Challenges and Management / M. Neksumi, M. Zishan, B. Sushmita, U. Manzoor. *Hazardous Waste Management: Advancements, Strategies, and Technologies* / ed. by M. P. Shah. Singapore: Springer, 2021. P. 1–29.

197. The National Circular Economy Strategy 2024 / Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection. 2024. URL: <https://www.bundesumweltministerium.de/en/topics/circular-economy/circular-economy-strategy>

198. Towards Sustainable Metal Recovery from e-Waste: A Mini Review / S. Manikandan, D. Inbakandan, C. V. Nachiyar, S. K. R. Namasivayam. *Sustainable*

Chemistry for the Environment. 2023. Vol. 2. Art. 100001. P. 1–9. DOI: 10.1016/j.scenv.2023.100001.

199. Towards the circular economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition / J. Butterworth, J. Carey, J. Campbell, J. J. Edge, J. Elms, S. Heckman. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2013. 96 p. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>

200. Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition / J. Butterworth, J. Carey, J. Campbell, J. J. Edge, J. Elms et al. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2013. 96 p.

201. Treatment of waste by waste category, hazardousness and waste management operations / Eurostat. 2026. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wastrt/default/table?lang=en

202. Umar U. A., Shafiq N., Ahmad F. A. A case study on the effective implementation of the reuse and recycling of construction & demolition waste management practices in Malaysia. *Ain Shams Engineering Journal*. 2021. Vol. 12, № 1. P. 283–291. DOI: 10.1016/j.asej.2020.07.005.

203. Using the properties of soil to speed up the start-up process, enhance process stability, and improve the methane content and yield of solid-state anaerobic digestion of alkaline-pretreated poplar processing residues / Y. Yao, Y. Luo, T. Li, Y. Yang, H. Sheng, N. Virgo, Y. Xiang, Y. Song, H. Zhang, S. Chen, L. An. *Biotechnology for Biofuels*. 2015. Vol. 8, № 1. Art. 4. P. 1–9. DOI: 10.1186/s13068-014-0160-4.

204. Van der Gaast W., Begg K. Challenges and Solutions for Climate Change. London: Springer, 2012. 162 p. (Green Energy and Technology). DOI: [10.1007/978-1-84996-399-2](https://doi.org/10.1007/978-1-84996-399-2).

205. Vayona A., Demetriou G. Towards an operating model for attribution in circular economy. *Proc. Proceedings of the 16th Annual International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS)*. 2020. P. 490–495. DOI: [10.1109/DCOSS49796.2020.00082](https://doi.org/10.1109/DCOSS49796.2020.00082).

206. Von Bertalanffy L. General System Theory – A Critical Review. *General Systems*. 1922. Vol. VII. P. 1–20.

207. Von Bertalanffy L. An Outline of General System Theory. *The British Journal for the Philosophy of Science*. 1950. Vol. 1, № 2. P. 114–129.

208. Voumik L. C., Sultana T. Impact of Urbanization, Industrialization, Electrification and Renewable Energy on the Environment in BRICS: Fresh Evidence from Novel CS-ARDL Model. *Heliyon*. 2022. Vol. 8, iss. 11. Art. e11457. P. 1–9. DOI: [10.1016/j.heliyon.2022.e11457](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11457).

209. Wang K. Advances in E-Waste Recycling: Physical and Chemical Treatment Methods. *Highlights in Science, Engineering and Technology*. 2023. Vol. 73. P. 378–383. DOI: 10.54097/hset.v73i.13106.

210. Wang R., Xu Z. Recycling of Non-Metallic Fractions from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE): A Review. *Waste Management*. 2014. Vol. 34, № 8. P. 1455–1469. DOI: [10.1016/j.wasman.2014.03.004](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.03.004).

211. Waste Management and the Circular Economy in Selected OECD Countries: Evidence from Environmental Performance Reviews / OECD. Paris: OECD Publishing, 2019. 144 p. (OECD Environmental Performance Reviews). DOI: [10.1787/9789264309395-en](https://doi.org/10.1787/9789264309395-en).

212. Waste management country profile with a focus on municipal and packaging waste: Lithuania / European Environment Agency (EEA). Copenhagen: EEA, 2025. 11 p. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/waste-and-recycling/municipal-and-packaging-waste-management-country-profiles-2025/lt-municipal-waste-factsheet.pdf/@@download/file>

213. Waste Management Law (2010) [Закон Латвійської Республіки про управління відходами від 2010 року зі змінами станом на 16 березня 2023 року] / Latvia, UNEP Law and Environment Assistance Platform. 2023. URL: <https://leap.unep.org/en/countries/lv/national-legislation/waste-management-law-2010>

214. Waste Prevention for Sustainable Resource and Waste Management / S.-I. Sakai, J. Yano, Y. Hirai, M. Asari, R. Yanagawa, T. Matsuda, H. Yoshida, T. Yamada, N. Kajiwara, G. Suzuki, T. Kunisue, S. Takahashi, K. Tomoda, J. Wuttke, P. Mährlitz, V. S. Rotter,

M. Grosso, T. F. Astrup, J. Cleary, G.-J. Oh, L. Liu, J. Li, H.-W. Ma, N. K. Chi, S. Moore. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 2017. Vol. 19, № 4. P. 1295–1313. DOI: 10.1007/s10163-017-0586-4.

215. Waste / Republic of Slovenia, GOV.SI. Ljubljana: Ministry of the Environment and Spatial Planning, 2026. URL: <https://www.gov.si/en/policies/environment-and-spatial-planning/environment/waste/>

216. Water free anaerobic co-digestion of vegetable processing waste with cattle slurry for methane production at high total solid content / Y. Yao, Y. Luo, Y. Yang, H. Sheng, X. Li, T. Li, Y. Song, H. Zhang, S. Chen, L. An. *Energy*. 2014. Vol. 74. P. 309–313. DOI: 10.1016/j.energy.2014.06.014.

217. Wet milieubeheer [Закон Нідерландів про екологічний менеджмент від 13 червня 1979 року зі змінами станом на 1 серпня 2026 року] / Overheid.nl, Wettenbank. 2026. URL: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0003245/2026-08-01>

218. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 / S. Kaza, L. C. Yao, P. Bhada-Tata, F. van Woerden, D. Levine. Washington, DC: World Bank, 2018. 295 p. (Urban Development Series). URL: <https://hdl.handle.net/10986/30317>

219. What a Waste 3.0: Global Snapshot of Solid Waste Management Toward Circularity until 2050 / E. Cook, K. Ionkova, P. Bhada-Tata, S. Yadav, F. van Woerden. Washington, DC: World Bank, 2026. 310 p. (Urban Development Series).

220. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision / United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA). New York: UNDESA Population Division, 2018. URL: <https://population.un.org/wup/assets/WUP2018-Report.pdf>

221. Yao Y., Chen S. A novel and simple approach to the good process performance of methane recovery from lignocellulosic biomass alone. *Biotechnology for Biofuels*. 2016. Vol. 9, № 1. Art. 121. P. 1–9. DOI: [10.1186/s13068-016-0530-1](https://doi.org/10.1186/s13068-016-0530-1). URL: <https://biochem-dos.kr/data/92d3faa5-3938-4818-a3d0-78bf41fe6f66?pdf>

222. Yao Y., Chen S., Kafle G. K. Importance of «weak-base» poplar wastes to process performance and methane yield in solid-state anaerobic digestion. *Journal of Environmental Management*. Vol. 193. P. 423–429. DOI: [10.1016/j.jenvman.2017.02.025](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.025).

223. Zákon o odpadech č. 541/2020 Sb. [Закон Чеської Республіки про відходи від 1 грудня 2020 року зі змінами станом на 1 липня 2025 року] / Parlament České republiky. *Zákony pro lidi*. 2025. URL: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541>

224. Zákon o odpodech č. 541/2020 Sb. [Закон Чеської Республіки про відходи № 541/2020]. *e-Sbirka*. 2020. URL: <https://e-sbirka.gov.cz/sb/2020/541?utm>

225. Zvarych I., Drapak T. Optimisation of Value Chains in the Circular Economy: Global Trends and Regional Features. *Economics of Systems Development*. 2025. Vol. 7, iss. 1. P. 169–173. DOI: [10.32782/2707-8019/2025-1-21](https://doi.org/10.32782/2707-8019/2025-1-21).

ДОДАТКИ

Додаток А


ДОНЕЦЬКА ТОРГОВО-ПРОМИСЛОВА ПАЛАТА
DONETSK CHAMBER OF COMMERCE AND INDUSTRY

 вул. Ярослава Мудрого, 43 А, м. Краматорськ,
 Донецька обл., 84301
 тел. +380 62 642-05-40, +380 50 477-10-10
 E-Mail: office@donetskcci.com

 43 А, Jaroslav Mudry str., Kramatorsk,
 Donetsk reg., 84301
 tel. +380 62 642-05-40, +380 50 477-10-10
 URL: http://donetskcci.com

 Розрахунковий рахунок IBAN UA 03 3003460000026003023715001 у АТ "СЕНС БАНК", код ЄДРПОУ 02944679, ІПН 029446705092
 Settlement account IBAN UA 03 3003460000026003023715001 in JSC "SENSE BANK", EGRPOU code 02944679, TIN 029446705092

24.04.2026 р. № 54 /1/ 01-04-01

ДОВІДКА

**про впровадження результатів
дисертаційної роботи Ульяненка Дмитра Валерійовича
на тему «Рециклінг у процесі трансформації промисловості до моделі
«зеленого» ланцюга доданої вартості»**

Результати дослідження, які отримані в дисертаційній роботі Ульяненка Дмитра Валерійовича, були використані у практичній діяльності Донецької торгово-промислової палати. Зокрема, в рамках консультативної діяльності зі сприяння адаптації бізнесу Донецької області до вимог Європейського Союзу, підвищення його конкурентоспроможності на європейському ринку та захисту інтересів підприємців були враховані висновки автора щодо механізму стимулювання ефективного управління відходами, який включає економічні важелі (податки на захоронення та спалювання відходів, плата за утворення та вивезення ТПВ, принцип «забруднювач платить», принцип «користувач платить», субсидії та податкові пільги, зелені тарифи, депозитно-поворотні системи, схеми розширеної відповідальності виробника, податки на ресурси та первинну сировину, систему торгівлі квотами на викиди парникових газів, зелені державні закупівлі, фінансування екологічних фондів), організаційні важелі (національні та регіональні плани управління відходами, координація між рівнями влади, інформаційні системи моніторингу, роздільний збір та логістика відходів, міжмуніципальна співпраця, публічно-приватне партнерство, екологічна освіта та інформаційні кампанії, підготовка кадрів та нарощування потенціалу, координація інспекцій та контролю, інтеграція принципів циркулярної економіки) та адміністративні важелі (законодавче регулювання, ліцензування та дозвільна система, екологічні стандарти та нормативи, обов'язкові цільові показники переробки, моніторинг і звітність, інспекції та перевірки, санкції та штрафи, контроль перевезення небезпечних відходів, ризик-орієнтований нагляд, сертифікація «зелених» продуктів, державний екологічний контроль, міжнародна координація та імплементація директив).

Президент



Максим АНУФРІЄВ

**ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«УКРАЇНСЬКИЙ ЦЕНТР ЕКОЛОГІЇ ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ»**

02157мКиїв, б. Ярослава Гашека, будинок 24, ЄДРПОУ 33423116

Вих. № 0405-26 від 7 травня 2026 р.

ДОВІДКА

**про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Ульяненко Дмитра Валерійовича
«Рециклінг у процесі трансформації промисловості до моделі «зеленого»
ланцюга доданої вартості», поданого на здобуття ступеня доктора філософії
зі спеціальності 051 Економіка**

Актуальність дослідження на тему «Рециклінг у процесі трансформації промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості» Ульяненко Дмитра Валерійовича для ТОВ «Український центр екології та теплоенергетики» визначається необхідністю підвищення ефективності управління промисловими відходами та їх перетворення з екологічного навантаження на ресурс створення доданої вартості. У зв'язку з цим особливого значення набуває визначення системи екологічних, економічних технологічних, соціальних та інституційних детермінант, які визначають можливості, масштаби та ефективність рециклінгу як складової формування «зелених» ланцюгів вартості.

Даною довідкою підтверджуємо, що розроблена автором дисертаційної роботи вище зазначена система детермінант слугувала підґрунтям для обґрунтування управлінських рішень ТОВ «Український центр екології та теплоенергетики» у напрямі ресурсоефективності та переходу до моделі циркулярної економіки.

Директор



І.Г. Галак

УКРМЕГАПРОМ**Товариство з обмеженою відповідальністю**

84401, Донецька область, м. Лиман, ул. Комунальна, буд. 7, тел. (067) 568-18-96, e-mail: ukrmegapr@gmail.com
 ЄДРПОУ 33560060, ІПН 335600605170, р/р UA133348510000026002962482866 відд. № 9 «ПУМБ» в м. Київ, МФО 334851
 р/р UA213052990000026006046801152 в Столичній філії АТ КБ «Приватбанк» в м. Київ, МФО 305299

Вих. № 06/04-1 від 06.04.2026р

До спеціалізованої вченої ради

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи
 Ульяненка Дмитра Валерійовича
 на тему «Рециклінг у процесі трансформації промисловості до моделі
 «зеленого» ланцюга доданої вартості»,
 поданої на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності
 051 Економіка

Адаптація вітчизняних підприємств до Європейського зеленого курсу зумовлює потребу в системній трансформації промислових ланцюгів створення вартості на засадах циркулярності, низьковуглецевого розвитку та екологічної відповідальності. Особливо важливим цей напрям трансформації став для українського бізнесу на тлі ресурсних обмежень, руйнувань існуючої старопромислової інфраструктури внаслідок війни, та, відповідно, необхідності повоєнного відновлення промисловості на основі принципово нових технологічних рішень.

Даною довідкою підтверджуємо, що розроблені автором дисертаційної роботи «Рециклінг у процесі трансформації промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості», Ульяненком Дмитром Валерійовичем, науково-методичні підходи до оцінки ефективності впровадження технологій рециклінгу для підприємств, що базуються на комплексному поєднанні екологічних та економічних критеріїв оцінювання в межах концепції циркулярної економіки та «зелених» ланцюгів доданої вартості, було впроваджено у практичній діяльності ТОВ «УКРМЕГАПРОМ». Запропонований підхід дав можливість оцінити ефективність технологій рециклінгу через моделювання інтегрального еколого-економічного ефекту, що включає як фінансові результати діяльності підприємства, так і екологічні вигоди від декарбонізації та ресурсозбереження на протязі всього ланцюгу створення вартості.

В.о. директора



Наталія ГАЙДЕНКО



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«УНІВЕРСАЛ»

02090 м.Київ, вул.Вільнюська, буд.33
ЄДРПОУ 42130013 ІПН 421300126519
р/р UA343052990000026007046800884 ПАТ КБ «ПриватБанк», МФО 305299
тел. +38(067)568-18-96

Вих. № 25/03 від 25.03 2026 р.

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження

Ульяненко Дмитра Валерійовича

«Рециклінг у процесі трансформації промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості», поданого на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 051 Економіка

Актуальність дослідження на тему «Рециклінг у процесі трансформації промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості» Ульяненко Дмитра Валерійовича для ТОВ «Український центр екології та теплоенергетики» визначається необхідністю підвищення ефективності управління промисловими відходами та їх перетворення з екологічного навантаження на ресурс створення доданої вартості. У зв'язку з цим особливого значення набуває визначення системи екологічних, економічних технологічних, соціальних та інституційних детермінант, які визначають можливості, масштаби та ефективність рециклінгу як складової формування «зелених» ланцюгів вартості.

Даною довідкою підтверджуємо, що розроблена автором дисертаційної роботи вище зазначена система детермінант слугувала підґрунтям для обґрунтування управлінських рішень ТОВ «Український центр екології та теплоенергетики» у напрямі ресурсоефективності та переходу до моделі циркулярної економіки.

Директор



Д.С.Марухленко

Список опублікованих праць за темою дисертації

Статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України:

1. Ульяненко Д. В., Савченко М. В. Циркулярна стійкість підприємства як індикатор оцінки ефективності технологій рециклінгу. *Актуальні проблеми економіки*. 2024. № 4(274). С. 22–37. DOI: 10.32752/1993-6788-2024-1-274-22-37 (1,14 д. а. / 0,57 д. а.). *Особистий внесок автора: автором здійснено систематизацію наукових підходів до визначення понять «циркулярна економіка підприємства» та «циркулярність підприємства», обґрунтовано їх відмінність від запропонованої категорії «циркулярна стійкість підприємств» та розвинуто теоретичне підґрунтя її формування.*

2. Ульяненко Д. В. Концепція «зелених» ланцюгів доданої вартості у контексті реалізації принципів сталого розвитку. *Економіка і організація управління*. 2023. № 1(49). С. 181–189. DOI: [10.31558/2307-2318.2023.1.18](https://doi.org/10.31558/2307-2318.2023.1.18) (0,6 д. а.).

3. Миценко В. І., Ульяненко Д. В. Концепія глобальних ланцюгів доданої вартості у фреймах сталого розвитку. *Економіка і організація управління*. 2024. № 3(55). С. 80–93. DOI: [10.31558/2307-2318.2024.3.9](https://doi.org/10.31558/2307-2318.2024.3.9) (1,12 д. а. / 0,57 д. а.). *Особистий внесок автора: удосконалено концептуальні основи формування зеленого ланцюга вартості, які ґрунтуються на інтеграції екологічних компонентів у всі етапи створення вартості.*

4. Ульяненко Д. В. Розвиток технологій рециклінгу в рамках трансформації промисловості до моделі циркулярної економіки. *Економіка і організація управління*. 2025. № 4(60). С. 243–258. DOI: 10.31558/2307-2318.2025.4.23 (1 д. а.).

5. Ульяненко Д. В. Динаміка формування моделі управління відходами в Україні. *Економічний простір*. 2026. № 215. С. 449–454. DOI: [10.30838/EP.215.449-454](https://doi.org/10.30838/EP.215.449-454) (0,86 д. а.).

Публікації за матеріалами конференцій:

6. Ульяненко Д. В. Напрями трансформації промисловості до моделі «зеленого» ланцюга доданої вартості. *Проблеми розвитку соціально-економічних систем в*

національній та глобальній економіці: праці XXIII Всеукраїнської наукової конференції студентів та молодих вчених (м. Вінниця, 21 квітня 2023 р.) / ред. кол. Т. В. Орехова та ін. Вінниця: ДонНУ імені Василя Стуса, 2023. Т. 1. С. 125–128 (0,25 д. а.).

7. Миценко В. І., Ульяненко Д. В. Концепція 3R у «зелених» патернах ланцюгів створення вартості. *Проблеми розвитку соціально-економічних систем в національній та глобальній економіці: праці XXV Всеукраїнської наукової конференції студентів та молодих вчених (м. Вінниця, 2 квітня 2025 р.)* / ред. кол. Т. В. Орехова та ін. Вінниця: ДонНУ імені Василя Стуса, 2025. Т. 2. С. 44–48 (0,3 д. а. / 0,15 д. а.). *Особистий внесок автора: обґрунтовано роль принципів 3R (скорочення, повторне використання та рециклінг) у формуванні «зелених» патернів ланцюгів створення вартості, сформульовано пропозиції щодо трансформації ланцюгів створення вартості на засадах ресурсоефективності та мінімізації відходів.*

8. Ульяненко Д. В. Рециклінг як одна з основних складових трансформації промисловості до моделі циркулярної економіки. *Управління розвитком соціально-економічних систем: глобалізація, підприємництво, стале економічне зростання: праці XXV Міжнародної наукової конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (м. Вінниця, 27 листопада 2025 р.)* / ред. кол. Т. В. Орехова та ін. Вінниця: ДонНУ імені Василя Стуса, 2025. Т. 1. С. 176–178 (0,2 д. а.).

Таблиця В1 – Утворення відходів від економічної діяльності та в домогосподарствах*

Показник	2010	2015	2020	2024
<i>Усього</i>	425 914,2	312 267,6	462 373,5	238 338,6
Вид економічної діяльності	419 191,8	306 214,3	456 423,8	н/д
Сільське, лісове та рибне господарство	8 568,2	8 736,8	5 315,4	3 442,1
Добувна промисловість і розроблення кар'єрів	347 688,1	257 861,9	391 077,9	217 785,2
добування кам'яного та бурого вугілля	37 071,3	12 084,7	14 576,7	10 796,0
добування металевих руд	267 544,9	238 156,6	366 901,0	206 516,3
добування інших корисних копалин та розроблення кар'єрів	16 819,0	1 921,6	9 299,7	413,4
Переробна промисловість	50 011,7	31 000,5	52 311,0	7 764,9
виробництво харчових продуктів	7 245,4	4 222,2	4 158,7	2 082,7
виробництво напоїв	1 522,2	939,2	325,8	360,7
виробництво хімічних речовин і хімічної продукції	2 679,0	703,3	1 482,2	613,2
виробництво основних фармацевтичних продуктів і фармацевтичних препаратів	615,4	10,8	14,7	12,0
металургійне виробництво	32 844,2	20 725,6	43 650,0	3 388,5
Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря	8 641,0	6 597,5	5 333,7	2 607,1
Водопостачання; каналізація, поводження з відходами	1 698,7	594,2	338,3	562,8
збирання, оброблення й видалення відходів; відновлення матеріалів	842,8	180,0	10,4	113,1
Будівництво	329,4	376,2	14,5	654,6
Інші види економічної діяльності	2 254,7	1 047,2	2 033,0	1 280,8
Від домогосподарств	6 722,4	6 053,3	5 949,7	н/д

Джерело: побудовано за даними [22] та Державної служби статистики України

*За 2014–2021 рр. дані наведено без урахування тимчасово окупованої території АР Крим, м. Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях; починаючи з 2022 р. – без урахування тимчасово окупованих РФ територій та частини територій, на яких ведуться (велися) бойові дії. Дані за 2024 р. можуть бути уточнені.

Таблиця В2 – Поводження з відходами за операціями утилізації

Показник, тис. т	Код операції утилізації	2010	2015	2020	2024
Усього утилізовано / відновлено відходів	X	145 710,7	92 463,7	100 524,6	29 514,8
Утилізація / регенерація розчинників	R2	330,6	65,3	111,2	н/д
Рециркуляція / утилізація органічних речовин, що не застосовуються як розчинники	R3	2 773,2	443,2	320,0	н/д
Компостування органічних відходів	R3 A	147,4	651,1	549,8	н/д
Ферментація органічних відходів	R3 B	295,8	86,7	63,5	н/д
Переробка паперу та картону	R3 C	...	24,0	0,3	н/д
Рециркуляція / утилізація металів та їх сполук	R4	9 564,4	6 515,8	5 356,2	н/д
Рециркуляція / утилізація інших неорганічних матеріалів	R5	110 658,2	58 958,1	43 068,9	н/д
Регенерація кислот і основ	R6	33,6	0,4	2,1	н/д
Рекуперація компонентів, що використовуються для зменшення забруднення	R7	6 125,2	13 718,7	36 553,7	н/д
Рекуперація компонентів каталізаторів	R8	0,0	0,0	0,0	н/д
Повторна перегонка використаних нафтопродуктів чи інше їх повторне використання	R9	99,3	29,0	13,5	н/д
Обробка ґрунту, що справляє позитивний вплив на землеробство чи поліпшує екологічну обстановку	R10	9 244,5	10 763,3	13 501,3	н/д
Використання відходів, отриманих від будь-якої з вищеперелічених операцій	R11	6 438,5	1 208,1	984,1	н/д
Усього підготовлено до утилізації	X	...	1 940,5	2 641,3	н/д
Обмін відходами для здійснення подальшої утилізації чи видалення	R12	...	34,9	2 578,4	н/д
Сортування відходів	R12 A	...	163,1	32,3	н/д
Механіко-біологічне перероблення відходів на установках МБП	R12 B	...	57,6	15,3	н/д
Розбирання непридатних транспортних засобів	R12 C	...	0,0	0,0	н/д
Збір і попередня обробка металобрухту та відходів, що містять метали	R12 K	...	1 684,9	15,3	н/д

Джерело: побудовано за даними [22]

Характеристика готової продукції ТОВ «УКРМЕГАПРОМ»

Отримана готова продукція повинна відповідати вимогам СОУ 42.1-37641918-104:2013, ДСТУ Б В.2.7-211:2009 «Суміші золошлакові теплових електростанцій для бетонів. Технічні вимоги» та ТУ У 05.1-38948621-033:2025 «Вугілля кам'яне для пиловидного спалювання».

Таблиця Г1 – Номенклатура продукції ТОВ «УКРМЕГАПРОМ»

Найменування продукції	Нормативний документ
Суміш золошлакова фракції 0–1,25 мм	СОУ 42.1-37641918-104:2013 ДСТУ Б В.2.7-211:2009
Суміш золошлакова фракції 1,25–10 мм	
Суміш золошлакова фракції понад 10 мм	

Отримана продукція призначена для використання в якості заповнювача для бетонів та виробництва будівельних матеріалів, влаштування баластового шару автомобільних доріг, реконструкції та ремонтів щебених покриттів автомобільних доріг та інших видів загальнобудівельних робіт і використовуються згідно з умовами договору на постачання, а також для пиловидного спалювання.

1. Характеристика сировини

Сировиною для виробництва золошлакової суміші є відходи теплових електростанцій (донна зола, шлак і котловий пил) – золошлакові відходи та відходи від підготовки палива на вугільних електростанціях.

Золошлакові відходи – тверді продукти згоряння вугілля, що складаються в основному з породоутворюючих компонентів. Мінеральна частина вугільного палива на 85...95 % складається з глинистих мінералів, аргілітів, алевролітів. Інші 5...15 % – сполуки, в основному заліза, кальцію та мікроелементів. Золошлакові відходи є дрібнозернистим матеріалом, третина зерен якого має розміри 1...5 мм.

Хімічний склад (основні компоненти у перерахунку на суху речовину) мінеральних частинок золошлаку становить: $\text{CaO} + \text{MgO}$ до 10 %, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ до 1,4 %, SiO_2 – 38–42 %, Al_2O_3 – 20–25 %.

Сировина для виробництва продукції повинна мати сталу структуру і бути стійкою проти всіх видів розпаду. Структура вважається сталою, якщо втрата маси після випробувань не перевищує 5 % за масою.

Ефективна питома активність природних радіонуклідів повинна відповідати вимогам НРБУ-97/Д-2000 та не повинна перевищувати $A_{\text{ef}} \leq 370$ Бк кг.

2. Технологічна схема виробництва

Технологічна схема виробництва золошлакової суміші для загальнобудівельних робіт, що виготовлена шляхом фракційного розсіву відходів теплових електростанцій, представлена на рис. Г1.



Рисунок Г1 – Технологічна схема виробництва

3. Опис технологічного процесу

Приймання золошлакових відходів та відходів від підготовки палива на вугільних електростанціях проводиться на основі даних попередньої оцінки їх якості в золошлаконакопичувачі і результатів візуального контролю (однорідність сировини та недопущення вмісту сторонніх предметів і інших матеріалів) на місці видалення золошлакових відходів. Відходи автомобільним транспортом транспортуються на накопичувальний склад, який розташовано на виробничому майданчику підприємства.

Формування накопичувального складу здійснюється фронтальними навантажувачами. Подальше оброблення золошлакових відходів та відходів від підготовки палива на вугільних електростанціях на фракції здійснюється на вібраційному грохоті ГІСЛ-62, який завантажується фронтальним навантажувачем (Екскаватор-навантажувач JCB 3CX), після чого продукція фракції більше 1,25 мм фронтальним навантажувачем транспортується на склади готової продукції. Продукція фракції менше 1,25 мм транспортується на склади готової продукції шнековим транспортером.

На площинних джерелах викидів передбачено пилопригнічення.

Після оформлення необхідних супровідних документів готова продукція відвантажується в автомобільний транспорт фронтальним навантажувачем.

Таблиця Г2 – Виробничий контроль технологічного процесу

Найменування	Параметр	Точка контролю	Період	Метод	Засоби виміру
Склад золошлакових відходів та відходів від підготовки палива під час вивантаження транспортних засобів	Наявність сторонніх предметів	Місце вивантаження відходів	Під час вивантаження транспортних засобів	Візуально	
	Розмір шматків	Штабель, склад відходів	Щоденно	Візуально	Рулетка 0–300 мм згідно з ДСТУ 4179-2003
Гуркіт	Розмір осередків сит	Гуркіт, будівельний майданчик	Щоденно	Візуально	Штангенциркуль 0–150 мм згідно з ДСТУ EN ISO 13385-1:2018

Таблиця Г3 – Контроль якості готової продукції

Найменування	Параметр	Точка відбору проб	Період	Засоби виміру
Зерновий склад, насипна густина, вологість	Залишок на ситі по фракціях	Склад готової продукції, виробничий майданчик	Один раз на місяць	Ваги лабораторні за ДСТУ EN 45501:2017. Набір сит КСІ за ДСТУ ISO 3310-1:2017. Сушильна шафа лабораторна
Визначення зольності та летких речовин вугілля для пиловидного спалювання	Зольність та вміст летких речовин	Склад готової продукції, виробничий майданчик	На вимогу споживача продукції	За договором зі спеціалізованою випробувальною лабораторією
Дослідження хімічного складу та рівномірність зміни об'єму золошлакової суміші	За договором зі спеціалізованою випробувальною лабораторією	Склад, виробничий майданчик	Один раз на рік	За договором з спеціалізованою випробувальною лабораторією
Стійкість шлакової суміші проти силікатного і залізного розпадів	За договором зі спеціалізованою випробувальною лабораторією	Склад, виробничий майданчик	Один раз на рік	За договором зі спеціалізованою випробувальною лабораторією
Морозостійкість	За договором зі спеціалізованою випробувальною лабораторією	Склад, виробничий майданчик	Один раз в рік	За договором зі спеціалізованою випробувальною лабораторією
Сумарна питома ефективність радіонуклідів	За договором зі спеціалізованою випробувальною лабораторією	Склад, виробничий майданчик	Один раз в рік	За договором зі спеціалізованою випробувальною лабораторією

4. Правила приймання

Приймання золошлакових відходів та відходів від підготовки палива на вугільних електростанціях проводиться на основі даних попередньої оцінки її якості відходів у золовідвалі і результатів приймального контролю.

Оцінка якості золошлакових відходів та відходів від підготовки палива на вугільних електростанціях проводиться та надається утворювачем відходів.

Приймання золошлакових відходів та відходів від підготовки палива на вугільних електростанціях здійснюється відповідно до актів прийому-передачі.

5. Передача та транспортування продукції

До кожної партії продукції додається паспорт якості.

При транспортуванні золошлакової суміші та вугілля кам'яного у відкритому транспорті здійснюється обов'язкове ущільнення кузовів та використання тентів.

6. Нормативні посилання

У цьому технологічному регламенті використані посилання на такі нормативні документи:

1. Закон України «Про управління відходами».
2. Закон України «Про стандартизацію».
3. Закон України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності».
4. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) «Системи управління якістю.

Вимоги».

5. ДСТУ ISO 14001:2015 (ISO 14001:2015, IDT) «Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування».

6. СОУ 42.1-37641918-104:2013 «Золи виносу та суміші золошлакові теплових електростанцій для дорожніх робіт».

7. ДСТУ Б В.2.7-211:2009 «Суміші золошлакові теплових електростанцій для бетонів. Технічні вимоги».

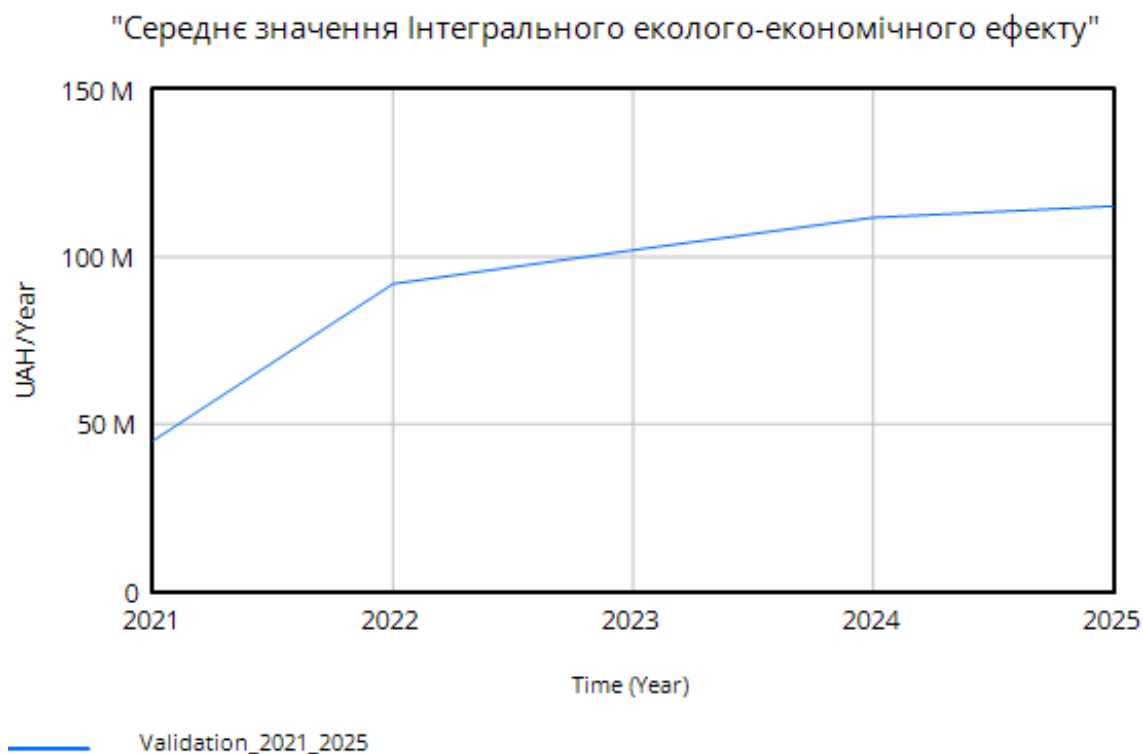


Рисунок Д1 – Динаміка інтегрального еколого-економічного ефекту рециклінгової діяльності підприємства у 2021–2025 рр. (валідація моделі, скриншот з екрану ППП Vinsim)

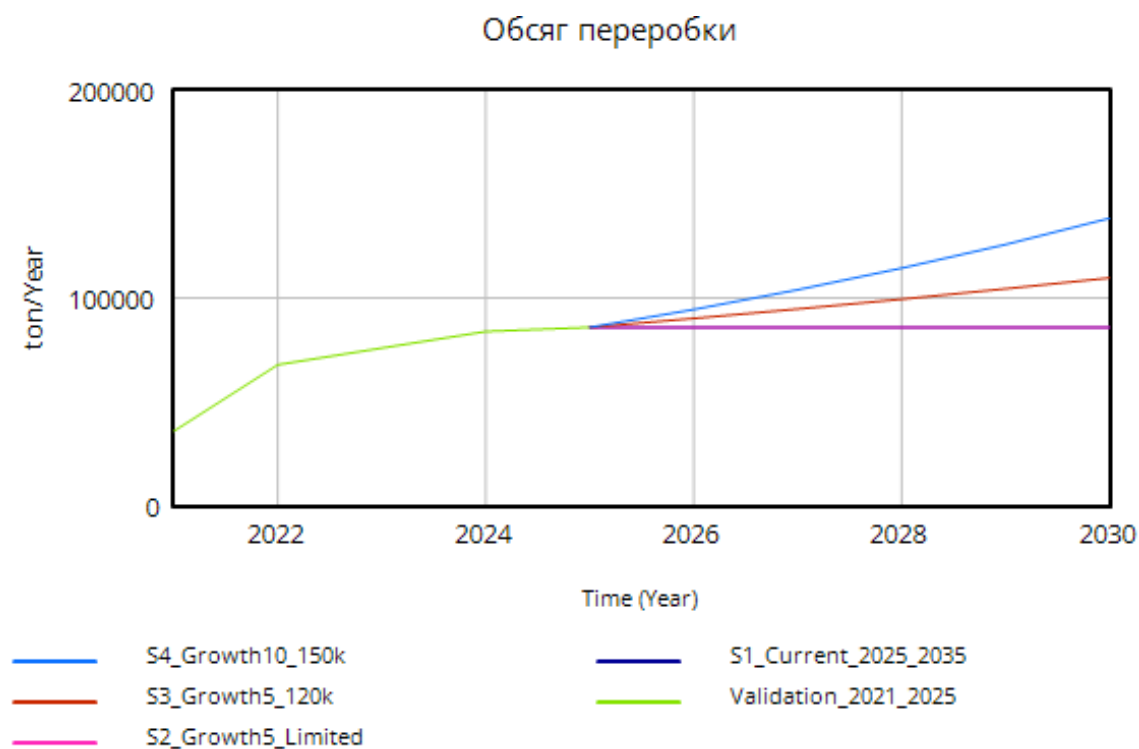


Рисунок Д2 – Динаміка обсягу переробки золошлакових відходів за сценаріями розвитку у 2025–2030 рр. (скриншот з екрану ППП Vinsim)

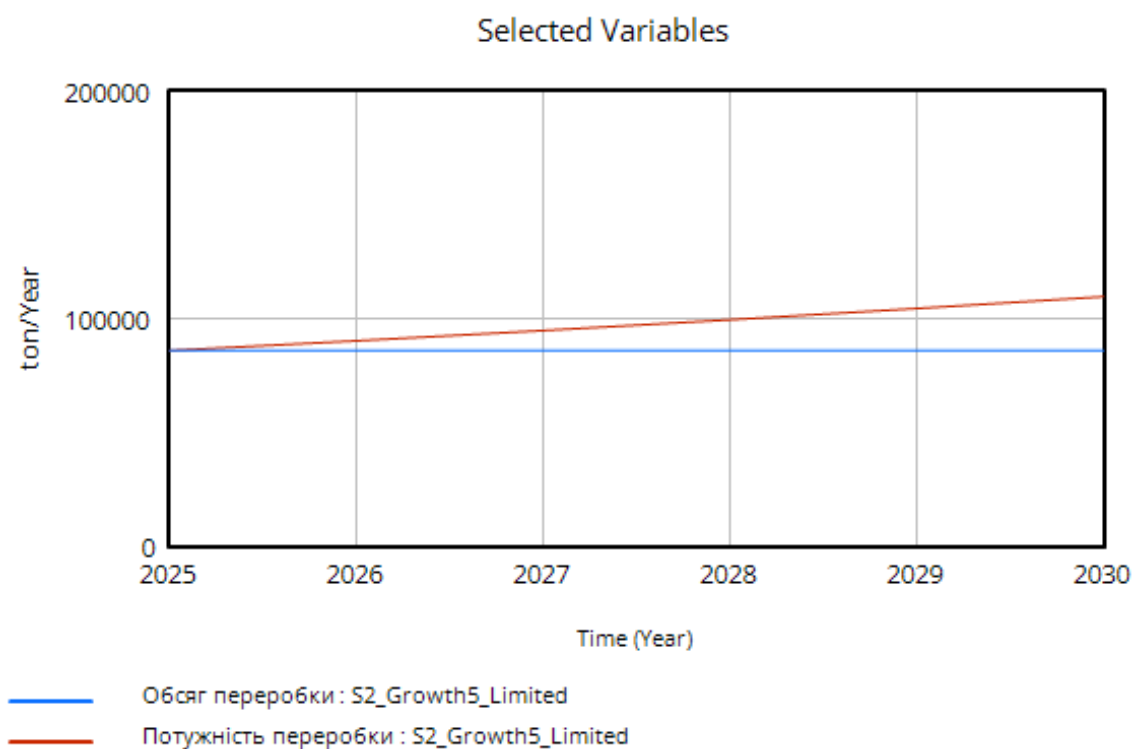


Рисунок Д3 – Динаміка потужності та фактичного обсягу переробки за ресурсного обмеження у сценарії S2 у 2025–2030 рр.
(скріншот з екрану ППП Vinsim)

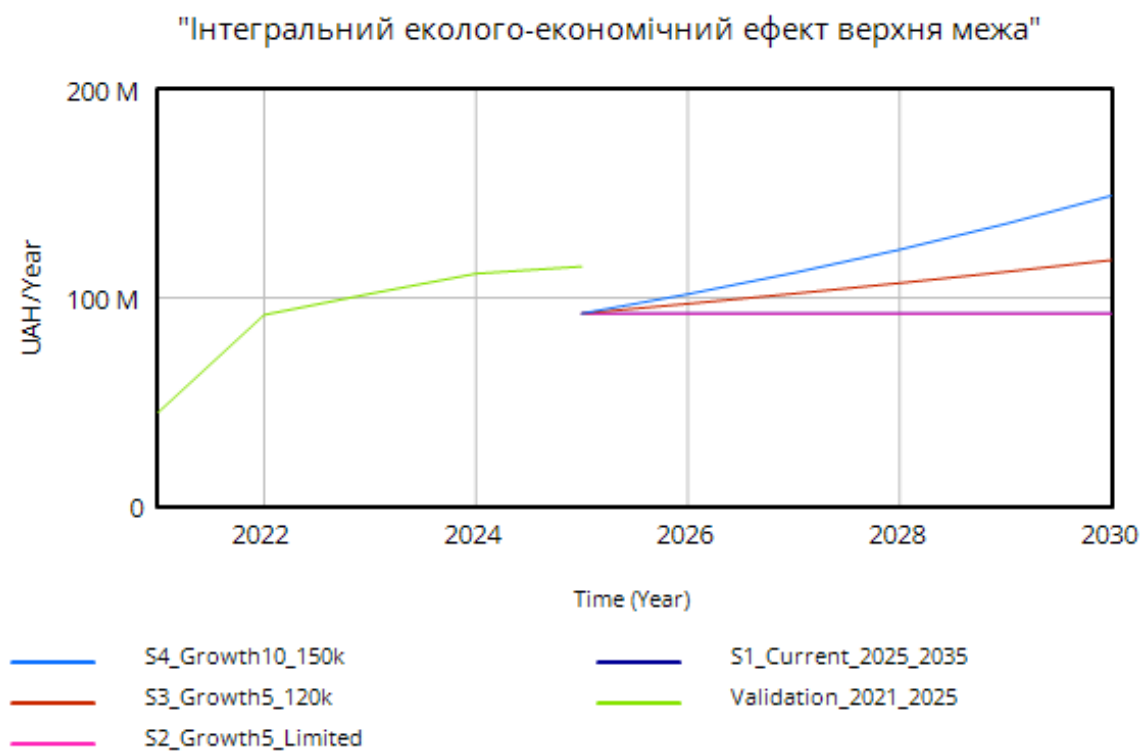


Рисунок Д4 – Динаміка інтегрального еколого-економічного ефекту за сценаріями розвитку рециклінгової діяльності у 2025–2030 рр.
(верхня межа оцінювання) (скріншот з екрану ППП Vinsim)

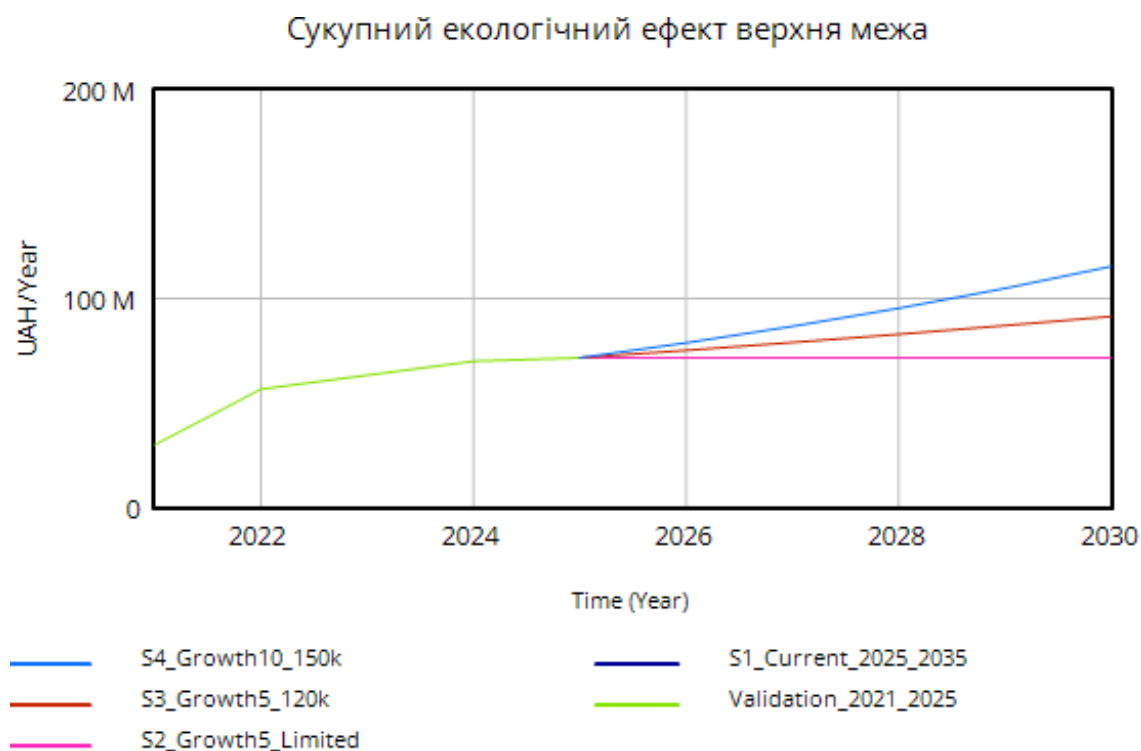


Рисунок Д5 – Динаміка сукупного монетизованого екологічного ефекту за сценаріями розвитку рециклінгу у 2025–2030 рр. (верхня межа) (скріншот з екрану ППП Vinsim)

Таблиця Е1 – Вихідні статистичні показники циркулярності управління відходами в країнах ЄС-27 у 2022 році

Країна	Код Eurostat	Рік	Утворення всіх відходів, т	Утворення всіх відходів, кг/особу	Утворення відходів на од. ВВП, кг/1 000 євро	Рециклінг, т	Частка рециклінгу, %	Заг. обсяг оброблених відходів, т	Енергетичне відновлення, т	Частка енергетичного відновлення, %	Захоронення (D1, D5, D12), т	Частка захоронення, %	Захоронення на одну особу, кг
Австрія	AT	2022	73 050 026	8 079	50	37 921 327	54,4 %	69 737 390			28 189 887	40,4 %	3 118
Бельгія	BE	2022	61 617 737	5 275	77	39 155 830	81,3 %	48 181 234	5 121 137	10,6 %	3 562 465	7,4 %	305
Болгарія	BG	2022	97 001 214	15 004	492	4 830 648	6,2 %	77 498 996	576 357	0,7 %	42 653 389	55,0 %	6 598
Хорватія	HR	2022	7 088 892	1 838	86	3 265 923	64,4 %	5 067 660	130 899	2,6 %	1 667 741	32,9 %	432
Кіпр	CY	2022	3 006 350	3 200	70	1 638 589	70,4 %	2 325 954	214 568	9,2 %	472 797	20,3 %	503
Чехія	CZ	2022	39 191 940	3 672	81	28 146 819	82,6 %	34 091 539	1 326 566	3,9 %	4 540 597	13,3 %	425
Данія	DK	2022	23 828 448	4 037	32	16 868 192	77,8 %	21 688 312	3 351 349	15,5 %	1 463 762	6,7 %	248
Естонія	EE	2022	22 384 736	16 596	453	13 136 183	62,8 %	20 911 204	338 923	1,6 %	7 436 083	35,6 %	5 513
Фінляндія	FI	2022	110 833 871	19 948	49	15 765 471	14,7 %	107 072 699	4 654 956	4,3 %	63 075 278	58,9 %	11 352
Франція	FR	2022	343 210 526	5 034	422	10 849 746	71,4 %	295 111 161	21 431 991	7,3 %	59 032 038	20,0 %	866
Німеччина	DE	2022	385 794 886	4 638	482	57 541 149	69,9 %	368 440 922	43 804 860	11,9 %	65 224 505	17,7 %	784
Греція	EL	2022	29 517 617	2 828	68	10 985 014	45,7 %	24 036 741	711 759	3,0 %	11 699 471	48,7 %	1 121
Угорщина	HU	2022	27 374 500	2 850	110	12 429 818	58,2 %	21 373 505	1 141 405	5,3 %	7 705 250	36,1 %	802
Ірландія	IE	2022	15 348 488	2 944	20	8 439 816	62,5 %	13 504 814	1 251 557	9,3 %	2 584 986	19,1 %	496
Італія	IT	2022	189 553 511	3 212	66	137 444 851	85,9 %	160 050 353	7 928 570	5,0 %	14 005 592	8,8 %	237
Латвія	LV	2022	2 500 249	1 330	85	1 255 686	69,0 %	1 819 648	205 986	11,3 %	357 819	19,7 %	190
Литва	LT	2022	5 672 140	2 003	96	1 918 927	55,8 %	3 439 168	674 230	19,6 %	835 845	24,3 %	295
Люксембург	LU	2022	9 906 937	15 169	31	6 532 236	64,8 %	10 073 869	299 053	3,0 %	3 242 556	32,2 %	4 965
Мальта	MT	2022	2 659 780	5 008	44	2 104 842	87,5 %	2 405 876	н/д	0,0 %	286 576	11,9 %	540
Нідерланди	NL	2022	122 504 859	6 921	56	62 997 991	52,1 %	120 838 859	8 939 357	7,4 %	3 116 522	2,6 %	176
Польща	PL	2022	174 949 054	4 751	139	99 594 209	71,6 %	139 041 865	3 837 859	2,8 %	35 292 994	25,4 %	958
Португалія	PT	2022	19 709 488	1 883	73	8 904 664	62,8 %	14 171 901	1 318 684	9,3 %	3 910 881	27,6 %	374
Румунія	RO	2022	160 204 924	8 410	110	7 546 196	4,9 %	154 528 480	1 862 500	1,2 %	139 320 717	90,2 %	7 314
Словаччина	SK	2022	13 351 715	2 458	94	7 052 833	68,8 %	10 250 589	234 631	2,3 %	2 905 620	28,3 %	535
Словенія	SI	2022	11 401 992	5 398	57	10 868 337	95,5 %	11 385 557	133 613	1,2 %	346 828	3,0 %	164
Іспанія	ES	2022	110 104 184	2 304	58	55 435 267	62,0 %	89 457 416	2 916 890	3,3 %	30 993 835	34,6 %	649
Швеція	SE	2022	163 881 439	15 627	48	36 837 078	23,6 %	156 118 978	9 204 851	5,9 %	н/д	н/д	н/д

Таблиця Е2 – Результати розрахунку складників ІПЦМУВ та Індексу переходу до циркулярної моделі управління відходами для країн ЄС-27

Країна	ІЗУВ	ІР	ІЕВР	ІСЗ	ІПЦМУВ	Ранг
Німеччина	0,882	0,859	0,606	0,886	0,846	1
Франція	0,877	0,767	0,370	0,869	0,781	2
Італія	0,901	0,663	0,253	0,961	0,756	3
Данія	0,915	0,429	0,788	0,972	0,722	4
Бельгія	0,834	0,485	0,542	0,966	0,698	5
Словенія	0,852	0,513	0,060	0,997	0,673	6
Нідерланди	0,812	0,423	0,377	0,999	0,660	7
Чехія	0,872	0,473	0,198	0,927	0,659	8
Латвія	0,931	0,354	0,577	0,901	0,657	9
Литва	0,901	0,283	1,000	0,870	0,656	10
Ірландія	0,957	0,334	0,473	0,891	0,643	11
Польща	0,782	0,556	0,141	0,834	0,640	12
Кіпр	0,897	0,363	0,471	0,884	0,637	13
Мальта	0,876	0,457	0,000	0,930	0,634	14
Португалія	0,929	0,337	0,475	0,848	0,626	15
Іспанія	0,934	0,435	0,166	0,795	0,623	16
Словаччина	0,891	0,364	0,117	0,836	0,589	17
Хорватія	0,916	0,333	0,132	0,815	0,579	18
Угорщина	0,864	0,321	0,272	0,780	0,567	19
Греція	0,909	0,256	0,151	0,694	0,518	20
Люксембург	0,617	0,342	0,151	0,616	0,460	21
Естонія	0,131	0,346	0,083	0,573	0,323	22
Румунія	0,715	0,208	0,061	0,180	0,313	23
Фінляндія	0,469	0,198	0,222	0,178	0,263	24
Болгарія	0,133	0,111	0,038	0,413	0,185	25

Додаток Ж

Таблиця Ж1 – Результати порівняльного аналізу інституційних рамок управління відходами у деяких країнах ЄС

Країна	Законодавча основа	Провідний орган управління	Рівні управління	Планування управління відходами	Особливості циркулярної економіки / 3R	Особливості інституційної моделі
Німеччина	Закон про циркулярну економіку [94]	Федеральне міністерство довкілля; землі здійснюють значну частину практичного регулювання	Федеральний, земельний, муніципальний	Федеральна стратегічна політика; плани земель щодо відходів	Запобігання – Повторне використання – Recycling – Recovery – Принципи «відходи як ресурс»	Федеративна, децентралізована модель із сильними повноваженнями земель
Франція	Закон AGEC (2020) про боротьбу з відходами та циркулярну економіку [61; 123]	Міністерство екологічного переходу	Національний, регіональний, муніципальний / міжмуніципальний	Національний план запобігання відходам, регіональні плани запобігання та управління відходами	EPR, екодизайн, повторне використання, ремонт, reuse, recycling	Поєднання централізованого нормативного регулювання з регіональною реалізацією
Нідерланди	Закон про управління навколишнім середовищем [56]	Міністерство довкілля	Національний, провінційний, місцевий	Інтеграція політики відходів і матеріалів	Програма «Waste to Resources», ресурсоефективність, Reuse, Recycling, перехід до циркулярних матеріалів	Одна з найбільш інтегрованих моделей «відходи – матеріали – ресурси» [195]
Італія	Legislative Decree 152/2006 – Environmental Code [121]	Міністерство довкілля та енергетичної безпеки	Національний, регіональний, провінційний, муніципальний	Національні та регіональні плани, регіони планують інфраструктури	Запобігання, повторне використання, переробка, розширена відповідальність виробника, промислова симбіозність	Регіоналізована багаторівнева модель
Данія	Законодавство про охорону довкілля та відходи, національні стратегії циркулярної економіки [217]	Міністерство довкілля	Національний, муніципальний	Національні стратегічні документи та муніципальні плани	Високий рівень переробки, запобігання, повторного використання, ресурсоефективності	Сильна роль муніципалітетів у практичному управлінні
Бельгія	Регіональне законодавство про відходи та циркулярну економіку, міжрегіональні угоди щодо упаковки [119; 124; 153]	Регіональні органи, Фландрія, Валлонія, Брюссельський столичний округ	Федеральний, регіональний, муніципальний	Три регіональні системи планування	Матеріальні цикли, запобігання, повторне використання, переробка, розширена відповідальність виробника	Федеративно-регіональна модель, відходи переважно належать до компетенції регіонів

*Продовження Додатку Ж
Продовження таблиці Ж1*

Країна	Законодавча основа	Провідний орган управління	Рівні управління	Планування управління відходами	Особливості циркулярної економіки / 3R	Особливості інституційної моделі
Чеська Республіка	Закон № 541/2020 Sb [Про відходи] [223]	Міністерство довкілля	Національний, крайовий, муніципальний	Чеська Республіка	Закон №541/2020 Sb [Про відходи]	Міністерство довкілля
Словенія	Закон про охорону довкілля ZVO-2 [83], підзаконне законодавство про відходи	Міністерство довкілля, клімату та енергетики	Національний, регіональний, міжмуніципальний, муніципальний	Національна програма управління відходами та запобігання їх утворенню		
Латвія	Закон про управління відходами [213]	Міністерство клімату та енергетики	Національний, регіональний, муніципальний	Багаторівнева формалізована система планування, державний план визначає рамку для регіонів та муніципалітетів		
Литва	Закон Литви про управління відходами [118], національні програми запобігання та управління відходами, законодавство про розширену відповідальність виробника	Міністерство довкілля Литовської Республіки	Національний, регіональний, муніципальний	Централізоване нормативне регулювання, децентралізована організація збору та поводження		