

**КАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНИКА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**КАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНИКА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЛЕСЬКІВ ВІКТОРІЯ ВІТАЛІЇВНА

УДК 330.33+004

ДИСЕРТАЦІЯ

**АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ЦИРКУЛЯРНОЇ
ЕКОНОМІКИ В УКРАЇНІ**

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

_____ В.В. Леськів

Науковий керівник: **Буртняк Іван Володимирович**, доктор економічних наук,
професор

Івано-Франківськ – 2026

АНОТАЦІЯ

Леськів В.В. Аналіз та оцінка перспектив розвитку циркулярної економіки в Україні. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 051 Економіка. – Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Міністерство освіти і науки України, Івано-Франківськ, 2026.

У дисертації розроблені теоретико-методичні засади та прикладні рекомендації щодо аналізу та перспектив розвитку циркулярної економіки України з урахуванням міжнародних тенденцій, зовнішніх та внутрішніх загроз та новітніх можливостей цифрових технологій.

Проведено аналіз сутності поняття циркулярна економіка на основі дослідження кількості публікацій в Scopus та пошукових запитів в Google Trends. Встановлено, що циркулярна економіка є широким поняттям, яке залучає вчених з різних дисциплін, а також інших учасників і групи інтересів. Проаналізовані публікації з циркулярної економіки містили різні методи дослідження, зокрема, тематичні дослідження, огляди літератури, опитування (на основі анкет та інтерв'ю), оцінку кількісних даних (варіанти оцінки вторинних даних) і дизайн концепції, а також поєднання методів дослідження. Встановлено, що зацікавленість до даної тематики має експоненційний характер, показуючи значне збільшення згадок про циркулярну економіку, починаючи з 2016 року і в 2025 році перевищила 3500 публікацій. Втім комплексний огляд статей в Scopus показав, що висвітлення циркулярної економіки є фрагментованим і дослідники не регулярно вивчають впровадження циркулярної економіки. Тому наразі немає жодних узагальнених висновків щодо успішного впровадження циркулярної економіки. Більшість науковців визнають, що циркулярна економіка не має одного продукту або одного актора як відправної точки. Швидше це системна концепція, що ґрунтується на принципі збереження ресурсів.

Проведений аналіз статей в Scopus українських вчених дав змогу констатувати незначний інтерес збоку української наукової спільноти до питань

розвитку циркулярної економіки в Україні, який виник тільки після 2017 року. Аналіз статистики Google Trends щодо пошукових запитів циркулярної економіки за останні 5 років теж встановив факт низької зацікавленості широкої аудиторії інтернет-користувачів в українському середовищі до концепції циркулярної економіки. На основі проведеного аналізу сутності поняття, в даному дослідженні запропоновано використовувати визначення циркулярної економіки як альтернативи традиційній лінійній економічній моделі, коли ресурси використовуються якомога довше, з них отримують максимальну цінність, а відходи повертаються з кінця ланцюга постачання на початок, даючи використаним матеріалам нове життя.

Використано логічний метод до дослідження принципів циркулярної економіки. Показано, що сучасна концепція 9R охоплює найповніший спектр інструментів подовження життєвого циклу продукції: починаючи з відмови від надмірного споживання та переосмислення дизайну продуктів до їх ремонту, оновлення, ремануфактурингу та енергетичного відновлення.

Досліджено практики впровадження циркулярної економіки в країнах з різним рівнем розвитку. Встановлено, що впровадження заходів циркулярної економіки в країнах-членах ЄС було нерівномірним, що переважно пояснюється регіональною неоднорідністю ЄС в інституційних умовах. Відмічено вплив відмінностей між розвиненими країнами та країнами, що розвиваються, при переході до циркулярної економіки. Проведене дослідження дало підстави вважати, що компанії, особливо малі та середні, стикаються з багатьма перешкодами під час впровадження практик циркулярної економіки.

Сформовано методичний базис оцінки та розвитку циркулярної економіки, який дав змогу комплексно та системно підійти до вивчення об'єкту дослідження. Особливістю запропонованого методичного комплексу в даній роботі є те, що він поєднав в собі загальнонаукові та специфічні методи. До останніх можна віднести методи інтегрування на основі реляційного аналізу Грея (GRA) за умов неповноти даних та модель Басса для визначення часової досяжності цілей розвитку циркулярної економіки.

Для детального аналізу чинників розвитку циркулярної економіки проведено дослідження статистичних індикаторів, за допомогою яких Євростат визначає стан циркулярної економіки в країнах ЄС. Для моніторингу статистики даних стану циркулярної економіки в країнах ЄС Євростат формує індикатори циркулярної економіки за наступними категоріями: виробництво та споживання, управління відходами, вторинна сировина, конкурентоспроможність та інновації, глобальна стійкість та стабільність. Проведено морфологічний аналіз кожної з категорій за окремими статистичними показниками. Визначено методологію оцінки показників кожної з категорій та їх одиниці виміру.

Проведений емпіричний аналіз сформованої сукупності показників дав змогу зробити висновок, що можна спостерігати суттєві відмінності у вкладі різних показників в розвиток циркулярної економіки в Україні та країнах ЄС. Як в Україні, так і в ЄС позитивна зростаюча тенденція до покращення розвитку циркулярної економіки відбувається за рахунок зменшення утворення відходів та викидів парникових газів. В країнах ЄС ця позитивна тенденція посилюється зростанням частки перероблених побутових відходів та використанням циркулярних матеріалів.

Емпірично оцінено досягнення циркулярної економіки України, окремих європейських країн та ЄС загалом шляхом застосування реляційного аналізу Грея (GRA) з перевіркою стійкості отриманих результатів за допомогою альтернативних підходів обчислення еталонного показника. Вибір методології GRA пов'язаний із неповнотою статистичних даних стосовно циркулярної економіки як в Україні, так і країнах ЄС. Перевагами даної методології є те, що вона дозволяє працювати з неповними, дефіцитними даними, усуває суб'єктивність оцінки, а також дозволяє досліджувати вибірки різної розмірності. Для порівняльного аналізу було обрано європейські країни з найвищим та найнижчим рівнем розвитку та впровадження практик циркулярної економіки. Завдяки тому, що більшість європейських країн дотримуються рекомендацій ЄС щодо концепцій та цілей циркулярної економіки, це робить дане дослідження більш порівняльним, на відміну від інших досліджень, які розглядають дуже різні країни. Показано, що варто використовувати динамічний

підхід через структурні та інші зміни в економіці, які відбуваються з часом. Таким чином, спостерігався період з 2010 по 2024 роки. Зокрема, Україна демонструє різочу відмінність у інтегрованому показнику розвитку циркулярної економіки за різних порівняльних підходів. При порівнянні з українськими усередненими величинами розвиток циркулярної економіки має як зростаючий, так і спадний характер. В той же час при порівнянні з європейськими нормативами чи з еталонним показником Україна демонструє погіршення розвитку циркулярної економіки в динаміці.

Цифрові технології визнані рушійною силою, яка сприяє впровадженню циркулярної економіки. Однак у науковій літературі немає консенсусу щодо того, які технології ретельно описують поточний стан Індустрії 4.0 та 5.0, оскільки цифрова трансформація швидко розвивається. Виокремлено чотири цифрові технології як важливі фактори переходу до циркулярної економіки: штучний інтелект, аналітика великих даних, технологія блокчейн та інтернет речей. Ці цифрові технології можуть реалізувати цифрове виробництво в розумінні Індустрії 4.0 і 5.0 і мають потенціал для підвищення надійності, точності, ефективності та прозорості операцій і прийняття рішень, пов'язаних із циркулярною економікою та сталим розвитком.

Проаналізовано основні перешкоди при впровадженні цифрових технологій в концепціях циркулярної економіки. На основі аналізу проведених емпіричних досліджень наведено практичні докази того, що використання цифрових технологій справді може позитивно вплинути на впровадження більш сталої та циклічної практики підприємств.

На основі проведеного емпіричного аналізу встановлено, що загальний рівень впровадження цифрових технологій суттєво відрізняється залежно від розміру української компанії. При цьому більші компанії демонструють вищий рівень цифрової інтенсивності. Результати проведеного аналізу українських компаній співпадають із загальними європейськими тенденціями, виявленими в показнику цифрової інтенсивності (DESI 2022). Близько половини великих підприємств і третини малих підприємств використовують будь-який інтернет речей, тільки

кожне десяте підприємство проводить аналіз великих даних та використовує технологію штучного інтелекту. Крім того, базовий рівень цифрової інтенсивності українських компаній встановлено як все ще низький.

В галузевому розрізі серед одинадцяти досліджуваних видів економічної діяльності найбільш розвиненими виявилися інформація та телекомунікації, тоді як галузі переробної промисловості, транспорту та поштової діяльності, операцій з нерухомістю, сфера адміністративного та допоміжного обслуговування, водопостачання, каналізації, поводження з відходами, будівництва продемонстрували найнижчий ступінь цифровізації. Незважаючи на загальну тенденцію до більшої цифровізації, ступінь реалізації щодо конкретних застосувань окремих видів цифрових технологій значно відрізнявся в різних галузях. Частка підприємств, які використовують цифрові технології загалом, була вищою, ніж частка компаній, які прийняли їх для впровадження практик циркулярної економіки. Це може означати, що, хоча цифрові технології непрямо використовуються для циркулярної економіки, їх застосування в цілому може бути корисним для впровадження практик циркулярної економіки в компаніях.

З іншого боку встановлено сукупний вагомий вплив факторів цифрових технологій на окремі сфери циркулярної економіки. Однак ступінь їх впровадження все ще низький, і лише у відносно рідкісних випадках компанії бачать чітко визначені вигоди від цифровізації, спрямовані на підтримку циркулярної економіки. Виявлено вплив цифрових технологій на дві сфери циркулярної економіки: цифрові технології для зменшення споживання енергії та цифрові технології для зменшення кількості матеріалів, що використовуються, або збільшення використання вторинної сировини.

Розроблено методику прогнозової оцінки розвитку циркулярної економіки. На основі попередньо сформованої системи індикаторів та розрахованої інтегрованої оцінки розвитку циркулярної економіки здійснено прогнозні розрахунки за двома варіантами: на підставі статистичних даних стану циркулярної економіки в Україні; та з врахування впливу цифрових технологій на циркулярну економіку. Здійснено їх порівняння. Розраховано часові межі досяжності цілей розвитку циркулярної

економіки за допомогою моделі Басса. Встановлено, що досягнути рівня циркулярної економіки в країнах ЄС Україна зможе до 2035 року. При цьому досягнення цілей можливе лише за умов масштабних інвестицій, реформування законодавства, зміни культури споживання та цифровізації процесів відстеження ресурсів.

Ключові слова: циркулярна економіка, економіка замкненого циклу, управління відходами, відходи, утворення та утилізація відходів, повторне використання, сталий розвиток, стійкість, бізнес-модель, лінійна економіка, великі, середні та малі підприємства, цифрові технології, види економічної діяльності, концептуальний підхід.

ABSTRACT

Leskiv V.V. Analysis and assessment of the prospects for the circular economy development in Ukraine. – Qualification scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 051 Economics. – Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2026.

The dissertation develops theoretical and methodological principles and applied recommendations for the analysis and prospects for the development of the circular economy of Ukraine, taking into account international trends, external and internal threats and the latest opportunities of digital technologies.

An analysis of the essence of the concept of circular economy was conducted based on a study of the number of publications in Scopus and search queries in Google Trends. It was established that the circular economy is a broad concept that involves scientists from various disciplines, as well as other participants and interest groups. The circular economy publications analyzed included a variety of research methods, including case studies, literature reviews, surveys (based on questionnaires and interviews), quantitative data assessment (variants of secondary data assessment) and conceptual design, as well as a combination of research methods. It was found that interest in this topic is

exponential, showing a significant increase in mentions of the circular economy, starting from 2016 and exceeding 3,500 publications in 2025. However, a comprehensive review of articles in Scopus showed that coverage of the circular economy is fragmented and researchers do not regularly study the implementation of the circular economy. Therefore, there are currently no general conclusions about the successful implementation of the circular economy. Most scholars recognize that the circular economy does not have a single product or a single actor as a starting point. Rather, it is a systemic concept based on the principle of resource conservation.

The analysis of articles in Scopus by Ukrainian scientists made it possible to state a slight interest on the part of the Ukrainian scientific community in the issues of circular economy development in Ukraine, which arose only after 2017. Analysis of Google Trends statistics on circular economy search queries over the past 5 years also established the fact of low interest of a wide audience of Internet users in the Ukrainian environment in the concept of circular economy. Based on the analysis of the essence of the concept, this study proposes to use the definition of circular economy as an alternative to the traditional linear economic model, when resources are used for as long as possible, maximum value is obtained from them, and waste is returned from the end of the supply chain to the beginning, giving new life to the used materials.

A logical method was used to study the principles of circular economy. It is shown that the modern 9R concept covers the most complete range of tools for extending the life cycle of products: from the rejection of excessive consumption and rethinking the design of products to their repair, renewal, remanufacturing and energy recovery.

The practices of implementing a circular economy in countries with different levels of development were studied. It was found that the implementation of circular economy measures in EU member states was uneven, which is mainly explained by the regional heterogeneity of the EU in institutional conditions. The impact of differences between developed and developing countries in the transition to a circular economy was noted. The study gave reason to believe that companies, especially small and medium-sized ones, face many obstacles when implementing circular economy practices.

A methodological basis for assessing and developing the circular economy was formed, which made it possible to comprehensively and systematically approach the study of the object of research. A feature of the proposed methodological complex in this work is that it combines general scientific and specific methods. The latter include integration methods based on Gray relational analysis (GRA) under conditions of incomplete data and the Bass model for determining the timeliness of circular economy development goals.

For a detailed analysis of the factors of circular economy development, a study of statistical indicators was conducted, with the help of which Eurostat determines the state of the circular economy in EU countries. To monitor statistical data on the state of the circular economy in EU countries, Eurostat forms circular economy indicators in the following categories: production and consumption, waste management, secondary raw materials, competitiveness and innovation, global sustainability and stability. A morphological analysis of each category was conducted for individual statistical indicators. The methodology for assessing the indicators of each category and their units of measurement was determined.

The empirical analysis of the formed set of indicators allowed us to conclude that significant differences can be observed in the contribution of various indicators to the development of the circular economy in Ukraine and the EU countries. Both in Ukraine and in the EU, a positive growing trend towards improving the development of the circular economy occurs due to a decrease in waste generation and greenhouse gas emissions. In the EU countries, this positive trend is reinforced by an increase in the share of recycled household waste and the use of circular materials.

The achievements of the circular economy of Ukraine, individual European countries and the EU as a whole were empirically assessed by applying Gray relational analysis (GRA) with a check of the stability of the obtained results using alternative approaches to calculating the reference indicator. The choice of the GRA methodology is associated with the incompleteness of statistical data on the circular economy in both Ukraine and the EU countries. The advantages of this methodology are that it allows working with incomplete, scarce data, eliminates the subjectivity of the assessment, and

also allows studying samples of different dimensions. For the comparative analysis, European countries with the highest and lowest levels of development and implementation of circular economy practices were selected. Due to the fact that most European countries adhere to the EU recommendations on the concepts and goals of the circular economy, this makes this study more comparative, unlike other studies that consider very different countries. It is shown that it is worth using a dynamic approach due to structural and other changes in the economy that occur over time. Thus, the period from 2010 to 2024 was observed. In particular, Ukraine demonstrates a striking difference in the integrated indicator of circular economy development under different comparative approaches. When compared with Ukrainian average values, the development of the circular economy has both an increasing and decreasing character. At the same time, when compared with European standards or with a reference indicator, Ukraine demonstrates a deterioration in the development of the circular economy in dynamics.

Digital technologies are recognized as a driving force that contributes to the implementation of the circular economy. However, there is no consensus in the scientific literature on which technologies thoroughly describe the current state of Industry 4.0 and 5.0, as digital transformation is rapidly developing. Four digital technologies are identified as important factors in the transition to a circular economy: artificial intelligence, big data analytics, blockchain technology and the Internet of Things. These digital technologies can implement digital production in the sense of Industry 4.0 and 5.0 and have the potential to increase the reliability, accuracy, efficiency and transparency of operations and decision-making related to the circular economy and sustainable development.

The main obstacles to the implementation of digital technologies in circular economy concepts are analyzed. Based on the analysis of empirical studies, practical evidence is provided that the use of digital technologies can indeed have a positive impact on the implementation of more sustainable and cyclical business practices.

Based on the empirical analysis, it is established that the overall level of implementation of digital technologies varies significantly depending on the size of the Ukrainian company. At the same time, larger companies demonstrate a higher level of

digital intensity. The results of the analysis of Ukrainian companies coincide with the general European trends identified in the Digital Intensity Index (DESI 2022). About half of large enterprises and a third of small enterprises use some kind of Internet of Things, only every tenth enterprise conducts big data analysis and uses artificial intelligence technology. In addition, the basic level of digital intensity of Ukrainian companies is still low.

In terms of industry, among the eleven types of economic activity studied, information and telecommunications were the most developed, while the processing industry, transport and postal activities, real estate operations, administrative and support services, water supply, sewage, waste management, and construction demonstrated the lowest degree of digitalization. Despite the general trend towards greater digitalization, the degree of implementation of specific applications of individual types of digital technologies differed significantly across industries. The proportion of enterprises using digital technologies in general was higher than the proportion of companies adopting them to implement circular economy practices. This may indicate that although digital technologies are indirectly used for the circular economy, their use in general can be beneficial for the implementation of circular economy practices in companies.

On the other hand, a significant cumulative impact of digital technology factors on individual areas of the circular economy has been established. However, the degree of their implementation is still low, and only in relatively rare cases do companies see clearly defined benefits from digitalization aimed at supporting the circular economy. The impact of digital technologies on two areas of the circular economy has been identified: digital technologies for reducing energy consumption and digital technologies for reducing the amount of materials used or increasing the use of secondary raw materials.

A methodology for forecasting the development of the circular economy has been developed. Based on a pre-formed system of indicators and a calculated integrated assessment of the development of the circular economy, forecast calculations have been made according to two options: based on statistical data on the state of the circular economy in Ukraine; and taking into account the impact of digital technologies on the circular economy. They have been compared. The time limits for achieving the goals of

the circular economy development have been calculated using the Bassa model. It has been established that Ukraine will be able to achieve the level of the circular economy in EU countries by 2035. At the same time, achieving the goals is possible only under conditions of large-scale investments, reforming legislation, changing the culture of consumption and digitalization of resource tracking processes.

Keywords: circular economy, closed-loop economy, waste management, waste, waste generation and disposal, reuse, sustainable development, resilience, business model, linear economy, large, medium and small enterprises, digital technologies, types of economic activity, conceptual approach.

Список публікацій Леськів В.В. за темою дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Леськів В.В. Роль цифрових технологій у розвитку циркулярної економіки. *Наукові перспективи*. 2025. № 5(59). С.836-850. (0,63 д.а.).
DOI: [https://doi.org/10.52058/2708-7530-2025-5\(59\)-836-850](https://doi.org/10.52058/2708-7530-2025-5(59)-836-850)
URL: <http://perspectives.pp.ua/index.php/np/article/view/24643/24617>
2. Буртняк І.В., Леськів В.В. Практики переходу від лінійної до циркулярної економіки: досвід країн з різним рівнем розвитку. *Грааль науки*. 2025. № 53. С. 112-119. *Особистий внесок* (0,2 д.а.): проведено історичний аналіз практик переходу різних країн: Китаю, країн ЄС, Латинської Америки (0,33 д.а.).
DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.20.06.2025.011>
URL: <https://archive.journal-grail.science/index.php/2710-3056/issue/view/20.06.2025/41>
3. Леськів В.В. Комплексний аналіз розвитку циркулярної економіки в Україні та ЄС. *Сталий розвиток економіки*. 2025. № 4(55). С.276-285. (0,42 д.а.).
DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-55-38>
URL: <https://economdevelopment.in.ua/index.php/journal/article/view/1421/1371>
4. Леськів В.В. Оцінка впливу цифрових технологій на впровадження практик циркулярної економіки. *Бізнес Інформ*. 2025. №10. С. 334-345. (0,46 д.а.).
DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2025-10-334-345>
URL: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2025-10_0-pages-334_345.pdf
5. Леськів В.В. Часова оцінка досяжності цілей розвитку циркулярної економіки в Україні. *Економіка та суспільство*. 2026. №84. (0,67 д.а.).
DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-84-117>
URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/7733/7710>

Матеріали наукових конференцій

6. Буртняк І.В., Леськів В.В. Цифрові технології як інструмент розвитку циркулярної економіки. *International scientific-practical conference «Sustainable development of the economy, legal systems, and public governance in the context of global challenges»*: conference proceedings (Angers, France, May 28, 2025). Angers, France: Scholarly Publisher ICSSH, 2025. Р. 20-24. *Особистий внесок (0,12 д.а.):* проведено класифікацію цифрових технологій, релевантних для переходу до циркулярних моделей (0,21 д.а.) URL: <https://www.economics.in.ua/2025/05/28.html>

7. Буртняк І.В., Леськів В.В. Оцінка досягнень циркулярної економіки за допомогою реляційного аналізу Грея. *Матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції форуму молодих економістів-кібернетиків «Моделювання економіки: проблеми, тенденції, досвід»*. (Львів, 21-22 листопада 2025 р.) *Особистий внесок (0,1 д.а.):* запропоновано методику аналізу Грея для інтегрованої оцінки розвитку циркулярної економіки (0,22 д.а.). URL: https://econom.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2025/12/2025_Zbirnyk-OK-NEW-1.pdf

8. Буртняк І.В., Леськів В.В. Маркетингова оцінка розвитку ринку оффлайн освіти в Україні. *XIV Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми моделювання соціально-економічних систем»* (Харків, 7 квітня 2023 р.). *Особистий внесок (0,08 д.а.):* запропоновано методику оцінки розвитку ринку оффлайн освіти (0,2 д.а.). URL: <https://mpsesm.org/book/2023/pages/sections/section05/page08.html>

9. Леськів В.В. Тренди онлайн- та офлайн- освіти в Україні: прогрес і виклики. *Матеріали IX Міжнародної науково-методичної конференції «Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці»*. (Чернівці, 24-25 квітня 2025 р.). С.100-103. (0,17 д.а.). URL: <https://drive.google.com/file/d/1BZgCXeBLUATBjBthJDZqEzkZ2yZmWU2B/view>

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	16
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ	22
1.1. Аналіз сутності поняття циркулярна економіка	22
1.2. Практики переходу від лінійної до циркулярної економіки: досвід країн з різним рівнем розвитку	37
1.3. Методичні основи дослідження циркулярної економіки	53
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ В УКРАЇНІ	68
2.1. Моніторинг статистики циркулярної економіки в Україні: відмінності з базою статистики ЄС	68
2.2. Формування методики аналізу розвитку циркулярної економіки	78
2.3. Комплексний аналіз розвитку циркулярної економіки в Україні та ЄС	94
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ В УКРАЇНІ	115
3.1. Роль цифрових технологій у розвитку циркулярної економіки	115
3.2. Оцінка впливу цифрових технологій на впровадження практик циркулярної економіки	128
3.3. Часова оцінка досяжності цілей розвитку циркулярної економіки	144
ВИСНОВКИ	156
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	162
ДОДАТКИ	180

ВСТУП

Актуальність теми. Циркулярна економіка є стратегічним напрямом розвитку, здатним забезпечити одночасне вирішення ресурсних, екологічних і соціально-економічних викликів. Міжнародний досвід підтверджує важливість системної політики, інновацій та цифровізації для успішного переходу до циркулярності. Водночас аналіз української ситуації демонструє низький рівень циркулярності, надмірний обсяг відходів, недостатній рівень їх переробки та наявність значних статистичних і інституційних прогалин, що підтверджує актуальність даної теми.

Дослідження перспектив розвитку циркулярної економіки в Україні наведено у працях таких вчених, як Благун І., Буртняк І., Горбаль Н., Дмитришин Л., Дубель М., Заблоцька Р., Максимів Ю., Мельничук І., Хаустова В., Хмілевська А., Шелемон В., Яковенко А. Більш поглибленого аналізу набули дослідження циркулярної економіки в працях закордонних вчених, як Антікайнен Р., Аранда-Усон А., Бутон С., Карвальо М., Двіведі А., Гейсдоерфер М., Хаас В., Халог А., Гондроянніс Г., Кірхер Дж., Корхонен Дж., Лідер М., Лю К., Нері А., Райке Д., Шьоггл Дж. Втім комплексного дослідження, яке враховує сучасні умови та вплив воєнних дій на розвиток циркулярної економіки в Україні в повній мірі не висвітлено. Це й спричинило вибір теми дисертаційної роботи та її науково-прикладне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Результати дисертаційної роботи відповідають плану наукових досліджень Карпатського національного університету імені Василя Стефаника, а саме: «Моделювання процесів управління в соціально-економічних системах» (номер державної реєстрації 0113U005083, 2013–2027 рр.), де автором визначено роль цифрових технологій у розвитку циркулярної економіки та обчислено часову оцінку досяжності цілей розвитку циркулярної економіки України.

Мета та завдання дослідження. *Метою* є розробка теоретико-методичних засад та прикладних рекомендацій щодо аналізу та перспектив розвитку

циркулярної економіки України з урахуванням міжнародних тенденцій, зовнішніх та внутрішніх загроз та новітніх можливостей цифрових технологій.

Для досягнення поставленої мети дослідження в роботі поставлено такі завдання:

- провести ґрунтовний теоретичний аналіз змісту поняття «циркулярна економіка», принципів її функціонування та відмінностей від лінійної економічної моделі;
- узагальнити міжнародні практики переходу країн із різним рівнем розвитку на моделі циркулярності;
- сформувати методичний базис оцінки та розвитку циркулярної економіки;
- здійснити діагностику стану циркулярної економіки в Україні, визначивши ключові відмінності національної статистики від системи моніторингу ЄС;
- сформувати та реалізувати методику аналізу рівня розвитку циркулярної економіки на основі застосування реляційного коефіцієнта Грея;
- дослідити вклад цифрових технологій у забезпеченні переходу до циркулярних моделей виробництва та споживання;
- визначити перспективи розвитку циркулярної економіки за допомогою часової оцінки досяжності цілей розвитку циркулярної економіки України.

Об’єктом дослідження є процеси формування, функціонування та розвитку циркулярної економіки в національних економічних системах.

Предметом дослідження є теоретичні, методичні й прикладні засади оцінки та розвитку циркулярної економіки, включно з інструментами цифрової трансформації.

Методи дослідження. Теоретичними аспектами дослідження є положення вітчизняних та зарубіжних вчених стосовно аналізу та перспектив розвитку циркулярної економіки. У дисертації застосовано наступні методи дослідження: системний, історичний, наративний, компаративний аналіз для аналізу сутності

поняття циркулярна економіка; логічний, історичний, компаративний та морфологічний аналіз для дослідження практик переходу від лінійної до циркулярної економіки; системний та морфологічний аналіз для моніторингу статистики показників циркулярної економіки; метод нормалізації даних, кореляційний, економічний та компаративний метод для аналізу показників циркулярної економіки; реляційний аналіз Грея, динамічний аналіз та аналіз стійкості для визначення інтегрованої оцінки розвитку циркулярної економіки; емпіричний, економічний, кореляційний та регресійний методи для аналізу впливу цифрових технологій на циркулярну економіку; економетричні методи, методи прогнозування, модель Басса для прогнозу оцінки перспектив розвитку циркулярної економіки.

Інформаційною базою дисертаційної роботи є законодавчі акти державних органів влади, статистична інформація Державної служби статистики України та Євростату, офіційні дані Європейської Комісії, звіти ЮНІДО, ООН, комісії Брунтланд, наукові праці вітчизняних та зарубіжних вчених, матеріали аналітичних видань та засобів масової інформації, ресурси мережі Інтернет, дані бази Scopus та Google Trends, результати досліджень автора.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в обґрунтуванні та удосконаленні методичних підходів до оцінки та перспектив розвитку циркулярної економіки в Україні, зокрема:

вперше адаптовано систему індикаторів Європейського Союзу до українських реалій і запропоновано застосування реляційного коефіцієнта Грея як інструменту об'єктивного аналізу в умовах неповноти даних, результатом використання яких стала прогнозна оцінка та визначення часової досяжності цілей розвитку циркулярної економіки в Україні;

удосконалено:

— методичний базис оцінки та розвитку циркулярної економіки, який, на відміну від існуючих, поєднав в собі методи інтегрування за умов неповноти даних та модель визначення часової досяжності цілей;

- класифікацію цифрових технологій, релевантних для переходу до циркулярних моделей, шляхом інтеграції сучасних підходів Індустрії 4.0 і 5.0, що дозволило визначити їхній вклад у формуванні цифрової інфраструктури циркулярності та підтримці сталих трансформацій в Україні;

- методику формування статистичних показників циркулярної економіки в Україні у відповідності до стандартів їх моніторингу в країнах ЄС, що дозволило провести порівняльну оцінку ефективності досягнення цілей циркулярної економіки в Україні та країнах-членах ЄС, а також стало першим кроком до формування єдиної статистичної бази даних в цьому напрямку;

набули подальшого розвитку:

- теоретичні положення щодо сутності циркулярної економіки, національних відмінностей її впровадження та впливу інституційних чинників, що дало змогу імплементувати зарубіжний, зокрема, європейський досвід розвитку циркулярної економіки в українські реалії;

- методика аналізу стійкості альтернативних підходів до обчислення інтегрованої оцінки розвитку циркулярної економіки на основі реляційного відношення Грея для України та країн ЄС, що дало змогу отримати порівняльні результати та здійснити їх подальший аналіз;

- методика прогнозної оцінки перспектив розвитку циркулярної економіки в Україні на основі моделі Басса, яка дала змогу розрахувати часові межі досяжності цілей розвитку циркулярної економіки в Україні за рахунок впливу на неї цифрових технологій.

Практичне значення отриманих результатів полягає у застосуванні теоретико-методологічних та практичних пропозицій при формуванні державних та регіональних програм розвитку циркулярної економіки та реалізації цілей сталого розвитку в Україні. Узагальнено результати дисертаційної роботи та пропозиції авторки стосовно адаптації системи індикаторів циркулярної економіки Європейського Союзу до українських реалій та визначення на їх основі часової досяжності цілей розвитку циркулярної економіки в Україні.

Результати дисертаційної роботи в частині аналізу та оцінки ролі цифрових технологій у розвитку циркулярної економіки використано в діяльності міжнародної IT-компанії Softjourn-Україна (довідка № 2026-11/4 від 07.04.2026 р.).

Теоретичні положення та практичні рекомендації дисертаційної роботи використані в навчальному процесі при викладанні курсів «Економіка сталого розвитку», «Циркулярна економіка», «Прогнозування соціальних та економічних процесів» для студентів спеціальності С1 Економіка та міжнародні економічні відносини на економічному факультеті Карпатського національного університету імені Василя Стефаника (довідка № 03.04-29/07 від 29.04.2026 р.).

Особистий внесок здобувачки. Дисертаційна робота є самостійною науковою роботою авторки. Подані на захист наукові висновки, результати, узагальнення та пропозиції є особистою власністю авторки та відображають її внесок у теорію, методику та практику циркулярної трансформації економіки України. У наукових роботах, опублікованих у співавторстві, використовуються лише ідеї та інструменти, які впливають із власних досліджень авторки.

За результатами дослідження авторкою опубліковано 9 наукових праць, серед них: 5 наукових статей (з них 5 – у фахових виданнях України); 4 – публікації в наукових конференціях. Загальний обсяг публікацій – 3,31 друк. арк., у тому числі автору належить – 2,85 друк. арк.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи оприлюднені на міжнародних та всеукраїнських конференціях, зокрема: International scientific-practical conference «Sustainable development of the economy, legal systems, and public governance in the context of global challenges»: (Angers, France, May 28, 2025); XIII Всеукраїнській науково-практичній конференції форуму молодих економістів-кібернетиків «Моделювання економіки: проблеми, тенденції, досвід» (Львів, 21-22 листопада 2025 р.); XIV Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми моделювання соціально-економічних систем» (Харків, 7 квітня 2023 р.); IX Міжнародній науково-методичній конференції «Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці» (Чернівці, 24-25 квітня 2025 р.).

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 21 таблицю, 24 рисунки, 3 додатки. Список використаних джерел складається з 148 найменувань на 17 сторінках. Додатки розміщені на 29 сторінках.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ

1.1. Аналіз сутності поняття циркулярна економіка

Стійкість займає важливе місце в порядку денному з тих пір, як у 1987 році Комісія Брундтланд представила концепцію сталого розвитку як підхід до розвитку, який може задовольнити потреби населення світу сьогодні, не руйнуючи здатність планети задовольняти потреби майбутніх поколінь [45]. Шлях, прокладений роботою Комісії Брундтланд, залишається актуальним. Порядок денний сталого розвитку Організації Об'єднаних Націй на період до 2030 року з п'ятьма ключовими сферами сталого розвитку (люди, планета, процвітання, мир і партнерство) представляє план дій із 17 цілями сталого розвитку (ЦСР), 169 цілями та 232 індикаторами для відстеження прогресу [144]. Цілі розвитку стосуються багатьох аспектів сталого розвитку, і всі вони актуальні для учасників - компаній, регіонів, країн та їх об'єднань. Зіткнувшись із зростанням населення світу та зростанням очікувань щодо добробуту людей, треба досягти цілей, щоб уникнути перевищення планетарних кордонів (тобто знайти безпечний робочий простір для людства в системі Землі) [120].

Глобальна ініціатива зі звітності (GRI), Глобальний договір ООН (UNGC) і Всесвітня бізнес-рада зі сталого розвитку (WBSCD) спільно розробили посібник для учасників щодо застосування ЦСР - Компас ЦУР [81]. Тим не менш, як учасники повинні орієнтуватися в цій сфері, досі не зовсім зрозуміло. Компанії спостерігають зміни у своєму робочому середовищі в напрямку очікувань сталого розвитку, деякі прийняли ці зміни. Оскільки компанії реагують на заклики до більшої стійкості, концепція циркулярної економіки (ЦЕ) набула популярності. Циркулярна економіка полягає у відокремленні економічного зростання від погіршення навколишнього середовища [98]. Перехід до ЦЕ означає відхід від економіки «бери, роби, викидай» до регенеративної економіки. Шредер та ін. порівняли цільові показники для всіх 17 ЦСР із практиками ЦЕ та виявили тісні

взаємозв'язки, підтверджуючи, що практики ЦЕ можуть бути інструментами для досягнення значної кількості ЦСР [131]. Один із найсильніших зв'язків існує між цілями сталого розвитку 12 (відповідальне виробництво та споживання) та ЦЕ. Ціль 12.5 — суттєве скорочення відходів шляхом запобігання, скорочення, переробки та повторного використання — основного аспекту ЦЕ. Концепція ЦЕ набирає обертів у бізнес-спільноті, зосереджуючись як на екологічному, так і на економічному аспектах сталого розвитку.

Незважаючи на чіткий зв'язок між ЦСР і ЦЕ та спільну мету більш стійких практик, вплив ініціатив ЦЕ необхідно вивчити. Комплексний огляд літератури та статей, які досліджують ЦЕ, виконаний Лідером і Рашидом, показує, що висвітлення ЦЕ є фрагментованим і що дослідники ще не регулярно вивчають впровадження ЦЕ [97]. На рис. 1.1 показано кількість звернень у рецензовану літературну базу даних Scopus за пошуковою фразою «Циркулярна економіка» за 2000-2025 роки. Аналіз рис. 1.1 показує збільшення згадок про ЦЕ в опублікованій рецензованій літературі Scopus, починаючи з 2016 року. Починаючи з 2020 року кількість опублікованих праць в Scopus на тематику ЦЕ перевищила 1000 і сягла більше 3500 в 2025 році.

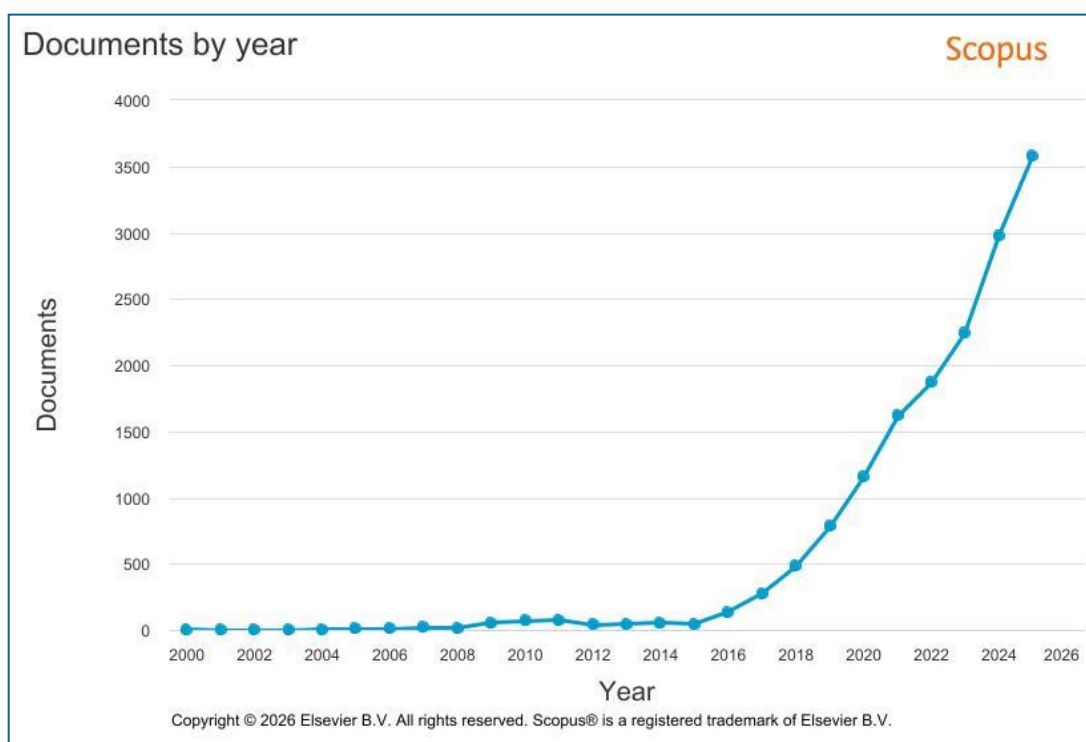


Рис. 1.1. Кількість публікацій з ЦЕ у Scopus (власна розробка)

Отже, останніми роками спостерігається експоненційне зростання кількості опублікованих наукових робіт, пов'язаних з ЦЕ, що призвело до великої кількості опублікованих досліджень на цю тему. Вибір даних для цього огляду складається з двох частин. По-перше, уся література (відповідно до критеріїв відбору даних) аналізується описово, щоб забезпечити ясність концепції, контекст і огляд статусу ЦЕ. По-друге, виконується поглиблений тематичний аналіз емпіричної дослідницької літератури (кейсів), щоб отримати уявлення про впровадження ЦЕ.

Зусилля щодо переходу до більш екологічних виробничих процесів мають довгу історію. Потужний вплив людини на навколишнє середовище був висвітлений у «Тихій весні» Рейчел Карсон 1962 року та в доповіді 1972 року під назвою «Межі зростання», написаній на замовлення Римського клубу. В ЄС необхідність стійкості була визнана в екологічній політиці ще в 1972 році [45]. Були започатковані зусилля щодо зменшення впливу людини на навколишнє середовище: наприклад, ініціативи з чистішого виробництва та промислової екології в 1990-х роках і ініціативи з управління життєвим циклом у 2000-х роках.

На відміну від інших інструментів і концепцій, пов'язаних зі сталим розвитком, ЦЕ виникла в бізнесі та політичних організаціях. Один із них, Фонд Еллен Макартур, надав добре вживане визначення ЦЕ як «індустріальної економіки, яка є відновлювальною за наміром і задумом» [65]. Час і важливість економічного процвітання надали цій концепції імпульс, і відтоді в корпоративному світі було помічено численні ініціативи. Отже, академіки та вчені прийняли цю концепцію. Концепція ЦЕ ґрунтується на принципі «замикання петель», який сам походить від промислової екології [75]. Промислова екологія описує промислові екосистеми з оптимізованим споживанням енергії та матеріалів і мінімізованим утворенням відходів, де відходи з однієї системи слугують сировиною для іншої [75]. Боулдінг описав відкриту економіку як «економіку ковбоя», де споживання та виробництво є хорошими речами, а успіх вимірюється обсягом пропускної здатності. Альтернативою, якій Боулдінг віддавав перевагу, була «економіка космонавтів»: замкнута система, подібна до ЦЕ, де пропускна здатність — це те, що

слід мінімізувати, а збереження запасів — головна мета [43]. Незважаючи на зростаючу популярність, ЦЕ не є новою ідеєю.

У компанії з багатьма термінами сталого розвитку «циркулярна економіка» страждає від відсутності єдиного визначення. Корхонен та ін. стверджують, що ЦЕ є по суті спірною концепцією; на їхню думку, це міждисциплінарна концепція, яка означає, що в ній беруть участь вчені з різних дисциплін, а також інші учасники та групи інтересів, які не об'єднані за єдиним розумінням цієї концепції [92]. Крім того, у сфері ЦЕ наукові дослідження відстають від практики; відмінності у лексиці між дисциплінами перешкоджають діалогу. Що стосується зв'язку між ЦЕ та стійкістю, було докладено зусиль для забезпечення ясності [80]. Однак необхідні додаткові наукові дослідження, щоб зрозуміти, як ініціативи ЦЕ сприяють сталому розвитку в усіх трьох вимірах (економічному, соціальному та екологічному). Під терміном «економіка замкнутого циклу» розумітимемо спробу «замінити концепцію «кінець життєвого циклу» скороченням, альтернативним повторним використанням, переробкою та відновленням матеріалів у процесах виробництва/розповсюдження та споживання». Зусилля ЦЕ мають включати системну перспективу (мікро-, мезо- та макро-) та сприяти екологічній, економічній та соціальній стійкості.

Це визначення забезпечує тісний зв'язок між заміною концепції завершення терміну служби та її внеском у сталий розвиток не лише в екологічному сенсі, але й для всіх трьох стовпів (екологічної, соціальної та економічної) стійкості. У ньому також зазначено, що зусилля ЦЕ мають включати системну перспективу, тобто всі ініціативи ЦЕ варто розглядати у зв'язку з їхнім оточенням [18]. Принципи ЦЕ можуть застосовуватися на різних системних рівнях: макро- (цілі системи виробництва та споживання), мезо- (сектор і тип бізнесу), мікро- (компанія) і нано- (продукт).

Прогрес у напрямку ЦЕ передбачає зусилля з покращення циркуляції ресурсів, матеріалів та енергії шляхом закриття, сповільнення або звуження циклів. Замикання циклів означає збереження ресурсів у циклі шляхом переробки. Уповільнення означає подовження часу використання шляхом повторного

використання, ремонту та повторного виготовлення. Звуження передбачає використання меншої кількості ресурсів на продукт — цей останній підхід сам по собі не є круговим. Кірхер та ін. представили скорочення, повторне використання, переробку та відновлення матеріалів (4R) як стратегії для заміни концепції завершення терміну служби [90]. Ці 4R є однією з кількох версій ієрархії відходів, пріоритизації стратегій дематеріалізації, від запобігання утворенню відходів до захоронення. Рейке та ін. розрізняють три окремі групи стратегій ЦЕ для дематеріалізації: низхідний цикл (довгі цикли), оновлення продукту (середні довгі цикли) і вибір користувачів (найкоротші цикли) [118]. Коротші петлі менше навантажують природні ресурси, ніж довші петлі. Незважаючи на те, що ієрархія відходів є «основою» ЦЕ, є певні обмеження щодо користі концепції, яка допомагає досягти дематеріалізації; відсутність підтримки (тобто практики та стимулів) для вибору між різними стратегіями ЦЕ. Крім того, для складних продуктів різні варіанти переплітаються; дійсно, існує потреба поєднувати різні стратегії на різних рівнях, щоб досягти плідної стратегії ЦЕ. Лідер і Рашид знайшли небагато стратегій для підтримки впровадження; такі стратегії необхідні для спрямування бізнес-моделей (БМ), дизайну продукту та ланцюга постачання, а також вибору матеріалів [97]. Останнім часом більше уваги приділяється ролі БМ у стимулюванні практик циклічної економіки у виробничих компаніях. Таким чином, з'явилася сфера циклічних бізнес-моделей (СБМ). Циркулярна бізнес-модель розуміється як бізнес-модель, яка створює, доставляє та фіксує вартість відповідно до принципів ЦЕ [90]. В огляді СБМ виділяють системи обслуговування продукції (PSS) і повторне використання, повторне виробництво та переробку як найпоширеніші типи СБМ.

Для аналізу сутності поняття циркулярна економіка застосовано дослідницький метод систематичного огляду літератури. Було проведено вичерпний пошук літератури, перш ніж поєднати наративний і табличний методи для синтезу літератури. Літератури в області ЦЕ на сьогоднішній день є багато. Тому було вкрай важливо обмежити обсяг дослідження лише літературою, що стосується питань дослідження. Ключовим був системний підхід. Тому огляд літератури проводився поетапно, починаючи з дизайну дослідження. Цей етап

включав формулювання основної мети дослідження та пов'язаних з ним питань дослідження. Далі була розроблена стратегія пошуку та ключові критерії для включення та виключення робіт. Третім був етап збору даних, центральними елементами якого були вибір бази даних і визначення відповідних ключових слів. Після цього відбулося сортування та виключення, етап, на якому літературна база була обрана відповідно до критеріїв, визначених на етапі планування дослідження. Після сортування літературу було класифіковано для подальшого аналізу. Усі етапи огляду літератури описані далі.

Пошук проводився за пошуковим терміном «виробництво» або «виробництво» разом із «циркулярною економікою». Було включено як виробництво, так і виробництво з ЦЕ, оскільки ці терміни використовуються як синоніми. Для виявлення відповідної літератури було здійснено пошук за назвами, анотаціями та ключовими словами. Пошук проводився в базі даних Scopus, оскільки початкові пошуки в інших базах даних показали, що Scopus охоплює задовільну частку відповідної літератури та створює менше шуму. Незважаючи на численні звіти, підготовлені підприємствами, неурядовими організаціями (НУО) та урядами за останні кілька років, до них було включено лише рецензовану літературу. Це рішення було прийнято з двох причин: по-перше, щоб проаналізувати сучасні дослідження ЦЕ; по-друге, щоб уникнути потенційної проблеми появи розбіжностей між мотиваціями, фокусом і результатами, виявленими в замовлених звітах, і тими, які були знайдені в наукових дослідженнях. Ненаукові джерела, такі як НУО та ділові чи політичні організації, можуть бути схильні представляти історії успіху, а не невдачі. Аналіз сутності поняття циркулярна економіка включав лише літературу англійською мовою, опубліковану з 2000 року.

Сортування та виключення включало оцінку якості: перевірку валідності, надійності, застосовності та відповідності. Для оцінки якості було обрано ітераційний процес. Спочатку було проведено початковий відбір літератури на основі назви статті, розділивши літературу на три категорії. Статті, визнані нерелевантними, позначалися червоним кольором, а ті, які вважалися

релевантними, — зеленим. Велику частину літератури неможливо класифікувати лише за назвою; ці статті були позначені жовтим кольором. Друга ітерація включала читання анотації для всіх жовтих і зелених статей, таким чином усуваючи невідповідну літературу.

Систематичний огляд літератури вимагає чітких критеріїв включення та виключення. Використані критерії наведено в таблиці 1.1. Деякі статті також були включені за допомогою методів «сніжного кома». Списки літератури у включених статтях перевірено на наявність нових джерел, додаючи відповідні статті до літературної бази. Загальна кількість оцінених статей становила 80.

Таблиця 1.1

Критерії включення/виключення, що використовувалися для перевірки публікацій щодо ЦЕ

Критерії включення	Критерії виключення
Виробництво/виготовлення деталей, товарів, виробів (дискретне виробництво)	Переробна/гірничодобувна промисловість, біо/сільськогосподарська/харчова промисловість, енергетика (процесне виробництво)
Складається з одного або кількох ключових елементів ЦЕ (зусилля, спрямовані на скорочення, повторне використання, переробку та/або відновлення матеріалів)	Поводження з відходами

Аналіз літератури було поділено на дві частини: (1) описовий аналіз і (2) тематичний аналіз. Метою описового аналізу було виявити закономірності в даних щодо року видання, представлених журналів і застосованого методу дослідження.

У центрі уваги цього огляду було впровадження ЦЕ у компаніях. Оскільки тематичні дослідження добре підходять для тестування фреймворків і дослідження того, як і чому, їх було обрано для глибшого тематичного аналізу. Двадцять дев'ять статей потрапили в категорію тематичних досліджень на основі власного опису авторами своїх методів дослідження. До цієї групи також увійшли статті, які містили кілька прикладних методів дослідження. 29 статей було класифіковано за

темами та конструкціями, узгодженими з дослідницькими питаннями статті: дослідження дослідницької літератури з ЦЕ у виробничому секторі та вивчення зв'язку між ЦЕ та сталим розвитком у компаніях. Це був двоетапний процес, під час якого статті спочатку аналізувалися за заздалегідь визначеними темами (частина А таблиці 1.2). Попередньо визначені теми були обрані на основі визначення ЦЕ, наданого в [90]. Потреба в частині В виникла під час першої частини аналізу, коли стало очевидно, що деякі теми є більш помітними, ніж інші. Щоб отримати повну картину діяльності компаній, пов'язаної з ЦЕ, аналіз було розширено до частини В (Таблиця 1.2).

Таблиця 1.2

Опис аналізу тематичної літератури щодо ЦЕ

Тематичний аналіз частина А (заздалегідь визначені теми)			
Відноситься до RQ	Тема	Ключові слова	Зміст
RQ1	Замикання петлі	Споживання ресурсів, кінець життєвого циклу, замкнутий цикл, R, ієрархія відходів	Які зусилля спрямовані на обіг матеріалів, енергії, відходів у прикладі? Які частини ієрархії відходів знаходяться в центрі уваги?
RQ1	Використання/користувач	Використання, користувач, споживач, клієнт, споживання	Як розглядається етап використання продуктів і поведінка користувача/споживача?
RQ1+2	Вимірювання	Міра, вимірювання, показник(и)	Чи розглядається прогрес у напрямку ЦЕ? Якісні/кількісні Чи використовуються/пропонуються показники?
RQ1+2	Стійкість	Екологічний, соціальний, економічний, стійкість, сталий, сталий розвиток	Який зв'язок (чітко виражений/неявний/невражений) зі сталим розвитком? Чи розглядається соціальна, екологічна та економічна стійкість?
Тематичний аналіз, частина В (теми, що повторюються)			
RQ1	CBM	Кругові бізнес-моделі (CBM), стійкі бізнес-	Чи пропонуються нові бізнес-моделі?

		моделі, бізнес-моделі, стратегія	Який тип (типи) СВМ пропонується?
RQ1	Співпраця	Ланцюг створення вартості, зацікавлені сторони, спілкування, співпраця	Чи звертаються до зацікавлених сторін? Як обговорюється ланцюг створення вартості/постачальники? Чи адресовано комунікацію?
RQ1	Бар'єри	Перешкоди, драйвери, критерії успіху	Що таке бар'єри для ЦЕ? Як можна класифікувати бар'єри? Як можна подолати бар'єри? Що таке драйвери?

Щоб проілюструвати зростання літератури з часом, статті були класифіковані на основі року публікації (рис. 1.1). Було зазначено, що всі статті були опубліковані після 2016 року. Крім того, більше 70% були опубліковані після 2020 року. Це відповідало зростанню популярності концепції (рис. 1.1), а також із загальним збільшенням опублікованої літератури.

На рис. 1.2 показано, що найбільша кількість статей про ЦЕ була в *Journal of Cleaner Production* (перша стаття, опублікована в 2016 р.), на другому місці – *Sustainability, Resources, Conservation, and Recycling* і *Procedia CIRP* також містили значну кількість статей. Крім того, рисунок ілюструє діапазон журналів, які публікують інформацію про ЦЕ у виробництві («інші» на рисунку). Усі журнали, які надали 1 або 2 статті для огляду, були віднесені до «інших».

Розповсюдження в журналах показало досить широке поширення. Це відповідало [92], а саме: ЦЕ – це широке поняття, яке залучає вчених з різних дисциплін, а також інших учасників і групи інтересів.

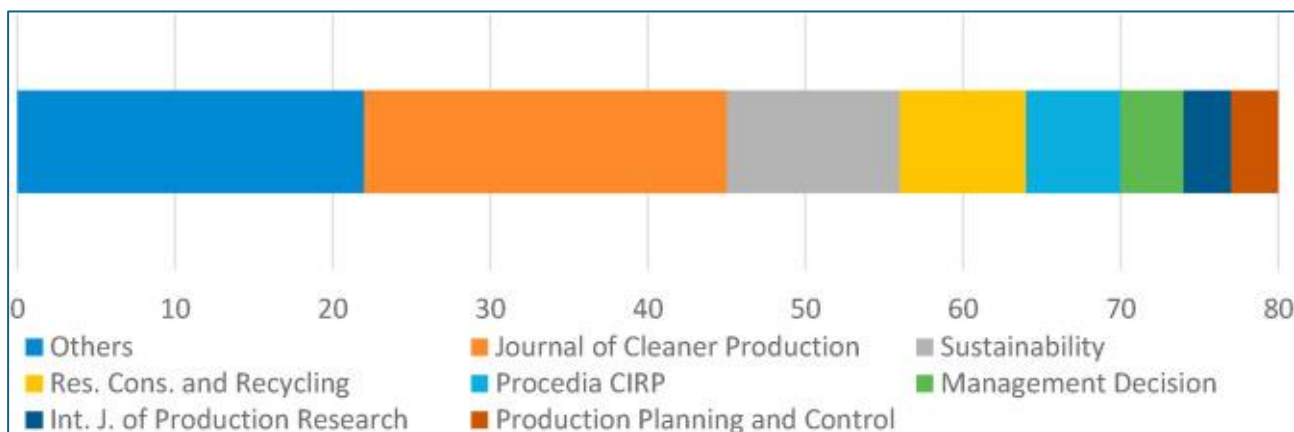


Рис. 1.2. Розподіл рецензованої літератури між науковими журналами (власна розробка)

Таким же широким був спектр методів дослідження. На рис. 1.3 представлені статті, класифіковані за методом дослідження; аналіз виявив п'ять основних категорій: тематичні дослідження, огляди літератури, опитування (на основі анкет та інтерв'ю), оцінка кількісних даних (варіанти оцінки вторинних даних) і дизайн концепції. Крім того, у деяких статтях використовувалося поєднання методів дослідження. Домінуючим методом дослідження було тематичне дослідження, що вказує на те, що база емпіричної літератури зросла після публікації огляду Лідера та Рашида [97]. Огляд літератури був другим за частотою використання методом дослідження. Можливо, це як відповідь, так і наслідок відсутності єдиного розуміння концепції ЦЕ. Як опитування, так і кількісна оцінка даних виявилися загальноприйнятими методами дослідження ЦЕ. Ці категорії включали статті, які представляли дослідження на основі збору даних (від великих галузевих опитувань до інтерв'ю з представниками кількох виробничих компаній). Значна частка літератури складалася зі статей, заснованих на запропонованій концепції/рамковому дизайні.

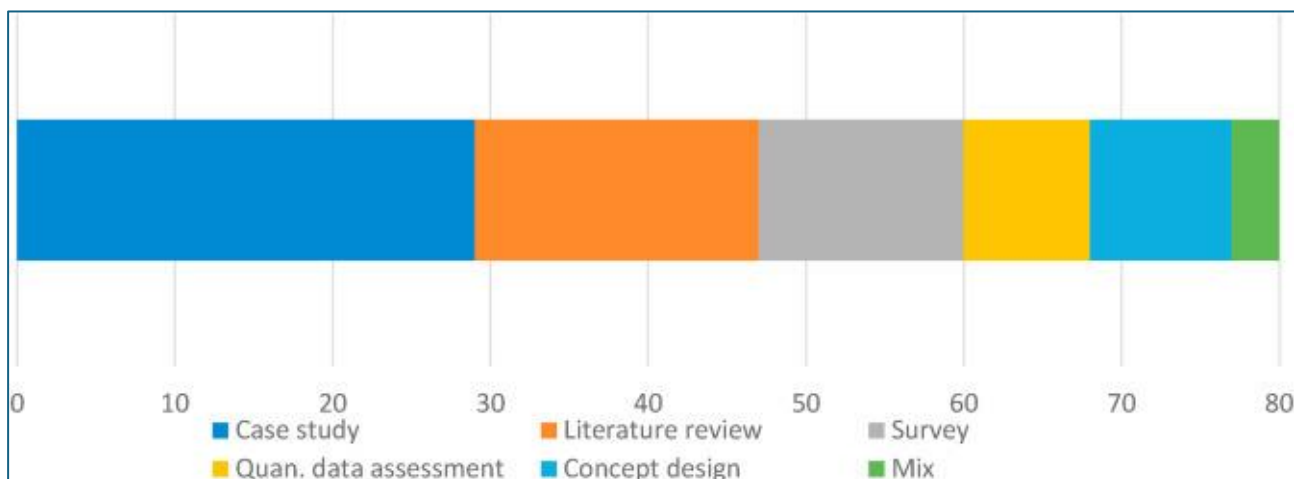


Рис. 1.3. Класифікація розглянутої літератури на основі методології дослідження (власна розробка)

Огляди літератури охоплювали низку тем, у тому числі ЦЕ та споживання, CBM, системи обслуговування продуктів (PSS), управління ланцюгом поставок, індикатори, малі та середні підприємства (МСП) та рушійні сили та бар'єри. Також були розглянуті перехід та історія циркулярної економіки, зв'язок між промисловою екологією та ЦЕ та впровадження ЦЕ [104].

Література з опитуваннями варіювалася від розгляду практик ЦЕ у МСП, рушійних сил та перешкод, ставлення, усвідомлення та обізнаності про ЦЕ, інноваційні можливості та ЦЕ, готовність до ЦЕ, ВМ для сталого споживання в ЦЕ та управління ланцюгом поставок. Для статей, у яких виконувалася кількісна оцінка даних, темами були рушійні сили та бар'єри, сервітизація, підходи та практики ЦЕ і циклічне виробництво.

У літературі з концептуального дизайну згадуються теми індексування, оцінки ефективності та точки зору користувача. У деяких статтях застосовувався концептуальний дизайн для стратегій підтримки ЦЕ, таких як керування продуктом, рамки трансформації ЦЕ та інструменти інновацій. Деякі статті використовували комбінацію методів (або жодних).

Для тематичного аналізу було відібрано 29 статей на основі кейсів. Двадцять із них базувалися на кількох тематичних дослідженнях, у яких дані збиралися від двох або більше компаній; решта дев'ять були окремими прикладами. Тринадцять

статей пропонували структуру або підхід до реалізації ЦЕ. Усі статті цієї категорії були опубліковані після 2016 року. Тематична частина аналізу була виконана, як описано в таблиці 1.2, на основі двох ітерацій (частини А і В). Таблиця А1 додатку А ілюструє, як різні ключові слова ЦЕ були розподілені в літературі з тематичних досліджень. Для кожного ключового слова було надано оцінку: 1 (відсутній/слабкий зв'язок), 2 (згаданий, але не основний аспект) або 3 (основний аспект, сильний зв'язок).

Щодо наукових зацікавлень ЦЕ українських вчених, то на рис. 1.4 можна побачити, що науковий інтерес до ЦЕ в українських вчених з'явився після 2017 року і поступово зростає до 2024 року. Аналіз рис. 1.4 показує більше 20 публікацій про ЦЕ українських вчених (афілійованих в українських наукових установах чи ЗВО) в опублікованій рецензованій літературі Scopus, починаючи з 2021 року та більше 35 в 2024 році. Таким чином, можна констатувати незначний та недостатній інтерес з боку української наукової спільноти до питань розвитку циркулярної економіки в Україні.

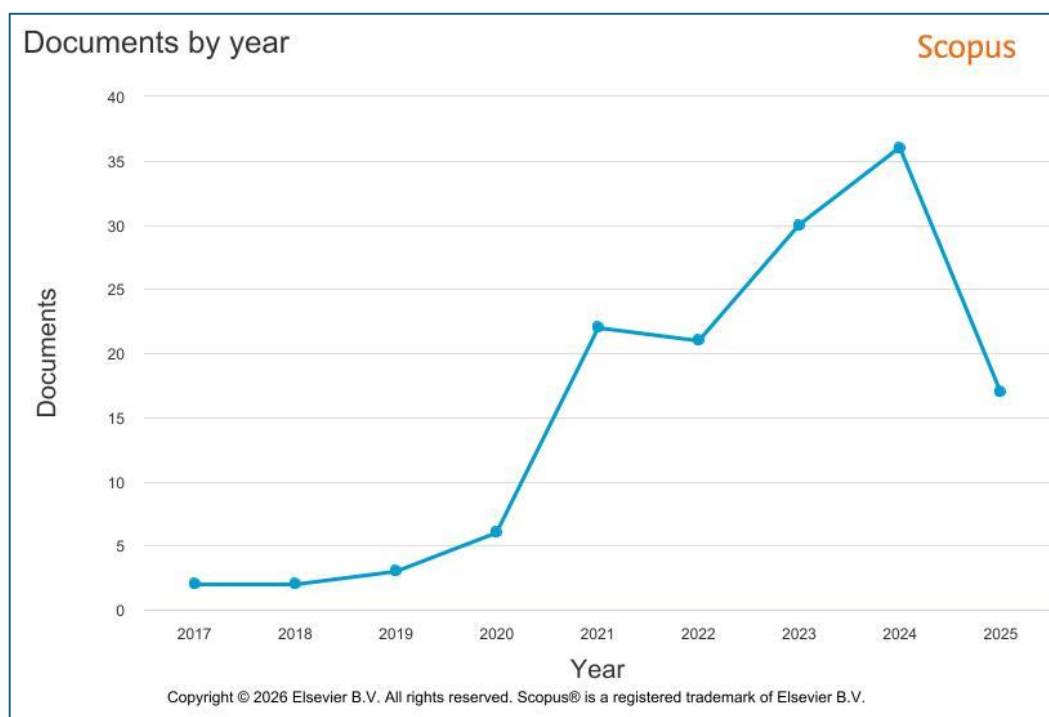


Рис. 1.4. Кількість публікацій про ЦЕ українських вчених у Scopus (власна розробка)

Якщо проаналізувати статистику Google Trends щодо пошукових запитів в інтернеті «циркулярна економіка», «сталий розвиток», «переробка відходів» українською мовою за останні 5 років, то можна спостерігати (рис. 1.5) в рази меншу зацікавленість термінами «циркулярна економіка» та «переробка відходів» у порівнянні з терміном «сталий розвиток». Причому звернення до терміну ЦЕ було близьким до нуля. Тому можна констатувати факт низької зацікавленості широкої аудиторії інтернет-користувачів в українському середовищі до концепції ЦЕ.

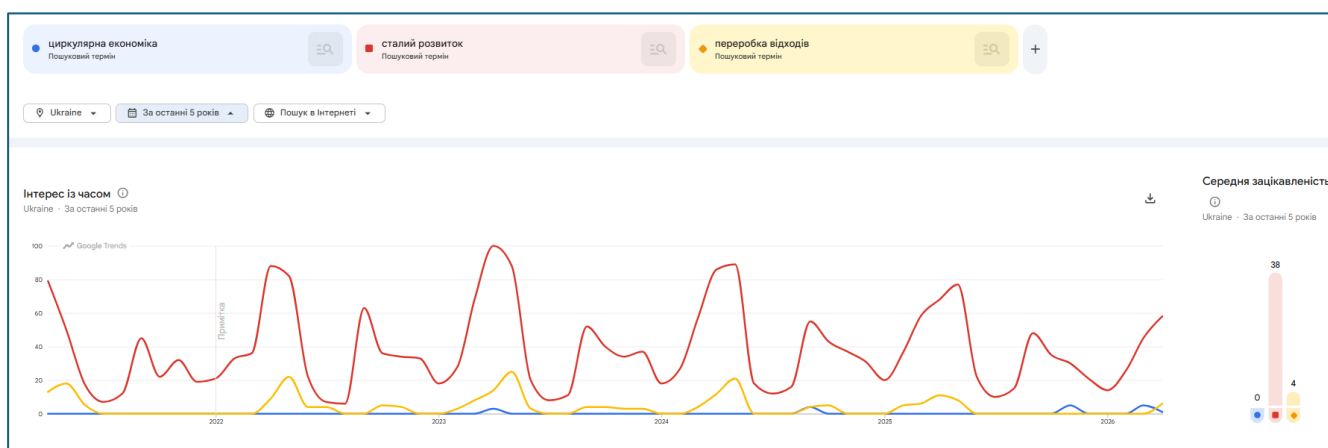


Рис. 1.5. Кількість пошукових запитів «циркулярна економіка», «сталий розвиток», «переробка відходів» в Google Trends (власна розробка)

Отже, дослідження наукової літератури про те, як концепція ЦЕ реалізується в практиці, мало на меті отримати уявлення про стан емпіричних досліджень на цю тему. Кількість опублікованої літератури з ЦЕ почала зростати в 2016 році з різким зростанням у 2020 році. Зі статей, відібраних для цього огляду, вимальовується картина, яка дещо відрізняється від тієї, яку представлено в [97]. Незважаючи на те, що літератури про впровадження ЦЕ у виробництві все ще мало, останні дослідження надали більше прикладів конкретних випадків. Тематичні дослідження розкривають стратегії звуження петель, їх замикання шляхом переробки після споживання та уповільнення. З табл. А1 додатку А випливає, що на даний час більше літератури зосереджено на вищих частинах ієрархії відходів. Перехід до коротких кіл [90] вимагає переходу від поступових покращень до більш радикальних рішень або системних змін і потребує стимулів з боку зацікавлених

сторін і політиків. Незважаючи на те, що кілька авторів надали основи та рекомендації щодо уповільнення циклів, багато прикладів розглядали лише обмежену кількість компаній, а проблеми, окреслені авторами, численні. Існує ще багато перешкод, які перешкоджають зусиллям виробничих компаній переходити до більш коротких петель. Бар'єрів, задокументованих у літературі, здається багато, і, крім того, вони залежать від контексту та ВМ. Тому в літературі немає жодних узагальнених висновків щодо успішного впровадження ЦЕ. Результати тематичних досліджень висвітлили СВМ як багатообіцяючий засіб для переходу до ЦЕ, але також показали, що зміни в ВМ потребують часу та зусиль. Замість «вмикання», це поетапний безперервний процес.

Компанії впливають не лише на виробництво, але й на весь життєвий цикл продукту, включаючи використання та закінчення терміну служби, керуючи дизайном і розробкою продукту. Дійсно, компанії потенційно можуть зробити найбільш значний внесок у сталість, впливаючи на стадію використання продуктів. Користувачі впливають і зазнають впливу зусиль компаній-виробників запровадити більш циклічні практики. Однак занепокоєння з приводу того, чи користувачі сприймуть повторно використані та відремонтовані продукти, стримує готовність компаній ризикувати та впроваджувати інновації для ЦЕ. Управління цією напругою є критерієм успіху для виробничих компаній, які прагнуть до ЦЕ. Роль компаній як частини більшої системи також є постійною темою. Автори визнають, що ЦЕ не має одного продукту або одного актора як відправної точки; скоріше це системна концепція, що ґрунтується на принципі збереження ресурсів. Це означає, що впровадження ЦЕ у компаніях не може здійснюватися в одному відділі чи навіть на одному підприємстві. Це вимагає внеску та відданості всієї організації та свідомого управління зацікавленими сторонами.

Другим дослідницьким питанням було вивчення зв'язку між ЦЕ та сталим розвитком. ЦЕ пропонується як шлях до прогресу до сталого розвитку [131]. За визначенням [90], усі ініціативи ЦЕ мають бути пов'язані зі сталим розвитком. Цей огляд показує, що зв'язок між ЦЕ та сталим розвитком не можна сприймати як належне. ЦЕ стала основою для оцінки стійкості та багато компаній прагнуть

запровадити ЦЕ для позитивного внеску в економічну, соціальну та екологічну стійкість. Незважаючи на те, що стійкість вводиться в багатьох статтях як ціль і причина впровадження ЦЕ, більшість авторів не включають три виміри сталості у свої дослідження. Автори, посилаючись на стійкість, найчастіше мають на увазі лише екологічний вимір. Це означає, що впровадження ЦЕ у виробництво також зосереджено лише на екологічному вимірі, що свідчить про розрив у прагненні до економічної, соціальної та екологічної стійкості. Особливо це стосується соціальної стабільності, про яку в літературі рідко йдеться. Отже, сприяння конкретним діям на рівні компанії, водночас забезпечуючи зв'язок зі сталим розвитком, не можна вважати простим завданням.

Таким чином, проведено огляд емпіричної літератури з ЦЕ у виробництві та розглянуто дослідницьку співпрацю, яка відбувається між промисловцями та науковцями для сприяння ЦЕ. В [97] виявлено, що більшість опублікованої літератури до 2015 року була концептуальною; це оглядове дослідження показує, що література, заснована на тематичних дослідженнях, зростає. Усі розглянуті тематичні дослідження починаються після 2016 року, показуючи, що є прогрес у більш емпіричних дослідженнях компаній, пов'язаних із впровадженням ЦЕ.

Посилена увага до CBM показує, що компанії вимагають підтримки в управлінні напруженістю, зменшенні бар'єрів і реалізації потенційних переваг переходу на ЦЕ. Якщо говорити точніше, можливу напруженість, яка може виникнути між постачальниками та виробниками, можна врегулювати шляхом впровадження CBM. Для виробників цілісна структура для впровадження ЦЕ може надати підтримку у виборі, орієнтації та просуванні стратегій ЦЕ. Якщо говорити точніше, уявлення про різноманітні стратегії ЦЕ, починаючи від нижчих частин ієрархії відходів до вищих, можуть заохотити зусилля в нових сферах. Це може підштовхнути зусилля вище в ієрархії відходів. Двоступенева основа з виробниками як координатором екосистеми, також може бути плідним шляхом для переходу до ЦЕ, водночас керуючи потенційною напругою між зацікавленими сторонами. Цей огляд показує слабкий зв'язок між ЦЕ та сталим розвитком у більшості досліджень. Особливо це стосується соціального виміру стійкості.

Поширеність вузьких підходів до сталого розвитку у виробництві призводить до ризику того, що спроби впровадження ЦЕ не зможуть забезпечити рішення, які є корисними в соціальному, екологічному та економічному аспектах. Варто уникати впровадження рішень, які оформлені як кругові, але які нехтують компонентом стійкості.

Таким чином, проведений аналіз сутності поняття ЦЕ засвідчив відсутність єдиного універсального визначення поняття «циркулярна економіка». Узагальнення понад півсотні трактувань дозволило виокремити домінуючі підходи до її розуміння: як моделі економічного розвитку, стратегії ресурсоефективності, системи управління матеріальними потоками, інструменту досягнення сталого розвитку та філософії раціонального споживання.

В даному дослідженні будемо послуговуватись визначенням ЦЕ, даним ЮНІДО [31]: «циркулярна економіка – це альтернатива традиційній лінійній економічній моделі, коли ресурси використовуються якомога довше, з них отримують максимальну цінність, а відходи повертаються з кінця ланцюга постачання на початок, даючи використаним матеріалам нове життя».

1.2. Практики переходу від лінійної до циркулярної економіки: досвід країн з різним рівнем розвитку

Концепція циркулярної економіки є протилежною домінуючій моделі лінійної економіки, яка базується на тому, що доступні ресурси є надлишковими для використання та виробництва товарів, та яких можна позбутися після їх використання [5]. Застосовуючи лінійну модель, світова економіка може втратити від 3 до 6 трильйонів доларів до 2030 року через дефіцит природних ресурсів, що призведе до перебоїв у постачанні та, таким чином, до зростання цін [94].

Дослідження також показують, що видобуток із визначених первинних матеріальних ресурсів, тобто мінералів і металів, значно погіршує навколишнє середовище, а доступність зворотних джерел цих невідновлюваних ресурсів зменшується. Очікується, що до 2050 року майже 4 мільярди людей проживатимуть

у районах, які відчуватимуть дефіцит води [50]. У результаті фірми стикаються з проблемою переорієнтації своєї уваги на інновації, що ґрунтуються на технологічних досягненнях. Це передбачає розробку нових матеріалів, більш чисті виробничі процеси та постійну прихильність до створення та використання енергоефективних продуктів. Деякі приклади таких ініціатив в світі мають вже тривалу історію, як-от, Фабрика інноваційних матеріалів Unilever [142], комплексна програму DHL GoGreen Plus, а також їх ініціативи в галузі екологічного морського палива та електричних транспортних засобів [56].

Концепція сталого розвитку сформувала постійні відносини між академічними, діловими та урядовими сегментами на національному та міжнародному рівнях, насамперед завдяки соціально-екологічним ідеям. Вона намагається оцінити поточне використання та майбутній попит на природні ресурси та навколишнє середовище, таким чином зберігаючи постійність і збереження цих ресурсів у конкурентних сценаріях споживання.

Відповідно до Комісії Брундтланд ООН [147], сталість можна визначити як спосіб життя, за якого людина повинна задовольняти свої поточні потреби, одночасно забезпечуючи вимоги майбутніх поколінь. Визначення сталого розвитку, здебільшого, базуються на ідеї, що люди споживають лише те, що вони «виробляють» самі, не погіршуючи навколишнє середовище та не завдаючи шкоди майбутнім поколінням. Сталий розвиток і ЦЕ вирішують проблеми деградації навколишнього середовища та дефіциту ресурсів, таким чином забезпечуючи шлях до сталого розвитку.

ЦЕ, яку також часто визнають відновлюючою економікою за своєю природою, є концепцією, створеною в 70-х і набула поширення у 90-х роках. Одним із девізів, які найкраще представляють ЦЕ, є робити більше з меншими витратами [50]. Циркулярність може бути досягнута шляхом скорочення, повторного використання та циклів переробки, а також принципів і більш глибоких характеристик у циклах продуктів. Деякі експерти вважають ЦЕ моделлю, яка зменшує обмежені початкові запаси сировини та переробляє вироблені відходи [137]. З іншого боку, інші дослідження вважають ЦЕ індустріальною економікою,

яка залежить лише від потужності природних ресурсів [73]. Однак одне з найбільш прийнятних визначень ЦЕ, щоб продукти, компоненти та матеріали постійно підтримували найвищий рівень корисності та цінності, розрізняючи технічний і біологічний цикли.

ЦЕ є концептуально регенеративною і відтворює природу для покращення та оптимізації систем, через які вона активно працює. У цьому випадку не залишається залишків. Різні біологічні та технічні компоненти продукту мають нове призначення. Органічні поживні речовини нетоксичні і можуть бути закладені в компост, тоді як технічні поживні речовини (полімери, сплави та інші штучні матеріали) вибираються для повторного використання з оптимальними енерговитратами.

ЦЕ базується на 9 принципах (рис. 1.6):

I. Розумне використання та виробництво (висока циркулярність):

1. R0 Відмова (Refuse): Робити продукт непотрібним, відмовляючись від його використання (наприклад, не використовувати одноразову упаковку).

2. R1 Зменшення (Reduce): Зменшення споживання ресурсів та енергії при виробництві або використанні товару.

3. R2 Повторне використання (Reuse): Використання продукту, який не є відходом, за його прямим призначенням іншим споживачем.

II. Подовження терміну служби (середня циркулярність):

4. R3 Ремонт (Repair): Полагодити пошкоджений або несправний виріб, щоб продовжити його використання.

5. R4 Реставрація (Refurbish): Оновлення старого виробу, приведення його до робочого стану.

6. R5 Відновлення (Remanufacture): Використання деталей із вживаних виробів у нових виробках з аналогічною функцією.

7. R6 Перепризначення (Repurpose): Використання вживаних виробів або їх компонентів для інших цілей.

III. Корисне використання матеріалів (низька циркулярність):

8. R7 Переробка (Recycle): Переробка матеріалів для створення нових продуктів (нижчої або такої ж якості).

9. R8 Відновлення енергії (Recover): Спалювання матеріалів, що не підлягають переробці, для отримання енергії.



Рис. 1.6. Концепція 9R принципів ЦЕ

Значення концепції 9R дозволяє реалізувати ідеї екодизайну (тобто продукти розробляються так, щоб їх можна було легко відремонтувати або переробити), економічної вигоди (тобто зменшення витрат на сировину та зниження ризиків, пов'язаних із цінами на ресурси), екологічної стійкості (тобто зниження рівня забруднення та обсягів утворюваних відходів). Відтак концепція 9R є ключовим інструментом для переходу до сталого розвитку, що дозволяє утримувати цінність матеріалів у ланцюгу виробництва максимально довго. Ці принципи реалізуються на практиці шляхом вибору технологій і процесів, які забезпечують кращу продуктивність або використання відновлюваних ресурсів, а також створення умов для регенерації.

В наявній літературі [34] також стверджується, що ЦЕ сприяє розвитку стійкості в компаніях і споживачах, прискорює економічне зростання та мінімізує

відходи. Однією з критичних сучасних проблем нашого суспільства є циркулярність матеріалів. Це означає, що виснаження природних ресурсів, зростання запасів у використанні та кінець життєвого циклу матеріалів повинні розглядатися як індикатори ЦЕ. Методи аналізу матеріальних потоків можна використовувати для відстеження матеріальних ресурсів. Отже, модель ЦЕ зберігає продукти або матеріали в обігу як у технічному, так і в біологічному циклі, таким чином подовжуючи термін їх корисного використання та інтенсифікуючи їх повторне використання. ЦЕ має переваги в екологічній, соціальній та економічній сферах.

Завдяки моделі зростання до 2030 року міські відходи збільшаться більше, ніж на 75 відсотків, а промислові відходи – на 35 відсотків. Якщо зміниться культура людей і компаній, до 2030 року, в ЦЕ з'являться можливості для потенційного зростання вартістю близько 4,5 трильйонів доларів у всьому світі [50].

Компанії, які прагнуть до зростання, повинні бути обмежені замкнутим контуром ресурсів та енергії з мінімальними викидами. Ці рішення були підкріплені юридично та фінансово в таких регіонах і країнах, як Південна Корея, Великобританія, США, Китай і Європейський Союз [108].

Першою країною, яка запровадила чіткий закон про ЦЕ, був Китай у 2008 році, включаючи плани дій для певних секторів, засновані на скороченні, переробці та повторному використанні у виробничих процесах [108]. Впровадження заходів ЦЕ в країнах-членах ЄС було нерівномірним. Деякі країни, такі як Німеччина та Нідерланди, першими прийняли заходи ЦЕ. Німеччина запровадила подвійну систему збору відходів і закони про закриття циклу обробки матеріалів наприкінці 1990-х років, тоді як заходи ЦЕ явно надійшли до нідерландських підприємств у 2013 році [133]. І навіть, якщо деякі держави-члени лише нещодавно визначили свою циклічну стратегію, як-от Румунія та Болгарія, інші, як-от Бельгія та Данія, уже оновили свою початкову політику ЄС [36].

ЄС виявив значний інтерес до поступового впровадження цієї системи. ЦЕ була визначена Європейською комісією в 2014 році як стратегія розвитку, яка забезпечує економічне зростання шляхом оптимізації споживання ресурсів. Це досягалося шляхом комплексної трансформації виробничого ланцюга та моделей

споживання шляхом перепроєктування промислових систем на системному рівні [128]. У 2015 році Європейська комісія представила повідомлення, в якому пропонується план дій, спрямований на формулювання переходу ЄС до моделі ЦЕ. У цьому першому Плані дій із економіки замкнутого циклу було викладено численні стратегії для вирішення різноманітних проблем, зокрема дефіциту ресурсів, нестабільності цін і створення нових можливостей для бізнесу. Цей документ чітко визнавав, що ЦЕ має потенціал для підвищення конкурентоспроможності, зайнятості та економічного зростання в державах-членах. Це досягалося завдяки його ролі у зменшенні деградації навколишнього середовища, сприянні енергозбереженню, забезпеченні бізнесу підвищеною безпекою під час пошуку матеріалів та стимулюванні впровадження нових, більш ефективних та інноваційних форм виробництва [105].

У цьому документі Єврокомісія наголошувала, що успішний процес переходу потребує міждержавної співпраці між країнами, регіонами та містами [8]. Це чітке визнання є важливим, оскільки воно узгоджується з ідеєю, що циркулярна економіка працює на різних рівнях: макrorівні, який включає роль установ і урядів національного рівня; мезорівні, який обговорює ЦЕ на рівні регіону та індустріального парку; і мікрорівні, що включає дії підприємств, галузей і споживачів. Таким чином, щоб забезпечити добре сплановану та розроблену політику ЦЕ у середньостроковій та довгостроковій перспективі, важливо враховувати взаємодію між цими трьома рівнями та об'єднати підходи «знизу вгору» та «зверху вниз» [133].

Останнім кроком Європейської Комісії на шляху до циркулярної економіки було прийняття нового Плану дій циркулярної економіки у 2020 році [115]. Основною метою плану було встановлення сталого споживання як норми в ЄС і розширення можливостей споживачів. Щоб досягти цього, План дій зосереджується на посиленні циркулярності на етапах проектування та виробництва. План включає конкретне посилення на циркулярність у виробничих процесах і ланцюжках створення вартості, встановлюючи прямий зв'язок зі стратегією МСП для сталої та цифрової Європи, яка спрямована на сприяння

циркулярній промисловій співпраці між МСП. Це також є необхідною умовою для досягнення мети ЄС щодо кліматичної нейтральності до 2050 року та зупинення втрати біорізноманіття.

З аналізу впровадження ініціатив ЦЕ в країнах ЄС видно їх неоднорідну поширеність, що переважно пояснюється регіональною неоднорідністю ЄС. Наприклад, регіональні відмінності в рівнях людського капіталу можуть допомогти пояснити поширеність циркулярних бізнес-моделей. Також варто виокремити національні фактори, які впливають на прийняття цих ініціатив, включно з екологічною фінансовою політикою.

З іншого боку, прийняття принципів циркулярної економіки компаніями відбувається не ізольовано, а в певному контексті, який може сприяти або перешкоджати процесу переходу до ЦЕ. У Європі, на відміну від Китаю, більшість цих ініціатив співпраці виникають знизу вгору. Тим не менше, деякі європейські регіони, такі як Тоскана та Емілія-Романья в Італії [82], а також Кастилія-Ла-Манча та Країна Басків в Іспанії [36], прийняли спеціальні правила для заохочення реалізації та розвитку цих ініціатив.

Наприклад, в [50] виявили, що італійські компанії, розташовані в регіонах із сильнішими політичними зобов'язаннями щодо покращення розділеного збору відходів, більш схильні впроваджувати інновації, пов'язані з відходами. Навпаки, дослідження в іспанському регіоні Арагон виявило [36], що регіональне законодавство заважає компаніям здійснювати внутрішню переробку відходів власними силами. Це тому, що ці правила сприяють передачі цієї діяльності акредитованим і спеціалізованим фірмам.

У будь-якому випадку, регіони вбудовані в специфічні національні інституційні структури, які можуть певною мірою обумовлювати регіональні рішення шляхом примусового та регуляторного тиску, спрямованого на заохочення прийняття ініціатив і заходів для ефективного впровадження ЦЕ. Таким чином, вивчення стійких переходів має прийняти багаторівневу та багатомасштабну перспективу, яка чітко враховує різноманітність процесів переходу, що є

результатом нормальної неоднорідності в інституційних умовах, мережах, стратегіях акторів та ресурсах у всьому просторі.

Крім того, окрім примусового та регуляторного тиску, на впровадження циркулярної економіки в регіонах також може впливати міметичний тиск. Ці тиски стосуються наслідування зразків, прийнятих сусідніми регіонами. У цьому сенсі просторову залежність між європейськими регіонами виявлено в [77] у дослідженні взаємозв'язку між управлінням міськими відходами, економічним зростанням та інтенсивністю науково-дослідних робіт.

Тим часом було виявлено, що країни ЄС, розташовані на півдні Європи, мають нижчий рівень циркулярності порівняно з країнами на півночі [87]. Таким чином, рішення прийняти модель ЦЕ може відрізнятись залежно від обставин і вимог кожного регіону та країни. Через це будь-яке дослідження розвитку стратегій ЦЕ, яке ігнорує цей факт, може призвести до неточних висновків і упереджень, особливо якщо ці оцінки проводяться на вищих ієрархічних рівнях і нехтують різними ситуаціями, які можуть виникнути на нижчих територіальних рівнях.

Таким чином, обидва контексти, регіональний і національний, мають рушії та бар'єри, які впливають на розширення бізнес-моделей ЦЕ на території, але що регіон робить це з більшою інтенсивністю через ефект близькості та краще знання потреб бізнесу та громадян. Подібним чином між сусідніми регіонами може існувати міметичний тиск, який спонукає їхні компанії до імітації циклічних моделей поведінки.

Варто також відмітити вплив відмінностей між розвиненими країнами та країнами, що розвиваються, при переході до ЦЕ. В [132] досліджено, як диверсифікація експортної продукції, великі та інтенсивні маржі впливають на викиди CO₂ як у розвинутих економіках, так і в країнах, що розвиваються. Автори виявили, що в країнах з розвиненою економікою диверсифікація продукції та інтенсивна маржа справляють помітний негативний вплив на викиди CO₂. Крім того, показники диверсифікації експорту суттєво зменшують викиди CO₂ у 63 розвинених країнах і країнах, що розвиваються. Негативні наслідки диверсифікації

продукції свідчать про те, що економічна складність може слугувати механізмом скорочення викидів.

В іншому дослідженні [82], яке порівнює контекстуальні дані між економіками, що розвиваються (Бразилія), і розвиненими (Італія), досліджено поточну політику, стратегії та ініціативи, пов'язані з переходом до ЦЕ. Їхні висновки показують, що Італія демонструє проактивну поведінку, вищий рівень інституціоналізації та примусовий ізоморфізм, пов'язаний з європейськими правилами та стратегіями. Навпаки, Бразилія демонструє реактивну поведінку, нижчий рівень інституціоналізації та керується міметичним ізоморфізмом. Незважаючи на помітний прогрес за останні роки, перехід Бразилії до ЦЕ все ще знаходиться на ранніх стадіях порівняно з Італією. Італія, як член ЄС, дотримується стандартизованої практики ЦЕ. Навпаки, Бразилія приймає стратегії ЦЕ, дотримуючись найкращих практик, в тому числі, європейських країн. Це означає, що механізми примусу, прикладом яких є європейські вимоги, що впливають на політику ЦЕ для бразильського експорту, можуть полегшити перехід Бразилії до ЦЕ [70].

Емпіричне дослідження [84] також показало, що: «Протягом років концепції циркулярної економіки приділялося відносно мало уваги в багатьох країнах з низьким і середнім рівнем доходу». Поширене безгосподарство часто спостерігається в багатьох країнах, що розвиваються, що підкреслює нагальну необхідність вирішення проблем у цих регіонах за допомогою комплексних підходів та інтегрованих оцінок для досягнення ефективних рішень. Багато країн, що розвиваються, стикаються з відкритим сміттєзвалищем у нетрях у поєднанні з проблемами високої щільності населення та бідності [84]. Просування моделей ЦЕ у країнах, що розвиваються, дає потрібну перевагу. По-перше, ЦЕ може підвищити продуктивність і стимулювати економічне зростання. По-друге, ЦЕ обіцяє покращити як якість, так і кількість зайнятості. Нарешті, ЦЕ може сприяти порятунку життів шляхом пом'якшення впливу на навколишнє середовище, такого як забруднення повітря та води, а також вирішення проблеми зміни клімату. Очікується, що протягом тривалого періоду зміна перехідного періоду ЦЕ, що

віддає перевагу таким практикам, як повторне використання, спільне використання, тривале використання та переробка, зменшить потребу в первинному видобутку матеріалу.

В [113] визначають способи утилізації та кінцеве призначення для основних твердих відходів, які утворюються компаніями. У Латинській Америці проблеми з управлінням і переробкою муніципальних відходів пов'язані з низькими показниками переробки, відсутністю ринків перероблених матеріалів, великими обсягами необроблених відходів на звалищах, високим рівнем неформального сортування та переробки, а також зростаючою тенденцією утворення відходів на душу населення внаслідок зміни моделей споживання [131]. Досі займаючись цією проблемою, деякі компанії інвестують у технології та працівників, щоб мінімізувати екологічні зобов'язання, які вони створюють, дозволяючи відходам циркулювати у виробничому ланцюжку та використовуватися іншими компаніями [28]. Ці методи роблять компанії більш конкурентоспроможними, інноваційними та ефективними та створюють цінність у залученні нових клієнтів.

Також наявні дослідження постійно показують, що компанії, особливо малі, стикаються з кількома перешкодами під час впровадження практик ЦЕ, що призводить до низького відсотка повторного використання матеріалів у ланцюгу створення вартості [11-12]. Цей аспект є особливо актуальним, коли розглядається масштаб цих компаній у країнах з економікою, що розвивається. За даними ООН [143] в 2024 році 90% бізнесу, від 60 до 70% зайнятості та 50% ВВП у всьому світі припадають на малі та середні підприємства (МСП). В Україні в 2022 році на МСП припадало 99,9% усіх підприємств бізнес-сектору, 81,6% від загальної зайнятості в бізнесі та 70,2% створеної доданої вартості [17].

У цьому контексті стійкі стратегії МСП можуть потенційно принести користь реалізації стратегії сталого розвитку та ЦЕ. Насправді МСП можуть зробити значний внесок у сталий розвиток суспільства шляхом поступового впровадження принципів сталого розвитку в практику.

Однак, незважаючи на їхній багатообіцяючий потенціал, МСП стикаються з низькою труднощів у впровадженні принципів ЦЕ. Основні проблеми пов'язані з

високими початковими витратами, терміном окупності інвестицій або високими витратами на досягнення ефективності використання ресурсів, браком інформації, включно з інформацією про оцінку вартості екологічних процедур, що може призвести до невизначеності та зашкодити конкурентоспроможності МСП; відсутність внутрішніх компетенцій; обмежений вплив МСП на залучення постачальників до сталої діяльності.

В Україні оцінка, отримана із Промислового діагностичного дослідження ЮНІДО, показала (рис. 1.7):

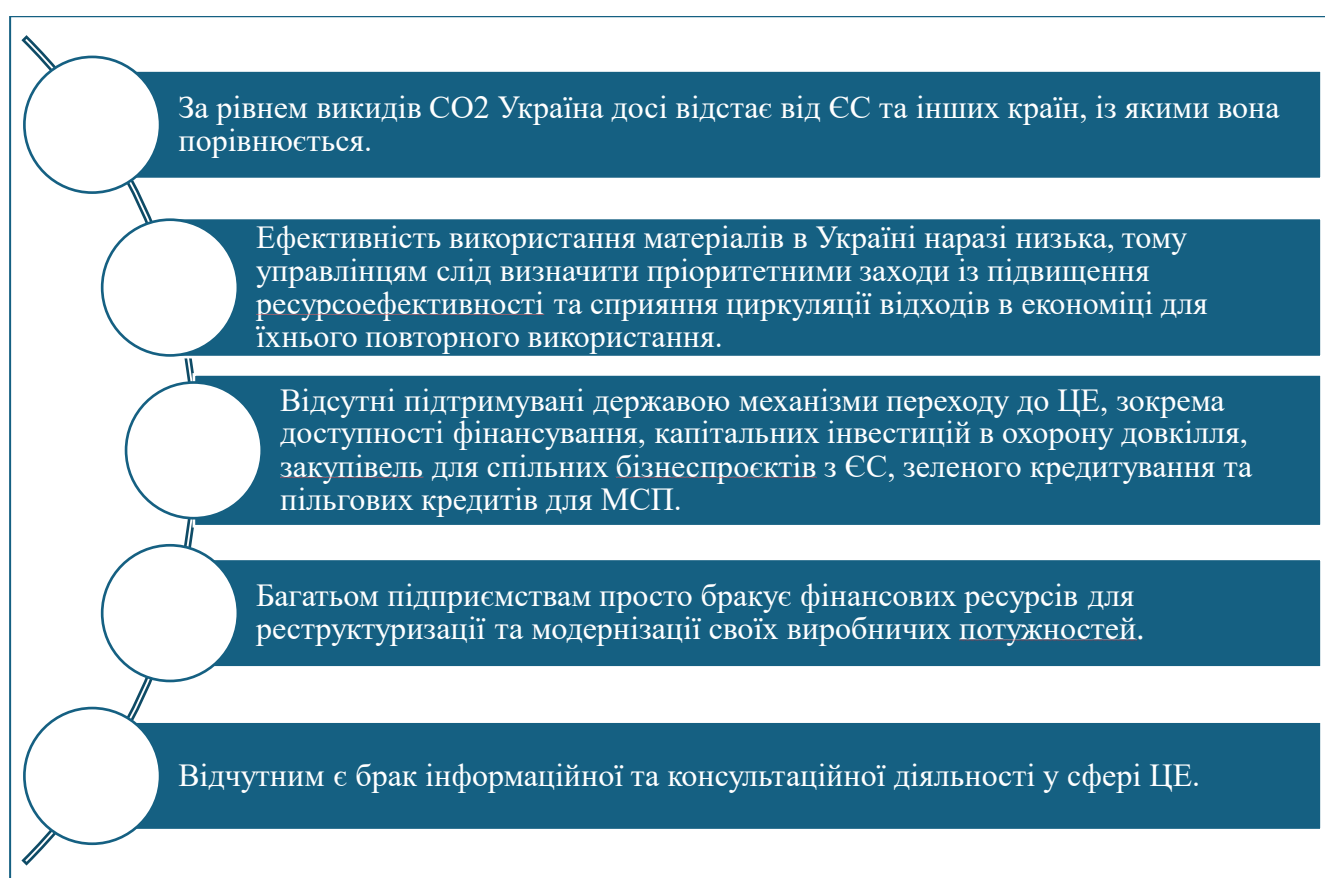


Рис. 1.7. Оцінка ЦЕ в Україні (на основі промислового діагностичного дослідження ЮНІДО) (розроблено на основі [31])

1. За рівнем викидів CO2 Україна досі відстає від ЄС та інших країн, із якими вона порівнюється.
2. Ефективність використання матеріалів в Україні наразі низька, тому управлінцям слід визначити пріоритетними заходи із підвищення

ресурсоефективності та сприяння циркуляції відходів в економіці для їхнього повторного використання.

3. Відсутні підтримувані державою механізми переходу до ЦЕ, зокрема доступності фінансування, капітальних інвестицій в охорону довкілля, закупівель для спільних бізнеспроектів з ЄС, зеленого кредитування та пільгових кредитів для МСП.

4. Багатьом підприємствам просто бракує фінансових ресурсів для реструктуризації та модернізації своїх виробничих потужностей.

5. Відчутним є брак інформаційної та консультаційної діяльності у сфері ЦЕ [31].

Перехід до ЦЕ в Україні, як зазначено в цьому ж звіті, «значною мірою залежить від наявності чинників, якими є практичні комбінації політичних ініціатив, бізнесу, технологій тощо» [31].

Незважаючи на труднощі переходу до ЦЕ, існують чотири характеристики, які можуть стимулювати перехід до ЦЕ (рис. 1.8):

1) Циклічний дизайн і виробництво продукту: це ключова характеристика, коли компаніям потрібно розробити циклічний дизайн, маючи бачення продукту, яке є реставраційним і регенеративним за своєю природою, таким чином маючи переробку та каскадне використання продуктів.

2) Нові бізнес-моделі: заміна права власності на оплату за результатами роботи є ключовою в зміні продуктів і проектів для повторного використання, і ці моделі створюють нові цінності для споживачів.

3) Зворотний цикл: компанія приділяє увагу від початку до кінця циклу, створюючи цикл продукту, який є легко доступним для всіх і здатний підтримувати якість матеріалів, щоб гарантувати їх каскадне використання в кількох сферах застосування, навіть до того, як вони повернуться в землю.

4) Сприятливі фактори та сприятливі системні умови: вони поділяються на освіту, що готує майбутніх фахівців до нової економічної парадигми; фінансування, уряди можуть створювати фінансові стимули; платформи для співпраці, ефективна співпраця між ланцюжками доданої вартості та секторами, таким чином обмін

інформацією та партнерство для нових продуктів; нову економічну структуру, яка є планом перерозподілу факторних витрат і адекватного ціноутворення основних зовнішніх ефектів.

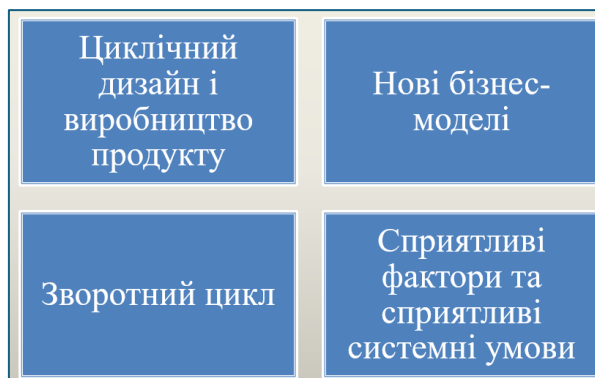


Рис. 1.8. Характеристики, які можуть стимулювати перехід до ЦЕ (власна розробка)

Тим не менше, у впровадженні ЦЕ в різних галузях все ще існують значні проблеми. Ці виклики охоплюють брак інструментів політики, наданих державними органами влади, обмеження у впровадженні технологічних інновацій та відсутність ефективної координації між зацікавленими сторонами. Наприклад, в [133] зосереджено увагу на викликах ЦЕ в індійському ланцюзі поставок харчових продуктів.

Розмір фірми також відіграє значну роль у впливі на ступінь впровадження практик ЦЕ. Зокрема, існує позитивна кореляція між розміром фірми та її залученістю принаймні до однієї категорії діяльності ЦЕ. В [36] на прикладі економіки Іспанії визначено критичні перешкоди для досягнення стійкості циркулярної системи, включаючи розмір компанії, недостатню підтримку громадськості та неадекватні інвестиції. Було встановлено, що ці фактори є суттєвими перешкодами для переходу до ЦЕ. Показано, що більші фірми більш схильні використовувати технології ЦЕ, ніж менші. Також зі збільшенням розміру фірми її показники сталого розвитку покращуються завдяки застосуванню практик ЦЕ.

Науковці також досліджували організаційні та фінансові виміри ЦЕ, наголошуючи на впливі фінансових ресурсів на її діяльність. Для досягнення цієї мети було проведено опитування, проведене у співпраці з Міністерством економіки Іспанії. Результати дослідження виявили фінансові перешкоди для переходу від лінійної до ЦЕ [36].

Література, що досліджує роль фінансування в сприянні переходу до економіки циклічного циклу, містить цінні та взаємопов'язані ідеї. Зокрема, самофінансування є більш потужним фасилітатором практик ЦЕ, ніж боргове фінансування. В [128] автори досліджували впровадження власного споживання в Європі, зосереджуючись на економічних і фінансових проблемах, які створюють для інвесторів невеликі системи відновлюваної енергії. Інше дослідження [105] показало потенційну роль фінансових інструментів у розвитку ЦЕ в рамках екологічного обліку в Іспанії. Воно включало детальний аналіз договорів оренди, що охоплювали 18 років, з метою отримати уявлення про те, як існуючі фінансові інструменти, такі як лізинг і оренда, можуть підтримати розширення ініціатив циркулярної економіки комерційними банками та фінансовими установами. Ці дослідження в сукупності підтверджують аргумент про те, що МСП стикаються з серйозними проблемами на шляху до прийняття ЦЕ.

Варто підкреслити важливість фінансових ресурсів і обмежень у впливі на зелені інновації та циркулярні патенти. Зокрема, дослідження взаємозв'язку між екологічними патентами та фінансово-економічними показниками виробничих компаній в Іспанії показало, що основні фінансові та економічні активи цих компаній у поєднанні з їхньою спільною залученістю до екологічних патентних досліджень і розробок призвели до широкого співробітництва між компаніями та науково-дослідними центрами [128]. Результатом цих спільних зусиль стало спільне володіння цими патентами, що підкреслює ефективність процесу.

Крім того, академічна спільнота висловлювала занепокоєння щодо невизначеності та складності, пов'язаної з оцінкою фактичної екологічної ефективності. Цю невизначеність пояснювали еволюцією нових екологічних

стандартів і нерівномірним поширенням екологічних інновацій і технологій у всьому світі. Дійсно, наразі доступні різні стандарти сталого розвитку.

Одним з таких стандартів є BS 8001:2017, розроблений Британським інститутом стандартів (BSI) і опублікований у 2017 році для визначення вказівок і рекомендацій щодо ЦЕ та сталого управління [46]. Стандарт надає вказівки для компаній, які переходять до ЦЕ та сталого бізнесу. З огляду на те, що компаніям доступні обмежені вказівки щодо того, як запроваджувати та оцінювати ЦЕ у бізнес-діяльності, стандарт визначає ЦЕ як «економіку, яка є відновлюючою та регенеративною за задумом і яка спрямована на те, щоб продукти, компоненти та матеріали завжди мали найвищу корисність і цінність, розрізняючи технічний і біологічний цикли» [46].

Стандарт спрямований на узгодження того, як досягти ЦЕ через бізнес-процедури. Він охоплює розширений перелік елементів ЦЕ, принципів і гнучкої структури для впровадження ЦЕ. Він також описує екологічні, економічні, політичні та фінансові аспекти, пов'язані з ЦЕ [115]. Згідно зі стандартом, шість основних вимірів (системне мислення, інновації, адміністрування, співпраця, оптимізація продукту в ланцюжку створення вартості та прозорість) та їх допоміжні конструкції можна вважати мінімальними вимогами, а не повним списком для реалізації ЦЕ. Вивчаючи конструкції, які складають розміри BS 8001:2017, можна помітити, що стандарт цілісно охоплює різні теорії, включаючи теорію систем, тобто вимір системного мислення; відкриті екологічні інновації, тобто вимір співпраці; перегляд на основі ресурсів і динамічні можливості, тобто інноваційні та адміністративні виміри.

Впровадження параметрів дає змогу мати більш стратегічне бачення, спостерігаючи за тим, як працює бізнес МСП, дозволяючи їм бути більш циклічними, стійкими та конкурентоспроможними на ринку. Така цілісна перспектива, представлена в рамках BS 8001:2017, може бути корисною для вирішення поточних практичних викликів переходу до ЦЕ.

В основному, деякі національні економіки поступово просунулися до циклічної практики. У Чилі, наприклад, у 2016 році було опубліковано

законодавство, яке встановлює розширену відповідальність виробників за негативний вплив, спричинений їх діяльністю, і стимулює людей і компанії до переробки. У Бразилії національна політика утилізації твердих відходів після двох десятиліть дискусій забезпечила основні принципи, уже згадані в міжнародних договорах, таких як видання Карти Землі у Глобальному порядку денному на 21 століття із принципами запобіжних заходів та мінімізації відходів [52]. Однак, незважаючи на зусилля, країнам, що розвиваються, ще належить подолати довгий шлях. Проблеми переходу не обмежуються тільки урядовими ініціативами, оскільки великі компанії також докладають зусиль, щоб відстежити цей шлях.

З іншого боку потенціал BS 8001:2017 є актуальним, оскільки, незважаючи на те, що промисловість поступово впроваджує практику ЦЕ, існує неузгодженість із передбачуваним поступовим закриттям матеріальних циклів, викладених у рамках ЦЕ [36]. Можливості застосування BS 8001:2017 можуть виникати в МСП по всьому ланцюгу створення вартості, навіть при використанні ресурсів для нових способів роботи [46].

Крім того, суть стандарту полягає в тому, щоб поєднати бачення ЦЕ зі стратегічним плануванням і забезпечити комплексну структуру для адаптації до різних рівнів зрілості [115]. BS 8001:2017 було розроблено на основі наявних концепцій і практик впровадження ЦЕ. Він був розроблений за підтримки експертів з ЦЕ та базується на досвіді та уроках, отриманих від низки компаній на шляху переходу до моделей ЦЕ. Не будучи нормативним елементом, стандарт призначений для того, щоб допомогти МСП прийняти та впровадити більш стійкі та циркулярні практики та змінити свої бізнес-моделі, що має велике значення для поточної та майбутньої конкурентоспроможності компанії. Стандарт також допомагає організаціям краще зрозуміти ЦЕ, показуючи питання щодо параметрів і способів їх впровадження, що здійснюється через рішення та діяльність [46].

Отже, впровадження стратегій циркулярної економіки останнім часом стало однією з важливих стратегій для сталого розвитку. Однак, незважаючи на багатообіцяючу роль і потенційні переваги ЦЕ для компаній і суспільства, досі не було проведено достатнього аналізу для вивчення проблем циклічного переходу, з

якими стикаються підприємства, а також розуміння чинників, які відіграють важливу роль у процесі переходу від лінійної до циркулярної економіки.

1.3. Методичні основи дослідження циркулярної економіки

Реалізація мети дисертаційної роботи полягає у розробці теоретико-методичних засад та практичних аспектів аналізу та перспектив розвитку циркулярної економіки України. Для цього в роботі окрему увагу приділено дослідженню методів - прийомів та способів пізнання, що включають загальнонаукові (аналіз, синтез, абстрагування, індукція/дедукція, системний підхід) та специфічні методи (математичне моделювання, статистичний аналіз, графічний та табличний метод). Вони використовуються для вивчення економічних законів, категорій та причинно-наслідкових зв'язків у функціонуванні економічних систем, зокрема, й аналізу та перспектив розвитку циркулярної економіки.

Найчастіше застосовуються загальнонаукові методи теоретичного рівня дослідження [1,25]:

- **Аналіз та синтез.** Розкладання цілого на окремі ознаки (аналіз) для їх детального вивчення та подальше об'єднання в цілісну структуру (синтез) для розуміння його повної сутності.
- **Індукція та дедукція.** Це вивчення від окремих фактів до загальних принципів (індукція) або рух думки від загальних теоретичних положень до конкретних висновків (дедукція).
- **Порівняння (компаративний аналіз).** Встановлення паралелей з іншими явищами та процесами, виявлення спільних і відмінних рис для точнішого визначення меж досліджуваного об'єкту.
- **Абстрагування.** Виділення суттєвих ознак явищ та процесів при відволіканні від другорядних або випадкових властивостей.
- **Узагальнення та системний аналіз.** Розгляд економічного явища як цілісної системи з урахуванням взаємозв'язків між її елементами.

- **Історичний та логічний методи:** Вивчення того, як змінювалося трактування явищ та процесів з часом (історичний) та аналіз їх сучасної структури у певній послідовності (логічний).

- **Морфологічний аналіз:** Дослідження внутрішньої будови та форми явищ та процесів, що часто використовується для визначення їх структурних елементів.

- **Математичне моделювання:** Побудова ідеальної моделі явища чи процесу, що описує об'єкт дослідження, для виявлення внутрішніх закономірностей, прогнозів та прийняття управлінських рішень.

Цей перелік не є вичерпним, тому в кожній окремій дисертаційній роботі можуть використовуватись поєднання цих та інших методів в залежності від завдань такого дослідження.

Для комплексного дослідження фахівці рекомендують поєднувати ці методи, що дозволяє отримати об'єктивне та багатогранне розуміння об'єкта дослідження [25]. На рис. 1.9 відображено комплекс методів для реалізації завдань дослідження аналізу та перспектив розвитку циркулярної економіки.

Далі проаналізуємо сукупність методів, які використовуються для дослідження кожного завдання роботи більш детально.

Отже, аналіз сутності поняття циркулярна економіка проведено за допомогою дослідження кількості публікацій в Scopus та пошукових запитів в Google Trends. З цією метою використано **історичний метод** дослідження кількості публікацій в Scopus за 2000-2025 роки та пошукових запитів в Google Trends 2021-2025 роки.

Використання **системного підходу** до аналізу літератури з ЦЕ дозволило виокремити етапи дизайну статей; стратегії пошуку та ключові критерії для включення та виключення публікацій; збору даних і визначення відповідних ключових слів; сортування та виключення; остаточної класифікації публікацій. Далі використано **наративний і табличний методи** для синтезу літератури.

Наративний метод у дослідженні сутності ЦЕ дозволив встановити, що ЦЕ є широким поняттям, яке залучає вчених з різних дисциплін, а також інших учасників

і групи інтересів. Проаналізовані публікації з ЦЕ містили різні методи дослідження, зокрема, тематичні дослідження, огляди літератури, опитування (на основі анкет та інтерв'ю), оцінка кількісних даних (варіанти оцінки вторинних даних) і дизайн концепції, а також поєднання методів дослідження.

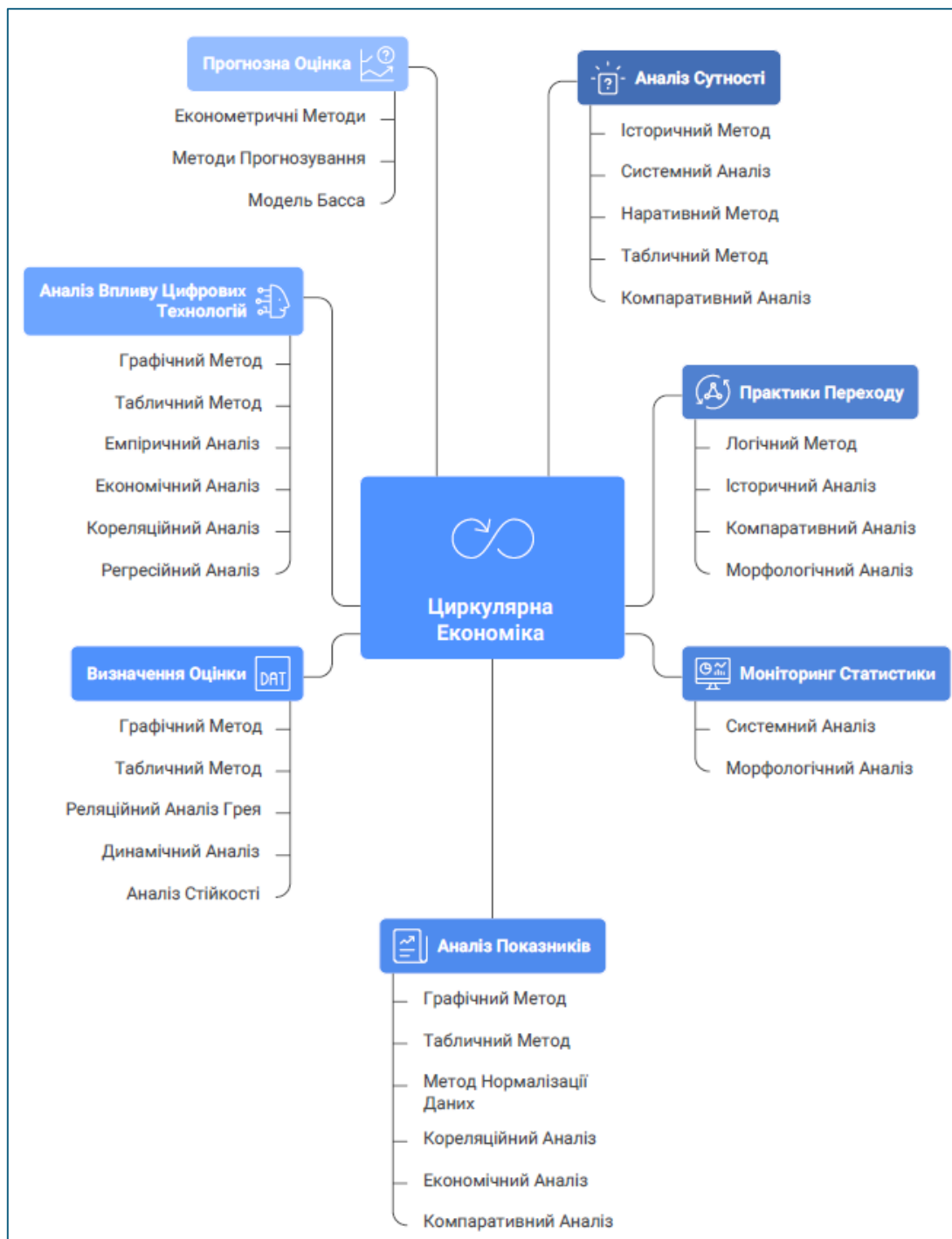


Рис. 1.9. Комплекс методів для реалізації завдань дослідження аналізу та перспектив розвитку циркулярної економіки (власна розробка)

Табличний метод використано для синтезу літератури. Він дав змогу структурувати тематичну літературу щодо ЦЕ за критеріями (табл. А1 додатку А): назва статті, автор, замикання петлі, вимірювання, СВМ, співпраця, бар'єри, використання/користувач, стійкість (економічний, соціальний, екологічно-ментальний). Далі на основі табличного методу було сформовано критерії включення/виключення, що використовувалися для перевірки публікацій щодо ЦЕ (табл. 1.1). Також табличний метод дав змогу описати аналіз тематичної літератури щодо ЦЕ (табл. 1.2). Це був двоетапний процес, під час якого статті спочатку аналізувалися за заздалегідь визначеними темами. Попередньо визначені теми були обрані на основі визначення ЦЕ, наданого в [90]. Потреба в частині В виникла під час першої частини аналізу, коли стало очевидно, що деякі теми є більш помітними, ніж інші. Щоб отримати повну картину діяльності компаній, пов'язаної з ЦЕ, аналіз було розширено до частини В.

Для порівняння сутності понять «циркулярна економіка» та «сталий розвиток» використано техніку **компаративного аналізу**, який дав змогу встановити, що впровадження ЦЕ у виробництво зосереджено лише на екологічному вимірі, що свідчить про розрив у прагненні до економічної, соціальної та екологічної стійкості. Більшість науковців схиляються до думки, що ЦЕ пропонується як шлях до прогресу до сталого розвитку, а зусилля ЦЕ мають включати системну перспективу (мікро-, мезо- та макро-) та сприяти екологічній, економічній та соціальній стійкості. Принципи ЦЕ можуть застосовуватися на різних системних рівнях: макро- (цілі системи виробництва та споживання), мезо- (сектор і тип бізнесу), мікро- (компанія) і нано- (продукт).

Таким чином, проведений аналіз сутності поняття ЦЕ засвідчив відсутність єдиного універсального визначення поняття «циркулярна економіка». Узагальнення понад півсотні трактувань дозволило виокремити домінуючі підходи до її розуміння: як моделі економічного розвитку, стратегії ресурсоефективності, системи управління матеріальними потоками, інструменту досягнення сталого розвитку та філософії раціонального споживання.

В даному дослідженні будемо послуговуватись визначенням ЦЕ, даним ЮНІДО [31]: «циркулярна економіка – це альтернатива традиційній лінійній економічній моделі, коли ресурси використовуються якомога довше, з них отримують максимальну цінність, а відходи повертаються з кінця ланцюга постачання на початок, даючи використаним матеріалам нове життя».

Концепція циркулярної економіки є протилежною домінуючій моделі лінійної економіки, яка базується на тому, що доступні ресурси є надлишковими для використання та виробництва товарів, та яких можна позбутися після їх використання. Впровадження стратегій циркулярної економіки останнім часом стало однією з важливих стратегій для сталого розвитку. Однак, незважаючи на багатообіцяючу роль і потенційні переваги ЦЕ для компаній і суспільства, досі не було проведено достатнього аналізу для вивчення проблем циклічного переходу, з якими стикаються підприємства, а також визначення чинників, які відіграють важливу роль у процесі переходу від лінійної до циркулярної економіки. З огляду на цей контекст і для подальшого покращення розуміння чинників, що перешкоджають/сприяють переходу від лінійної до циркулярної економіки, дослідження було спрямоване на аналіз впровадження ЦЕ в країнах, що розвиваються, та розвинених країнах. Отримані результати свідчать про те, що така оцінка може бути корисною, оскільки допоможе їм проаналізувати та переглянути свою практику, пов'язану зі звичайними лінійними бізнес-моделями. У сукупності отримані результати покращують розуміння рівня впровадження компонентів ЦЕ, найбільш і найменш прийнятих практик під час переходу до ЦЕ.

Використано **логічний метод** до формування принципів циркулярної економіки. Показано, що сучасна концепція 9R охоплює найповніший спектр інструментів подовження життєвого циклу продукції: від відмови від надмірного споживання та переосмислення дизайну продуктів до їх ремонту, оновлення, ремануфактурингу та енергетичного відновлення.

Проведено **історичний аналіз** практик переходу різних країн, як-от Китай, країни ЄС, Латинської Америки тощо. Зокрема, з **порівняльного аналізу** впровадження ініціатив ЦЕ в країнах ЄС встановлено їх неоднорідну поширеність,

що переважно пояснюється регіональною неоднорідністю ЄС. Також у Європі, на відміну від Китаю, більшість цих ініціатив співпраці виникають знизу вгору, тобто встановлено висхідний процес розвитку ЦЕ. **Компаративний аналіз** дав змогу встановити вплив відмінностей між розвиненими країнами та країнами, що розвиваються, при переході до ЦЕ. Просування моделей ЦЕ у країнах, що розвиваються, дає потрібну перевагу. По-перше, ЦЕ може підвищити продуктивність і стимулювати економічне зростання. По-друге, ЦЕ обіцяє покращити як якість, так і кількість зайнятості. Нарешті, ЦЕ може сприяти порятунку життів шляхом пом'якшення впливу на навколишнє середовище, такого як забруднення повітря та води, а також вирішення проблеми зміни клімату.

Перехід до ЦЕ значною мірою залежить від наявності чинників, як сприятливих, так і негативних. За допомогою **морфологічного аналізу** встановлено основні з них. Зокрема, наявні дослідження постійно показують, що компанії, особливо малі, стикаються з кількома чинниками-перешкодами під час впровадження практик ЦЕ, що призводить до низького відсотка повторного використання матеріалів у ланцюгу створення вартості. Цей аспект є особливо актуальним, коли розглядається масштаб цих компаній у країнах з економікою, що розвивається. Розмір фірми також відіграє значну роль у впливі на ступінь впровадження практик ЦЕ. Зокрема, існує позитивна кореляція між розміром фірми та її залученістю принаймні до однієї категорії діяльності ЦЕ. Науковці також досліджували організаційні та фінансові чинники ЦЕ, наголошуючи на впливі фінансових ресурсів на її розвиток. Крім того, встановлено певний рівень невизначеності та складності, пов'язаної з оцінкою фактичної екологічної ефективності ЦЕ. Цю невизначеність пояснювали еволюцією нових екологічних стандартів і нерівномірним поширенням екологічних інновацій і технологій у всьому світі.

Для детального аналізу чинників розвитку ЦЕ проведено дослідження статистичних індикаторів, за допомогою яких Євростат досліджує стан ЦЕ в країнах ЄС. Для моніторингу статистики даних стану циркулярної економіки в

країнах ЄС Євростат формує індикатори циркулярної економіки за наступними категоріями [14]:

1. Виробництво та споживання
2. Управління відходами
3. Вторинна сировина
4. Конкурентоспроможність та інновації
5. Глобальна стійкість та стабільність

Проведено **морфологічний аналіз** кожної з категорій за окремими статистичними показниками. Визначено методологію оцінки показників кожної з категорій та їх одиниці виміру.

На підставі проведеного порівняльного аналізу методів дослідження циркулярної економіки в науковій літературі встановлено, що існує не так багато досліджень, які б порівнювали країни, регіони чи мікроодиниці з циркулярними планами. У більшості робіт використовуються простіші методи обробки даних через характер дослідження, оскільки це переважно дані опитування думок і сприйняття ЦЕ. Європейська Комісія надає результати вимірювання конкретних показників, що представляють інтерес щодо ЦЕ [14]. Тому в даному дослідженні запропоновано використати ці показники для об'єктивного порівняння ефективності досягнення цілей ЦЕ в Україні. Такий підхід забезпечить насамперед співставність і порівняльність отриманих результатів для ЦЕ в Україні та країнах ЄС.

Отже, змінні були обрані на основі системи моніторингу циркулярної економіки Європейської комісії [14], яка базується на самозабезпеченні сировиною, зелених державних закупівлях, утворенні відходів, внеску перероблених матеріалів у попит на сировину та торгівлі сировиною, придатною для вторинної переробки, із загальними показниками переробки, приватними інвестиціями, робочими місцями та валовою доданою вартістю в секторах ЦЕ, з кількістю патентів, пов'язаних з управлінням та переробкою відходів.

Європейська комісія надає перелік із 23 індикаторів, класифікованих у вищезазначених п'ятьох категоріях. Основна ідея цього дослідження полягала в

тому, щоб включити максимально можливу кількість змінних, визначених ЄС, оскільки це дасть змогу провести порівняльну оцінку ефективності досягнення цілей ЦЕ в Україні та країнах-членах ЄС. Це з одного боку, підтвердить прагнення України бути членом Європейського Союзу і формувати єдину статистичну базу даних (в тому числі щодо ЦЕ), з іншого боку такий підхід забезпечить найкращу порівняльність.

Такий детальний підхід до підбору показників ЦЕ пов'язаний також з **порівняльним аналізом** попередніх досліджень, узагальнення використаних змінних в яких дало змогу прийти до сформованих вище висновків.

Крім того, використано метод нормалізації даних для того, щоб привести різні діапазони значень показників ЦЕ до єдиного масштабу. Дані нормалізуються за роками, враховуючи майбутній напрямок впливу кожного показника на інтегральну оцінку. Для цього використано формули для показників-стимуляторів та показників-дестимуляторів. Таким чином, можна усунути негативний вплив окремих показників (дестимуляторів) і нормалізовані дані показуватимуть, що, чим більше їх значення, тим кращі показники країни в категорії ЦЕ. Нормалізація здійснена таким чином, щоб ближче значення нормалізованого показника до 1 свідчило про його більший вклад у розвиток ЦЕ. Також позитивна зростаюча динаміка показника свідчить про підвищення розвитку ЦЕ.

Проведено **економічний аналіз**, який використано для оцінки стану ЦЕ, виявлення резервів підвищення ефективності та прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Він допомагає оцінити використання ресурсів, зменшити витрати, спрогнозувати результати та мінімізувати ризики, базуючись на даних обліку та звітності.

Окремо розраховано середні значення показників ЦЕ за період дослідження за кожним із показників. Для встановлення відмінностей у вкладі різних показників в розвиток ЦЕ в Україні та країнах ЄС **проведено кореляційний аналіз**, тобто розраховано коефіцієнт кореляції між середніми значеннями показників України та ЄС.

Однак це лише один рік аналізу показників ЦЕ, і завжди краще спостерігати за динамічними змінами. Крім того, окремі показники не дають розуміння загальної картини розвитку ЦЕ. Тому, виходячи з усієї множини методів дослідження ЦЕ, попередньо оцінених в п. 1.1, та обмеженості і неповноти статистичної інформації, зроблено висновок, що для такого аналізу варто використати **реляційний коефіцієнт Грея**. Теорія сірих систем розроблена ще у 80-х роках і відносно мало поширена у Європі та західних країнах [100]. Відносний коефіцієнт Грея є частиною реляційного аналізу Грея, тобто Grey Relational Analysis (GRA), методології, розробленої для використання в процесі прийняття рішень, коли дані є невизначеними, дефіцитними та/або неповними.

Здійснено порівняння нових послідовностей нормалізованих значень з референтною послідовністю. При визначенні референтної послідовності (або еталонного значення) запропоновано керуватись наступними міркуваннями:

- еталонні значення можуть бути визначені за середніми показниками по країні для того, щоб можна було спостерігати за компаніями та законодавчими стимулами чи обмеженнями;
- еталонні значення можуть бути визначені за середніми показниками по ЄС для того, щоб можна було визначити можливість України відповідати нормативам ЦЕ в ЄС;
- еталонні значення встановлюються рівними 1. Оскільки дані нормалізуються таким чином, що чим ближче значення до одиниці, тим краще, референтна послідовність, то значення рівне 1, відповідає максимально можливій величині для кожного критерію.

Таким чином, розрахунок коефіцієнта відношення Грея (GRC) здійснено за трьома альтернативними варіантами. На основі отриманих даних коефіцієнта відношення Грея обчислено реляційний ступінь Грея (*Grey Relational Degree, GRD*). Щоб підтвердити правильність розрахунків та порівняльну можливість GRD для України та ЄС, запропоновано провести додаткові розрахунки для окремих країн ЄС з одним з найбільших та найменших GRD, а також окремо за показниками ЦЕ.

Проведено **аналіз стійкості** отриманих результатів. Для цього використано два альтернативні підходи до обчислення коефіцієнта відношення Грея (GRC), коли еталонні значення можуть бути визначені за середніми показниками по ЄС; еталонні значення встановлюються рівними 1. Як і в попередньому випадку, тут також буде надано рівну вагу всім показникам. Критерієм стійкості отриманих результатів можна обрати кореляційне відношення між показниками, обчисленими за альтернативними підходами окремо для України та ЄС. Таким чином, можна отримати порівняльні результати та прокоментувати їх.

За останнє десятиліття зріс політичний інтерес, наукові дослідження та суспільний інтерес до концепцій циркулярної економіки та особливо сталого розвитку. Незважаючи на те, що існує багато досліджень конкретних прикладів практик ЦЕ, все ще бракує досліджень, які б використовували формально визначені змінні досягнення ЦЕ в економіці. Такий аналіз важливий для того, щоб можна було отримати перше уявлення про те, чи плани та дії ЦЕ є стійкими в довгостроковій перспективі.

Щоб сприяти поширенню циркулярної економіки, компанії потребують значних зусиль, тому вони повинні повністю переглянути свої поточні системи виробництва та споживання. Цифрові технології визнані рушійною силою, яка сприяє впровадженню циркулярної економіки у виробничих компаніях.

У науковій літературі немає конкретної класифікації сучасних цифрових технологій. Класифікації в різних дослідженнях є суперечливими, і є кілька невідповідностей між різними авторами. Це пов'язано з тим, що цифрова трансформація швидко розвивається і не зрозуміло, які технології ретельно описують поточний стан Індустрії 4.0 та Індустрії 5.0. На сьогоднішній день є кілька оглядів літератури та концептуальних статей, які намагаються класифікувати їх. В роботі пропонується використати **табличний метод класифікації** цифрових технологій. На основі його аналізу можна виокремити перелік цифрових технологій, які є важливими факторами переходу до циркулярної економіки. Далі звужений перелік цифрових технологій планується проаналізувати на предмет сфер їх застосування в циркулярній економіці та управлінні сталим розвитком.

Важливим також є аналіз викликів та ефектів для циркулярної економіки, які можуть мати місце при впровадженні цифрових технологій. За допомогою **табличного методу** сформовано перелік основних перешкод при впровадженні цифрових технологій в концепціях циркулярної економіки. Ці перешкоди деталізовано за причинно-наслідком зв'язком.

Далі планується представити результати, зосереджені на впроваджених практиках циркулярної економіки і прийнятих цифрових технологіях, зокрема, незалежно від того, чи вони запроваджені окремо чи в симбіозі, підкреслюючи особливості, пов'язані з розміром компанії та видом економічної діяльності, а також цифрові технології, що підтримують впровадження практик циркулярної економіки.

З цією метою варто здійснити емпіричну оцінку впливу цифрових технологій на впровадження практик циркулярної економіки в українських компаніях. Таку оцінку буде здійснено за допомогою **емпіричного аналізу** в двох напрямках (за розмірами підприємств та за видами економічної діяльності) та на трьох рівнях (загальний рівень впровадження цифрових технологій, рівень впровадження окремих видів цифрових технологій, рівень впровадження цифрових технологій у взаємозв'язку з циркулярною економікою).

Зокрема, буде проведено широке емпіричне дослідження на основі зібраних даних малих, середніх і великих підприємств України, які працюють у різних секторах економіки щодо впровадження практик циркулярної економіки та впровадження цифрових технологій. Це дозволить отримати наступні результати:

- встановити найбільш застосовувані практики циркулярної економіки та те, чи вони впроваджуються одночасно (в пакетах) чи незалежно (окремо) одна від одної, підкреслюючи особливості щодо розміру компанії та виду економічної діяльності. Для цього буде проведено **економічний аналіз** щодо визначення частки підприємств із принаймні базовим рівнем цифрової інтенсивності в розрізі кількості зайнятих працівників та видів економічної діяльності;

– вказати на найбільш прийнятні цифрові технології та те, як (групами або окремо) вони застосовуються, так само підкреслюючи особливості відповідно до розміру компанії та сектора економіки. Для цього буде проведено **економічний аналіз** щодо визначення частки підприємств за видами цифрових технологій в розрізі кількості зайнятих працівників та видів економічної діяльності;

– дослідити взаємозв'язок між циркулярною економікою та цифровими технологіями, виокремлюючи незалежно прийнятні набори цифрових технологій, які найбільше стимулюють впровадження практики циркулярної економіки. Оскільки певна частина компаній більше використовують цифрові технології загалом, ніж для впровадження практик циркулярної економіки, буде проведено **кореляційний аналіз**, щоб переконатися, чи ступінь впровадження цифрових технологій загалом позитивно корелює з використанням цифрових технологій для впровадження практик циркулярної економіки.

Також планується проаналізувати сукупний вплив впровадження цифрових технологій загалом на показники використання цифрових технологій для впровадження практик циркулярної економіки. Для цього буде використано **регресійний аналіз**, зокрема, побудовано множинну регресію методом найменших квадратів (МНК). Отримані результати дадуть змогу зробити висновки щодо ступеня впровадження цифрових технологій на підприємствах різних розмірів та видів економічної діяльності, а також підтвердити або заперечити базовий рівень цифрової інтенсивності (DESI). Також варто встановити чи відкинути наявність прямого причинно-наслідкового зв'язку між впровадженням цифрових технологій загалом та їх впровадженням задля циркулярної економіки. Таким чином, виявлення масштабованих найкращих практик, які можуть спрямовувати формулювання та реалізацію стратегії цифровізації, ймовірно, буде важливою передумовою для прискорення будь-якого переходу до цифрової циркулярної економіки.

З метою визначення часових меж досяжності цілей розвитку циркулярної економіки в Україні далі буде розраховано прогностну оцінку розвитку циркулярної

економіки. Для цього на основі попередньо сформованої системи індикаторів та розрахованої інтегрованої оцінки розвитку циркулярної економіки за допомогою реляційного індексу Грея отриману сукупність буде перевірено **економетричними методами** на мультиколінеарність. **Прогнозні розрахунки** планується здійснити за двома варіантами:

- на підставі фактичного стану циркулярної економіки в Україні;
- з врахування впливу цифрових технологій на циркулярну економіку.

Далі отримані прогнози розвитку циркулярної економіки порівнюються та на їх основі буде розраховано часові межі досяжності цілей розвитку циркулярної економіки за допомогою **моделі Басса (Bass diffusion model)**, зокрема, досягнення проміжних цілей, тобто зменшення утворення відходів, підвищення рівня переробки, інтеграції принципів циркулярності у промисловість та агросектор, гармонізації українського законодавства з директивами ЄС у сфері відходів та ресурсоефективності; досягнення кінцевої мети Стратегії: формування повноцінної циркулярної економіки, де більшість секторів працюють за принципами повторного використання, ремонту, переробки та мінімізації втрат.

Концептуальний підхід поєднання методів із завданнями, джерельною базою та результатами дослідження представлено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Концептуальний підхід поєднання методів із завданнями, джерельною базою та результатами дослідження циркулярної економіки (власна розробка)

Завдання	Метод	Джерело	Результат
Аналіз сутності поняття циркулярна економіка	Історичний метод Системний аналіз Наративний метод Табличний метод Компаративний аналіз	Scopus Google Trends	Еволюція поглядів на ЦЕ Систематизація публікацій за критеріями Встановлення зв'язку між ЦЕ і сталим розвитком
Практики переходу від лінійної економіки до ЦЕ	Логічний метод Історичний аналіз Компаративний аналіз	Звіти ЮНІДО, ООН, комісії Брунтланд	Концепція 9R ЦЕ, Порівняння практики впровадження ЦЕ в країнах з різним рівнем розвитку Характеристика чинників, які впливають на перехід до ЦЕ

Завдання	Метод	Джерело	Результат
	Морфологічний аналіз		
Моніторинг статистики показників ЦЕ	Системний аналіз Морфологічний аналіз	Євростат	Вихідна сукупність показників ЦЕ
Аналіз показників ЦЕ	Графічний метод Табличний метод Метод нормалізації даних Кореляційний аналіз Економічний аналіз Компаративний аналіз	Євростат Державна служба статистики України	Візуалізація даних Порівняльність даних Визначення вкладу показників у ЦЕ Оцінка стану ЦЕ
Визначення інтегрованої оцінки розвитку ЦЕ	Графічний метод Табличний метод Реляційний аналіз Грея Динамічний аналіз Аналіз стійкості	Власні розрахунки Євростат Державна служба статистики України	Інтегрована оцінка розвитку ЦЕ Аналіз динаміки зміни показників ЦЕ Порівняльні можливості динамічної інтегрованої оцінки ЦЕ Оцінка стійкості отриманих результатів
Аналіз впливу цифрових технологій на ЦЕ	Графічний метод Табличний метод Емпіричний аналіз Економічний аналіз Кореляційний аналіз Регресійний аналіз	Європейська комісія Аналіз емпіричних досліджень Євростат Державна служба статистики України	Класифікація цифрових технологій як факторів переходу до ЦЕ Емпірична оцінка підприємств із цифровими технологіями Встановлення взаємозв'язку між цифровими технологіями та ЦЕ Визначення сукупного впливу цифрових технологій на показники цифровізації задля впровадження ЦЕ
Прогнозна оцінка перспектив розвитку ЦЕ	Економетричні методи Методи прогнозування Модель Басса	Власні розрахунки Євростат Державна служба статистики України	Обчислення прогнозової оцінки розвитку ЦЕ Визначення часових меж і реалістичності досягнення цілей розвитку ЦЕ

Отже, циркулярна економіка є стратегічним напрямом розвитку, здатним забезпечити одночасне вирішення ресурсних, екологічних і соціально-економічних викликів. Міжнародний досвід підтверджує важливість системної політики, інновацій та цифровізації для успішного переходу до циркулярності. Водночас

аналіз української ситуації демонструє низький рівень циркулярності, надмірний обсяг відходів, недостатній рівень їх переробки та наявність значних статистичних і інституційних прогалин. У таких умовах метод GRA виступає ефективним інструментом оцінювання, здатним забезпечити об'єктивність і порівнюваність аналізу. Цифрові технології визначаються як ключовий чинник розвитку циркулярної економіки, оскільки забезпечують оптимізацію ресурсних потоків, прозорість ланцюгів постачання, ефективне управління даними та підтримку інновацій у виробництві. Перспективи розвитку циркулярної економіки в післявоєнний період пов'язуються з модернізацією промисловості, посиленням євроінтеграційних процесів та зростанням ролі цифрових технологій у національній економіці.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ В УКРАЇНІ

2.1. Моніторинг статистики циркулярної економіки в Україні: відмінності з базою статистики ЄС

Звіти Державної служби статистики України щодо поводження з відходами вказують на той факт, що до війни в Україні не було ефективної системи управління відходами [10]. «Війна ще більше ускладнила цю ситуацію, збільшивши кількість будівельного сміття, токсичних і небезпечних відходів» [32].

Загалом, більшість побутових відходів в Україні вивозять на полігони або спалюють, а промислові відходи здебільшого захоронюють або залишають на звалищах. За даними Державної служби статистики України, у 2020 році переважна більшість побутових відходів була захоронена на полігонах [10]. Рівень вторинного відновлення/перероблення був дуже низьким (менше 1%), і варто зазначити, що статистика не завжди розрізняє перетворення в енергію та інші методи відновлення, такі як перероблення [32]. Дані щодо частки компостування взагалі були відсутні. Якщо порівнювати, то в ЄС майже половина побутових відходів переробляється.

За результатами проведеного дослідження ЮНІДО в 2024 році щодо дослідження стану циркулярної економіки для промислового розвитку в Україні [32], однією з основних проблем, пов'язаних із належною реалізацією політики циркулярної економіки, є **відсутність скоординованого підходу до моніторингу статистики відходів**. «В Україні відсутня достовірна статистика та дані щодо поводження з відходами в цілому, тому важко уявити повну картину показників повторного використання, перероблення та захоронення відходів у країні» [32].

«Україна намагається відстежувати прогрес у досягненні Цілей сталого розвитку (ЦСР) за допомогою Відкритої платформи ЦСР, але стикається з проблемами, пов'язаними із застарілими даними, що особливо помітно через відсутність законодавчого визначення екологічних товарів, послуг та технологій. Крім того, впровадження європейських стандартів звітності щодо екологічних

товарів та послуг залишається поза увагою в національній Програмі розвитку державної статистики, що ще більше ускладнює комплексний збір та аналіз даних» [32].

Щодо моніторингу статистики даних стану циркулярної економіки в країнах ЄС, то Євростат формує індикатори циркулярної економіки за наступними категоріями [14]:

6. Виробництво та споживання
7. Управління відходами
8. Вторинна сировина
9. Конкурентоспроможність та інновації
10. Глобальна стійкість та стабільність

Розглянемо кожну з категорій детальніше, а далі спробуємо здійснити порівняльний аналіз наборів даних за цими категоріями для ЄС та України.

1. Виробництво та споживання

1.1. Матеріальний слід є дуже актуальним у поточному політичному контексті. План дій щодо циркулярної економіки [69] чітко закликає до метрик матеріального сліду. Обґрунтування полягає в тому, що ЄС має більшу частку світового споживання/інвестицій, ніж світового виробництва, оскільки значна частина виробництва товарів, що споживаються в Європі, локалізована в Азії. Метрики матеріального сліду надають уявлення про відповідальність ЄС за екологічний тиск в інших місцях, що є наслідком експорту продукції до ЄС.

1.2. Продуктивність ресурсів. Покращення продуктивності матеріалів – ефективності використання матеріалів – допомагає зменшити тиск на навколишнє середовище та його вплив, але зростає набагато повільніше, ніж продуктивність праці та енергії.

Перехід до циркулярної економіки сприяє роз'єднанню економічного зростання і використання ресурсів. Термін «роз'єднання» означає розрив зв'язку між екологічною та економічною змінною. Згідно з визначенням Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР), роз'єднання відбувається, коли темпи зростання тиску на навколишнє середовище (наприклад, вражаючого впливу

на навколишнє середовище) менші, ніж темпи зростання його економічної рушійної сили (наприклад, ВВП) протягом певного періоду.

Роз'єднання може бути абсолютним або відносним. Абсолютне роз'єднання вважається таким, що відбувається, коли змінна навколишнього середовища стабільна або зменшується, тоді як економічна рушійна сила зростає. Роз'єднання вважається відносним, коли швидкість зміни змінної навколишнього середовища менша за швидкість зміни економічної змінної.

1.3. Утворення відходів на душу населення. Мінімізація утворення відходів є ключовою частиною Плану дій щодо циркулярної економіки [69]. У Плані дій щодо циркулярної економіки відходи розглядаються як ресурс. Управління відходами відіграє центральну роль у циркулярній економіці.

Політика ЄС щодо управління відходами спрямована на зменшення впливу відходів на навколишнє середовище та здоров'я, а також на підвищення ефективності використання ресурсів у ЄС. Довгострокова мета цієї політики полягає у зменшенні кількості утворених відходів, а коли утворення відходів неминуче, у їхньому просуванні як ресурсу та досягненні вищих рівнів переробки та безпечної утилізації відходів.

1.4. Утворення відходів, за винятком основних мінеральних відходів, на одиницю ВВП. У більш циркулярній економіці цінність продуктів, матеріалів та ресурсів зберігається в економіці якомога довше, а утворення відходів має бути зменшено, де це практично можливо, з увагою до перспектив переробки та зниження біотоксичності. Запобігання утворенню відходів тісно пов'язане з удосконаленням методів виробництва та впливом на споживачів, щоб вони вимагали більш екологічних продуктів та меншої кількості упаковки. Здійснюючи перехід до циркулярної економіки, ЄС прагне зменшити утворення відходів, зберігаючи або збільшуючи економічні результати.

Порівняння утворених відходів з ВВП відображає інтенсивність відходів в економіці та забезпечує міру «екоєфективності». Спостереження за її змінами з року в рік дозволяє оцінити, чи здатна економіка виробляти більше багатства, одночасно утворюючи менше відходів.

1.5. Утворення побутових відходів на душу населення. У більш циркулярній економіці цінність продуктів, матеріалів та ресурсів зберігається в економіці якомога довше, а утворення матеріальних відходів зменшується кількісно та покращується якісно. Запобігання утворенню відходів тісно пов'язане з удосконаленням методів виробництва та впливом на споживачів, щоб вони вимагали більш екологічних продуктів та меншої кількості упаковки. Зменшення кількості утворених відходів зазначено як найвищий пріоритет згідно з Ієрархією відходів, встановленою Рамковою директивою про відходи (стаття 4) [59], яка встановлює пріоритетний порядок від запобігання утворенню відходів, підготовки до повторного використання, переробки та відновлення енергії до екологічно безпечної утилізації, такої як захоронення на полігонах.

1.6. Харчові відходи. Харчові відходи виснажують природні ресурси та призводять до викидів парникових газів. Скорочення харчових відходів має величезний потенціал для економії ресурсів, які ми використовуємо для виробництва їжі, яку споживаємо. Відповідно до стратегії ЄС «Від ферми до виделки» [72], Комісія запропонувала юридично обов'язкові цілі щодо скорочення харчових відходів. Ці цілі допоможуть обмежити вплив ланцюга постачання харчових продуктів на навколишнє середовище та клімат і забезпечать більшу кількість продуктів харчування, доступних для споживання людиною, тим самим створюючи більш стійку продовольчу систему.

1.7. Утворення відходів упаковки на душу населення. Одним із центральних елементів циркулярної економіки є повернення матеріалів назад в економіку та уникнення потрапляння відходів на сміттєзвалища або спалювання, тим самим максимально використовуючи цінність матеріалів та зменшуючи втрати.

Управління відходами відіграє центральну роль у циркулярній економіці. Відходи упаковки – це потоки відходів, на які впливає поведінка споживачів, а також моделі виробництва та розподілу виробників. У Плані дій (СЕАР) [69] щодо дій у сфері охорони здоров'я було оголошено про мету скорочення (надмірної) упаковки та відходів упаковки, зокрема шляхом встановлення цілей та інших заходів щодо запобігання утворенню відходів.

1.8. *Утворення відходів пластикової упаковки на душу населення.* Те саме стосується і відходів пластикової упаковки.

2. Управління відходами

2.1. *Рівень переробки побутових відходів* дає уявлення про те, як відходи кінцевих споживачів використовуються як ресурс у циркулярній економіці. Побутові відходи відображають переважно відходи, що утворюються кінцевими споживачами, оскільки вони включають відходи домогосподарств та відходи з інших джерел, подібні за своєю природою та складом до побутових відходів. Хоча на них припадає близько 10% від загальної кількості відходів, що утворюються в ЄС [14], через їх неоднорідний склад раціональне управління побутовими відходами є складним завданням. Рівень переробки побутових відходів є добрим показником якості загальної системи управління відходами.

Цей показник може бути використаний для моніторингу дотримання цілі, включеної до статті 11.2 Рамкової директиви про відходи [59]. Для досягнення цілей цієї Директиви та переходу до європейської циркулярної економіки з високим рівнем ресурсоефективності «держави-члени вживають необхідних заходів, спрямованих на досягнення наступних цілей: підготовка до повторного використання та переробка відходів, таких як принаймні папір, метал, пластик та скло з домогосподарств та, можливо, з інших джерел, якщо ці потоки відходів подібні до відходів з домогосподарств, мають бути збільшені щонайменше до 50% за вагою» [59].

2.2. *Коефіцієнт переробки всіх відходів, за винятком основних мінеральних відходів.* Рівень переробки відходів безпосередньо контролює кількість матеріалів, що повертаються в економіку, тим самим максимально використовуючи цінність матеріалів та зменшуючи втрати. Оскільки дизайн продуктів та процесів удосконалюються з метою майбутньої переробки, а також долаються інституційні перешкоди для переробки (такі як брак адміністративної спроможності, брак інвестицій в інфраструктуру роздільного збору та переробки, а також недостатнє використання економічних інструментів), рівень переробки має зростати.

2.3. Рівень переробки пакувальних відходів за типом упаковки. Цей показник використовується для моніторингу прогресу у досягненні цілі 55% переробки упаковки, встановленої на 2008 рік, та запропонованих цілей 65% та 70% до 2025 та 2030 років відповідно [59].

План дій ЄС щодо циркулярної економіки також спеціально спрямований на окрему пріоритетну сферу, а саме на пластик та біоматеріали, такі як деревина. У цьому плані Комісія запропонувала загальноєвропейську ціль у розмірі 55% переробки пластикової упаковки (до 2025 року), цей показник дозволить відстежувати прогрес у досягненні цієї мети. Щодо дерев'яної упаковки, Комісія запропонувала загальноєвропейську ціль до 2030 року у розмірі 75% підготовки до повторного використання та переробки дерев'яної упаковки [69].

2.4. Рівень переробки відходів електричного та електронного обладнання (ВЕЕО), зібраних окремо. Відходи електричного та електронного обладнання (ВЕЕО), також відомі як електронні відходи, такі як комп'ютери, телевізори, холодильники та мобільні телефони, є одним із потоків відходів, що найшвидше зростають у ЄС. ВЕЕО містять дорогоцінні матеріали, переробку яких слід посилити.

3. Вторинна сировина

3.1. Коефіцієнт використання циркулярних матеріалів. Циркулярна економіка спрямована на збільшення кількості матеріалів, що переробляються та повертаються в економіку, тим самим зменшуючи утворення відходів та обмежуючи видобуток первинної сировини. Рівень використання циркулярних матеріалів вимірює внесок перероблених матеріалів у загальний попит на матеріали.

3.2. Внесок перероблених матеріалів у попит на сировину – коефіцієнти переробки наприкінці терміну служби. У світі зростаючого попиту на сировину, використання вторинної сировини може допомогти покращити безпеку постачання в ЄС, зменшити тиск видобутку на природні ресурси, а отже, зменшити пов'язаний з цим тиск на навколишнє середовище, а також сприяти розвитку міцної

циркулярної економіки на субнаціональному, національному та європейському рівнях.

У Плані дій ЄС щодо циркулярної економіки зазначено, що в умовах циркулярної економіки матеріали, які можна обґрунтовано переробити, слід повертати в економіку як нову сировину, тим самим підвищуючи безпеку постачання [69]. Ця «вторинна сировина» може вироблятися в межах національної економіки, а також може продаватися та постачатися так само, як первинна сировина з традиційних галузей видобувних ресурсів.

На відміну від показників системи моніторингу управління відходами, які зосереджені на рівнях збору або переробки певних потоків відходів, цей показник вимірює внесок переробки у попит на матеріали за типом матеріалу.

3.3. Торгівля сировиною, що підлягає вторинній переробці. У циркулярній економіці залишкові матеріали переробляються та повторно впроваджуються в економіку як нова сировина – тоді їх називають «вторинною сировиною». Це може мати кілька переваг, як зменшення кількості відходів, так і підвищення безпеки постачання сировини. Точна картина європейського сектору сировини повинна включати переміщення сировини, що походить з відходів, тобто вторинної сировини, що перетинає європейські кордони як у вигляді імпорту, так і експорту, а також у рамках торгівлі всередині ЄС.

Цей показник вимірює кількість відходів та брухту, що підлягають переробці, а також іншої вторинної сировини (побічних продуктів), що перевозяться між державами-членами ЄС (всередині ЄС) та через кордони ЄС (за межами ЄС). Багато потоків безпечних відходів вважаються цінними ресурсами, оскільки вони є потенційно важливим джерелом сировини. Загалом, транскордонні перевезення відходів, що підлягають переробці, значно зросли за останнє десятиліття.

Цей показник, безумовно, є релевантним для отримання уявлення про тенденції на ринках окремих вторинних сировинних матеріалів як на національному, так і на рівні ЄС.

3.4. Ціни на вторинну сировину, що підлягає переробці. Метою індикатора цін на вторинні матеріали є надання відповідних даних та ширшого огляду ринку

вторинних матеріалів. У циркулярній економіці залишкові матеріали переробляються та повторно вводяться в економіку як нова сировина, яку тоді називають «вторинною сировиною». Таким чином, вторинні матеріали – це відходи, які переробляються та можуть бути використані у виробничих процесах замість або разом із «первинною» сировиною.

Аналіз базується на статистиці міжнародної торгівлі товарами. Індикатор враховує середньомісячний обсяг торгівлі вторинними матеріалами (тис. тонн) та їх середньомісячні ціни (євро/тонна). Індикатор цін відображається у вигляді щомісячних даних або середньорічних даних. Цей показник, безумовно, є релевантним для отримання уявлення про тенденції на ринках окремих видів вторинної сировини, вимірюваних у цінах на рівні ЄС. Переробка – показник ціни на вторинні матеріали є актуальним для зацікавлених сторін, які стурбовані довгостроковою продуктивністю ринків вторинних матеріалів, а також для політиків, які розробляють стратегії переробки в умовах циркулярної економіки.

4. Конкурентоспроможність та інновації

4.1. Приватні інвестиції та валова додана вартість, пов'язані з секторами циркулярної економіки. Інновації та інвестиції (в екодизайн, вторинну сировину, процеси переробки та промисловий симбіоз) є ключовим елементом переходу до циркулярної економіки.

4.2. Особи, зайняті в секторах циркулярної економіки. Циркулярна економіка може зробити значний внесок у створення робочих місць та економічне зростання. Аналіз робочих місць та зростання відповідних секторів показує, чи забезпечує перехід до циркулярної економіки очікувані результати. Сектори, тісно пов'язані з циркулярною економікою, такі як переробка, ремонт та повторне використання, є особливо трудомісткими та сприяють місцевій зайнятості. Важливо зазначити, що ці сектори представляють лише частину набагато ширшого економічного впливу циркулярної економіки. Однак вплив циркулярної економіки в інших секторах є більш розсіяним і його важко виділити. Переробка, а також ремонт і повторне використання вважаються хорошими показниками інтеграції циркулярної економіки в інші сектори.

4.3. Патенти, пов'язані з управлінням відходами та їх переробкою. Інновації неодмінно відіграватимуть ключову роль у переході до циркулярної економіки, у розвитку нових технологій, процесів, послуг та бізнес-моделей.

Статистика патентів є одним із сімейств показників, що широко використовуються для оцінки технологічного прогресу в певному промисловому секторі. Вона широко визнана як орієнтовані на результат показники інновацій. Розробка інноваційних методів збору, транспортування, зберігання відходів і, зокрема, переробки матеріалів допоможе зменшити залежність ЄС від критично важливих товарів, підвищить стійкість ЄС до потенційних перебоїв у постачанні матеріалів і підтримуватиме конкурентоспроможність вітчизняної промисловості.

Таким чином, кількість патентних сімейств у цих галузях дає уявлення про інноваційну активність у сфері технологій переробки та повторного використання матеріалів в ЄС, а також у зв'язку з глобальним контекстом.

5. Глобальна стійкість та стабільність

5.1. Споживчий слід. Споживчий слід враховує внутрішній та транскордонний вплив на навколишнє середовище через імпортовані товари. Поточні тенденції зростання інтенсивності споживання та зміни моделей споживання в різних сферах призводять до збільшення споживчого сліду ЄС. Стратегії циркулярної економіки, що змінюють моделі споживання та екологічний профіль продукції, можуть зменшити споживчий слід ЄС.

5.2. Викиди парникових газів від виробничої діяльності. Циркулярна економіка сприяє кліматичній нейтральності, оскільки циркулярна економіка з більшою кількістю вторинної сировини викидає менше парникових газів. Викиди парникових газів відбуваються вздовж виробничого ланцюга, що також пов'язано з видобутком та переробкою природних ресурсів. Відходи створюють парникові гази, або безпосередньо, наприклад, якщо відходи спалюються або захоронюються, або опосередковано, якщо використані продукти не можуть бути повторно використані, відремонтовані, перероблені тощо, і тому потрібно виробляти нові продукти.

5.3. Залежність від імпорту матеріалів – це міра, до якої економіка залежить від імпорту для задоволення своїх матеріальних потреб. Дуже важливо

контролювати та зменшувати залежність від імпорту, особливо викопних енергетичних матеріалів.

5.4. Самозабезпечення ЄС сировиною. Сировина є важливою для функціонування економіки ЄС. Широкий спектр промислових секторів залежить від надійного постачання сировини, як правило, у диверсифікованому поєднанні внутрішнього видобутку, переробки та імпорту. План дій ЄС щодо циркулярної економіки спрямований на конкретні дії у сфері критично важливої сировини. Критичною сировиною є та, яка має велике економічне значення для ЄС та вразлива до перебоїв у постачанні. У певних випадках її видобуток також спричиняє значний вплив на навколишнє середовище, тому її критичне економічне значення також може мати значні наслідки для екологічної політики. Збільшення обсягів відновлення критично важливої сировини є одним з ключових викликів, які необхідно вирішити в процесі переходу до більш циркулярної економіки. Комплексний показник надає середньозважене значення як орієнтир, а також цікаву інформацію про відмінності між матеріалами (наприклад, для певних критичних видів сировини ЄС набагато самодостатніший, ніж для інших) на рівні дезагредованих даних для кожного типу матеріалу.

В табл. Б1 додатку Б наведено повну методологію оцінки показників кожної з категорій та їх одиниці виміру.

Отже, національна статистика в Україні, хоча і охоплює досить широкий спектр питань, часто є недостатньо повною та чіткою, особливо у таких важливих сферах, як моніторинг показників циркулярної економіки [31]. Крім того, існують значні труднощі зі збором достовірних даних про утворення відходів, особливо в будівельному секторі, що створюють суттєві перешкоди для ефективного формування політики та стратегічного планування [32].

2.2. Формування методики аналізу розвитку циркулярної економіки

За останнє десятиліття зріс політичний, науковий та суспільний інтерес до концепцій циркулярної економіки (ЦЕ) та сталого розвитку. Якщо концепція сталого розвитку перебуває в центрі уваги багатьох дослідників, а також громадської думки вже більше 30 років, то поняття циркулярної економіки отримало більше уваги протягом останніх кількох років, і воно тісно пов'язане зі сталим розвитком.

Поняття ЦЕ означає повторне використання продуктів і матеріалів в економіці якомога довше, щоб мінімізувати відходи та використання нових ресурсів. Одна з головних ідей підходу ЦЕ полягає в тому, щоб отримати вигоду від переробки матеріальних потоків із збалансованим економічним зростанням. Таким чином, ЦЕ демонструє цілком протилежний підхід у порівнянні з лінійними економічними системами та лінійною економікою, яка базується на тому, що доступні ресурси є надлишковими для використання та виробництва товарів, та яких можна позбутися після їх використання.

Незважаючи на те, що існує багато конкретних прикладів практик ЦЕ, все ще бракує досліджень, які б використовували формально визначені показники досягнення ЦЕ в економіці. Такий аналіз важливий для того, щоб можна було отримати перше уявлення про те, чи плани та дії ЦЕ є стійкими в довгостроковій перспективі.

Проведений порівняльний аналіз методів дослідження циркулярної економіки в науковій літературі засвідчив, що існує не так багато досліджень, які б порівнювали країни, регіони чи мікроєдиниці з циркулярними планами. У більшості робіт використовуються простіші методи обробки даних через характер дослідження, оскільки це переважно дані опитування думок і сприйняття ЦЕ. Європейська Комісія надає результати вимірювання конкретних показників, що представляють інтерес щодо ЦЕ [14]. В даному випадку пропонується використати ці показники для об'єктивного порівняння ефективності досягнення цілей ЦЕ в Україні.

Виходячи з усієї множини методів дослідження ЦЕ, попередньо оцінених в п. 1.1, та обмеженості і неповноти статистичної інформації, ми дійшли висновку, що для такого аналізу варто використати реляційний коефіцієнт Грея [4].

Теорія сірих систем розроблена ще у 80-х роках і відносно мало поширена у Європі та західних країнах [100]. Відносний коефіцієнт Грея є частиною реляційного аналізу Грея, тобто Grey Relational Analysis (GRA), методології, розробленої для використання в процесі прийняття рішень, коли дані є невизначеними, дефіцитними та/або неповними. Таким чином, термін «сірий» відноситься до неповної або частково доступної інформації. Методологію GRA можна використовувати для ранжування різних альтернатив на основі кількох критеріїв, які можуть бути суперечливими. Хоча для ранжування альтернатив можна використовувати інші підходи, такі як аналіз охоплення даних, штучний ієрархічний процес, моделі прийняття рішень за кількома критеріями тощо, методологія GRA є простішою порівняно зі згаданими альтернативними підходами. Крім того, у весь процес моделювання потрібно включати менше суб'єктивності. Підхід GRA в ранжуванні альтернатив не потребує виконання припущень щодо розподілу даних, переклад даних не потрібен (як у деяких моделях DEA), відсутні та сірі дані не створюють проблем у межах цієї методології, можна спостерігати за малими та великими вибірками тощо [100].

Припустимо, що необхідно спостерігати та ранжувати M альтернатив, спостерігаючи їх K поведінкових послідовностей, де кожна альтернатива m зі своїми даними з послідовності k порівнюється одна з одною, $k \in \{1, 2, \dots, K\}$, $m \in \{1, 2, \dots, M\}$. Дані послідовності поведінки кожної альтернативи складаються з критеріїв, за якими альтернативи ранжуються. Усі дані в період часу/момент t можна сформулювати в одній матриці наступним чином:

$$X_t = \begin{pmatrix} x_1(1)_t & x_1(2)_t & \cdots & x_1(K)_t \\ x_2(1)_t & x_2(2)_t & \cdots & x_2(K)_t \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_M(1)_t & x_M(2)_t & \cdots & x_M(K)_t \end{pmatrix}, \quad (2.1)$$

де кожен рядок позначає m -ту альтернативу, стовпці - k -й критерій. Наприклад, $(x_m(1), x_m(2), \dots, x_m(K))$ інтерпретується як послідовність поведінки для m -ї альтернативи.

Першим кроком є нормалізація даних, щоб можна було зробити порівняння за всіма критеріями. Це важливо для того, щоб результати аналізу базувалися на порівнянних вхідних даних.

Для нормалізації даних пропонуються три наступні підходи:

1. Якщо критерій є показником-стимулятором, тобто має краще значення, якщо воно більше, нормалізація виконується для кожного періоду наступним чином:

$$y_m(k)_t = \frac{x_m(k)_t - \min_m x_m(k)_t}{\max_m x_m(k)_t - \min_m x_m(k)_t}. \quad (2.2)$$

2. Якщо критерій є показником-дестимулятором, тобто що менше значення, то кращий критерій, то виконується наступна нормалізація:

$$y_m(k)_t = \frac{\max_m x_m(k)_t - x_m(k)_t}{\max_m x_m(k)_t - \min_m x_m(k)_t}. \quad (2.3)$$

3. Нарешті, якщо критерій є кращим, якщо його значення ближче до бажаного значення $x^*(k)$, визначеного дослідником, законодавством, угодою тощо, то виконується така нормалізація:

$$y_m(k)_t = \frac{|x_m(k)_t - x^*(k)_t|}{\max_m |x_m(k)_t - x^*(k)_t|}. \quad (2.4)$$

Якщо індекс t вилучити з умов (2.1)-(2.4), то аналіз буде таким же, тільки для одного періоду або для середнього проміжку часу. У цьому дослідженні порівнюватимуться результати протягом кількох років поспіль, тому підхід GRA буде виконано шляхом додавання індексу t до аналізу. Нормалізація в (2.2)–(2.4) призводить до того, що змінні знаходяться в діапазоні $[0,1]$, причому значення критеріїв, ближчі до 1, є кращими.

Другий крок включає порівняння нових послідовностей $y_m(k)_t$ з референтною послідовністю $y^*(k)$. Ця референтна послідовність може бути тією, яку визначає дослідник на основі попередніх знань і досвіду, таким чином

включаючи деяку суб'єктивність в аналіз. Крім того, значення можуть бути визначені за середніми показниками по галузі, якщо спостерігати за компаніями, законодавчими обмеженнями тощо. Також, оскільки дані нормалізуються таким чином, що чим ближче значення до одиниці, тим краще, референтна послідовність може складатися з одиничних значень для кожного критерію [93].

На третьому кроці розраховуються абсолютні відхилення між кожною послідовністю поведінки за кожним критерієм:

$$\Delta y_m(k)_t = |y_m(k)_t - y^*(k)|. \quad (2.5)$$

Четвертий крок включає обчислення коефіцієнта відношення Грея (GRC) для порівнюваних альтернатив за формулою:

$$G_m(k)_t = \frac{\Delta_{min,t} + p\Delta_{max,t}}{\Delta y_m(k)_t + p\Delta_{max,t}}, \quad (2.6)$$

де p позначає ваговий коефіцієнт, $p \in [0,1]$; і величини $\Delta_{min,t}$ та $\Delta_{max,t}$ визначається як:

$$\Delta_{min,t} = \min\{\Delta y_1(k)_t, \dots, \Delta y_M(k)_t\} \forall k, \quad (2.7)$$

$$\Delta_{max,t} = \max\{\Delta y_1(k)_t, \dots, \Delta y_M(k)_t\} \forall k. \quad (2.8)$$

Значення p може розширювати або стискати значення $G_m(k)_t$ у (2.6), але рейтинги на основі (2.6) не змінюються [93]. Більшість існуючих досліджень використовує значення $p=0,5$.

П'ятим кроком є реляційний ступінь Грея (*Grey Relational Degree, GRD*), розрахований як середньозважене значення всіх $G_m(k)_t$ у (6) для всіх критеріїв:

$$GRD_{m,t} = \sum_{k=1}^K w_k G_m(k)_t \forall m. \quad (2.9)$$

Ваги w_k присвоюються кожному з критеріїв k , де $\sum_{k=1}^K w_k = 1$. Тепер значення в (2.9) для кожної альтернативи можна інтерпретувати як ступінь подібності між цією альтернативою та референтною послідовністю $y^*(k)$. Більші значення подібності між m -тою альтернативою та референтною послідовністю означають, що ця спостережувана альтернатива є кращою за своїми критеріями. Значення в (2.9) будуть розраховані для кожної альтернативи для кожного року в емпіричній частині дослідження. Таким чином, ці значення будуть порівнюватися протягом року. Окрім порівнянь альтернатив із еталонною послідовністю, за

потреби можна проводити порівняння з будь-якою обраною еталонною послідовністю.

Змінні були обрані на основі системи моніторингу циркулярної економіки Європейської комісії [14], яка базується на самозабезпеченні сировиною, зелених державних закупівлях, утворенні відходів, внеску перероблених матеріалів у попит на сировину та торгівлі сировиною, придатною для вторинної переробки, із загальними показниками переробки, приватними інвестиціями, робочими місцями та валовою доданою вартістю в секторах ЦЕ, з кількістю патентів, пов'язаних з управлінням та переробкою відходів. Усі ці показники згруповано в п'ять категорій:

1. Виробництво та споживання
2. Управління відходами
3. Вторинна сировина
4. Конкурентоспроможність та інновації
5. Глобальна стійкість та стабільність

Європейська комісія надає перелік із 23 індикаторів, класифікованих у вищезазначених п'ятих категоріях. Основна ідея цього дослідження полягала в тому, щоб включити максимально можливу кількість змінних, визначених ЄС, оскільки це дасть змогу провести порівняльну оцінку ефективності досягнення цілей ЦЕ в Україні та країнах-членах ЄС. Це з одного боку, підтвердить прагнення України бути членом Європейського Союзу і формувати єдину статистичну базу даних (в тому числі щодо ЦЕ), з іншого боку такий підхід забезпечить найкращу порівняльність. Як зазначалось у підпункті 2.1, однією з основних проблем, пов'язаних із належною реалізацією політики циркулярної економіки, є відсутність скоординованого підходу до моніторингу статистики ЦЕ [29]. Втім, більшу частину показників все-таки вдалося розрахувати, виходячи з наявної статистичної бази даних [10].

З бази даних Євростату [14] та Державної служби статистики України [10] було зібрано щорічні дані щодо наступних змінних із циркулярної економіки, наведених у табл. 2.1, з повним описом кожної змінної, наведеним у табл. Б1 додатку Б.

Таблиця 2.1

Статистичні дані за показниками циркулярної економіки (розраховано на основі [14, 10])

Позначення	Показник	Характеристика	Одиниці вимірювання	Територіальна одиниця	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
ПІ.1	Попит на видобуток матеріалів	Дестимулятор	% до попереднього року	Україна	104,50	106,80	101,90	100,80	86,30	89,80	101,10	96,50	103,40	98,40	97,00	101,40	70,00	97,90	103,50
				ЄС	91,36	108,45	89,60	98,03	101,18	97,23	101,26	102,30	101,83	102,06	95,65	104,31	99,80	95,16	
ПІ.2	Продуктивність ресурсів	Стимулятор	% до попереднього року	Україна	99,62	98,78	98,33	99,21	108,23	100,45	101,29	106,11	100,10	104,88	99,18	101,97	101,71	107,76	
				ЄС	104,36	97,02	107,59	102,42	100,53	101,92	102,21	100,22	99,98	101,39	98,62	101,75	104,45	102,78	
ПІ.3	Утворення відходів	Дестимулятор	кг/особу	Україна	9193,28	9694,41	9789,21	9774,59	7814,88	7274,00	6919,24	8595,94	8312,43	10474,09	11034,54	11860,79	4945,37	5036,85	
				ЄС	5017,00	5051,50	5086,00	5074,00	5062,00	5068,00	5074,00	5154,50	5235,00	5026,00	4817,00	4904,00	4991,00		
ПІ.4	Утворення відходів, за винятком основних мінеральних відходів	Дестимулятор	кг/тисячу євро ВВП	Україна		919	747	722	403	455	498	401	343	280	238	194	104	86	
				ЄС	69	68,5	68	68	68	67	66	65,5	65	65	65	62,5	60		
ПІ.5	Утворення побутових відходів	Дестимулятор	кг/особу	Україна		226,6	304,3	318,7	250,0	268,5	271,0	265,3	280,5	280,6	302,7				
				ЄС	503,00	499,00	487,00	479,00	479,00	481,00	494,00	500,00	500,00	505,00	521,00	534,00	515,00	511,00	
ПІ.6	Харчові відходи	Дестимулятор	кг/особу	Україна		287,94	287,45	222,85	220,48	201,24	224,43	220,03	199,04	201,87	155,29	115,12	82,51	136,31	
				ЄС											128	129	129		
ПІ.7	Утворення відходів пакування	Дестимулятор	кг/особу	Україна		20,61	25,45	21,69	24,54	20,02	27,97	24,57	25,13	24,38	22,74	23,20	31,38	20,83	
				ЄС	153,82	156,91	154,56	156,59	161,43	165,46	169,28	174,19	173,51	177,66	178,19	190,24	186,66		
ПІ.8	Утворення відходів пластикового пакування	Дестимулятор	кг/особу	Україна		0,81	3,73	0,86	0,96	1,00	1,21	1,14	1,11	1,19	0,97	1,36	1,53	1,07	
				ЄС	27,98	28,30	28,42	28,84	29,80	30,81	31,59	32,70	33,22	34,18	34,61	36,35	36,13		
ПІ.2.1	Коефіцієнт переробки побутових відходів	Стимулятор	%	Україна		3,16	2,06	1,13	1,46	2,27	2,30	2,40	1,95	1,69	1,34				
				ЄС				41,5	43,4	44,9	45,9	46,3	46,4	47,2	48,8	49,9	49,1		
ПІ.2.2	Коефіцієнт переробки відходів, за винятком	Стимулятор	%	Україна		23,21	26,40	27,83	12,06	13,85	15,62	10,90	9,95	8,85	7,87	6,80	6,96	10,89	
				ЄС	53	53	53	53,5	54	54,5	55	55,5	56	57	58	57	56		

Позначення	Показник	Характеристика	Одиниці вимірювання	Територіальна одиниця	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
	мінеральних відходів																		
П2.3	Рівень переробки пакувальних відходів за типом упаковки	Стимулятор	%	Україна		23,90	17,54	19,89	9,51	18,57	13,32	9,53	7,84	7,77	8,92	8,94	11,08	17,62	
				ЄС	64	64,2	65,2	65,4	66,5	66,6	67,6	67,5	65,6	64,8	64	64	65,3		
П2.4	Рівень переробки відходів електричного та електронного обладнання	Стимулятор	%	Україна		151,53	135,58	113,77	168,65	158,80	231,76	176,50	128,15	252,88	323,91	262,61	204,55	55,08	
				ЄС				82,7	81,9	80,8	84,2	84	81,7	81,3	83,2	81,6	80,7		
П3.1	Коефіцієнт використання циркулярних матеріалів	Стимулятор	%	Україна					0,28	0,30	0,31	0,57	0,14	0,15	0,05				
				ЄС	10,7	10,2	11	11,2	11,1	11,2	11,4	11,5	11,6	11,2	11,2	11,1	11,5	11,8	
П4.1	Приватні інвестиції, пов'язані з секторами циркулярної економіки	Стимулятор	% до ВВП	Україна										3,524E-05		3,11E-05	2,1E-05	3,7E-05	
				ЄС					0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	
П4.2	Особи, зайняті в секторах циркулярної економіки	Стимулятор	кількість осіб, зайнятих в еквіваленті повної зайнятості	Україна			4395300	4325400	3930700	3484300	3394800	3337200	3350700	3420200	3274200	3252200			
				ЄС					3969700	4000546	4110629	4231674	4319338	4457089	4427385	4704650	4248173	4368611	
П5.2	Викиди парникових газів від виробничої діяльності	Дестимулятор	кг еквіваленту CO ₂ на особу	Україна	145,49	150,49	149,59	147,69	124,33	105,64	110,01	99,78	97,43	97,82	88,14	91,52			
				ЄС	8004,59	7886,10	7714,35	7483,66	7232,50	7298,92	7267,44	7367,07	7217,70	6864,50	6172,30	6541,05	6464,90	5965,44	

Ці змінні були вибрані таким чином, щоб можна було включити якомога більше різних критеріїв для порівнянь/ранжування, а обраний часовий проміжок становив з 2010 до 2024 року. 2010 рік є першим роком у цьому аналізі, оскільки багато змінних не мали попередніх даних. 2024 рік є останнім, оскільки він був останнім загальнодоступним у Державній службі статистики України. В аналіз були включені 27 країн ЄС загалом та Україна. З 23 показників ЦЕ, які розраховуються Євростатом, до дослідження було включено 16 змінних. Таке обмеження було пов'язане з відсутністю/неможливістю розрахунку українських даних за обраний період за показниками:

- 1) Внесок перероблених матеріалів у попит на сировину
- 2) Торгівля сировиною, що підлягає вторинній переробці
- 3) Ціни на вторинну сировину, що підлягає переробці
- 4) Патенти, пов'язані з переробкою та вторинною сировиною
- 5) Споживчий слід
- 6) Залежність від імпорту матеріалів
- 7) Самозабезпечення України сировиною

Такий детальний підхід до підбору показників ЦЕ пов'язаний також з аналізом попередніх досліджень, узагальнення використаних змінних в яких виглядає наступним чином. В [29] індекс циркулярної економіки для порівняльного аналізу переходу країн Європи до ЦЕ розраховано на основі 13 з перелічених вище індикаторів. Авторами було проведено аналіз між показником циркулярної економіки та індексом глобальної конкурентоспроможності. Виявлено, що Німеччина, Великобританія, Нідерланди та Австрія є лідерами, а Україна, Болгарія, Кіпр, Греція та Мальта є аутсайдерами за показником ЦЕ та індексом глобальної конкурентоспроможності.

В [136] також використано показники переробки, кількість патентів, пов'язаних з ЦЕ, та інвестиції, пов'язані з сектором ЦЕ, для побудови власних сукупних показників для оцінки прогресу ЦЕ у країнах ЄС. Автори дотримувалися офіційної класифікації змінних ЦЕ і основні результати показали,

що країни Північної та Західної Європи займають вищу позицію порівняно з південними та східними.

В іншому дослідженні [146] використовувалися коефіцієнти переробки (в даному випадку лише міських відходів) і кількість патентів щодо концепції ЦЕ. На основі емпіричного аналізу панелі даних усіх країн ЄС було виявлено позитивний вплив заходів ЦЕ на продуктивність у країні.

В [83] автори використовували рівень переробки як індикатор циркулярності економіки ЄС. Базуючись на кількох рівнях переробки різних типів матеріалів, дане дослідження показало, що ці показники є хорошими показниками наближення або відсутності наближення до досягнення ЦЕ.

Змінна зайнятості також має велике значення в емпіричних результатах. Міжнародна організація праці [89] підрахувала, що збереження цілі Паризької угоди 2015 року щодо підвищення глобальної температури менше ніж на 2°C порівняно з доіндустріальним рівнем може відкрити 18 мільйонів нових робочих місць у всьому світі до 2030 року. Деякі з конкретних оцінок зростання кількості нових робочих місць через ЦЕ такі: в [107] автори зосередилися на Великій Британії та виявили, що діяльність ЦЕ може відкрити більше 200 тисяч нових посад до 2030 року; в [40] автори за аналогією розглянули економіку Нідерландів, де, за їх оцінками, буде створено 54 000 нових робочих місць. В праці [76] зосереджено увагу на італійських компаніях, емпіричний аналіз яких показав, що існує сильний позитивний вплив еко-інновацій на створення довгострокових робочих місць, причому ефект значно сильніший, ніж інші типи інновацій. Таким чином, багато вчених та їх наукові дослідження підтвердили, що інновації, пов'язані з ЦЕ, є визначальними для збільшення загальної зайнятості в європейських країнах.

В дослідженні [106] автори використовували рівень переробки та рівень циклічного використання матеріалів як змінні, щоб побудувати індекси ефективності ЦЕ в рамках підходу аналізу охоплення даних (DEA) для 23 країн ЄС. Отримані рейтингові оцінки показали, що найефективніші країни знаходяться на півночі та сході Європи, а найнижчі – на периферії. Також наявні

більш широкі дослідження, які охоплюють взаємозв'язок між змінними ЦЕ, економічного зростання та інтелектуального капіталу з метою оцінки впливу рівнів переробки та зайнятості на підприємствах ЦЕ на додану вартість, створену в рамках ЦЕ в ЄС. В результаті цих пошуків виявлено позитивний вплив обох змінних на додану вартість ЦЕ.

Як видно з табл. 2.1, для окремих змінних відсутні дані як для України, так і для країн ЄС. Наприклад, за показником «Харчові відходи» статистичні дані для країн ЄС формуються, починаючи з 2020 року. Змінну «Приватні інвестиції, пов'язані з секторами циркулярної економіки» для України вдалося розрахувати для 2019, 2021-2023 років. Таким чином, аналіз буде виконано з кількома відсутніми записами даних для періоду 2011-2023 роки. Для 2010 року аналіз буде здійснено на основі перших трьох змінних та останньої змінної, наведених в табл. 1. 2024 рік братиметься до уваги як прогнозний – у зв'язку з відсутністю практично всіх даних.

Як описано вище, усі критерії, наведені в табл. 2.1, нормалізувалися кожного року для України та країн ЄС за допомогою формули (2.2) для показників-стимуляторів та формули (2.3) для показників-дестимуляторів. Таким чином, було усунуто негативний вплив окремих показників (дестимуляторів) і нормалізовані дані показують, що, чим більше їх значення, тим кращі показники країни в цій сфері (табл. 2.2). В останньому стовпці табл. 2.2 наведено середні значення за період дослідження за кожним із показників.

Як видно з табл. 2.2, одне значення для кожного показника як для України, так і для ЄС за роками рівне 0, що свідчить про найнижчий рівень розвитку в даному році, або 1, яка показує найвищий рівень розвитку ЦЕ за даною змінною в досліджуваному періоді. Такий підхід дозволяє одночасно здійснювати порівняльний аналіз показників, які мають як позитивний, так і негативний вплив на розвиток ЦЕ в динаміці. Таким чином, чим ближче значення нормалізованого показника до 1, тим більшим є його вклад у розвиток ЦЕ. Також позитивна зростаюча динаміка показника свідчить про підвищення розвитку ЦЕ.

З табл. 2.2 бачимо, що найближчі до одиниці середні значення характерні для змінних:

в Україні:

1. Утворення відходів пластикового пакування на душу населення	0,83
2. Утворення відходів пакування на душу населення	0,65
3. Приватні інвестиції та валова додана вартість, пов'язані з ЦЕ	0,63
4. Утворення відходів, за винятком основних мінеральних відходів, на одиницю ВВП	0,61
5. Викиди парникових газів від виробничої діяльності	0,53
6. Рівень переробки відходів електричного обладнання	0,47
7. Утворення відходів на душу населення	0,47
8. Утворення побутових відходів на душу населення	0,45
9. Харчові відходи	0,45
10. Коефіцієнт переробки побутових відходів	0,42
11. Коефіцієнт використання циркулярних матеріалів	0,40
12. Відношення ВВП до попиту на видобуток матеріалів	0,37
13. Рівень переробки пакувальних відходів за типом упаковки	0,35
14. Коефіцієнт переробки всіх відходів, за винятком основних мінеральних відходів	0,34
15. Особи, зайняті в секторах циркулярної економіки	0,32
16. Попит на видобуток матеріалів	0,26

в країнах ЄС:

1. Попит на видобуток матеріалів	0,84
2. Коефіцієнт використання циркулярних матеріалів	0,62
3. Утворення побутових відходів на душу населення	0,61
4. Утворення відходів пакування на душу населення	0,58
5. Коефіцієнт переробки побутових відходів	0,58
6. Приватні інвестиції та валова додана вартість, пов'язані з ЦЕ	0,57
7. Утворення відходів пластикового пакування на душу населення	0,55
8. Утворення відходів на душу населення	0,46

9. Відношення ВВП до попиту на видобуток матеріалів	0,45
10.Викиди парникових газів від виробничої діяльності	0,44
11.Рівень переробки відходів електричного обладнання	0,43
12.Особи, зайняті в секторах циркулярної економіки	0,43
13.Коефіцієнт переробки всіх відходів, за винятком основних мінеральних відходів	0,41
14.Рівень переробки пакувальних відходів за типом упаковки	0,40
15.Утворення відходів, за винятком основних мінеральних відходів, на одиницю ВВП	0,34
16.Харчові відходи	0,33

Таким чином, можна спостерігати вже суттєві відмінності у вкладі різних показників в розвиток ЦЕ в Україні та країнах ЄС. Для підтвердження цієї гіпотези розраховано коефіцієнт кореляції між середніми значеннями показників України та ЄС, який становив -0,092.

	Україна	ЄС
Україна	1	
ЄС	-0,092	1

Дана величина (близька за абсолютною величиною до 0) свідчить про відсутність лінійного зв'язку між середніми значеннями показників розвитку ЦЕ в Україні та ЄС. Тобто, якщо в ЄС окремі показники високі або наближаються до 1 (наприклад, попит на видобуток матеріалів – 0,84, коефіцієнт використання циркулярних матеріалів – 0,62), то в Україні ці показники є найнижчими в сукупності (попит на видобуток матеріалів – 0,26, коефіцієнт використання циркулярних матеріалів – 0,40), і навпаки.

Щодо позитивної зростаючої динаміки, то вона характерна для наступних нормалізованих показників (табл. 2.2):

в Україні:

1. Утворення відходів, за винятком основних мінеральних відходів, на одиницю ВВП – поступове зменшення абсолютних показників
2. Викиди парникових газів від виробничої діяльності – поступове зменшення абсолютних показників

Таблиця 2.2

Нормалізовані значення за показниками циркулярної економіки (власна розробка)

Позначення	Показник	Територіальна одиниця	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Середнє значення
П1.1	Попит на видобуток матеріалів	Україна	0,06	0,00	0,13	0,16	0,56	0,46	0,15	0,28	0,09	0,23	0,27	0,15	1,00	0,24	0,09	0,26
		ЄС	0,91	0,00	1,00	0,55	0,39	0,60	0,38	0,33	0,35	0,34	0,68	0,22	0,46	0,70	5,75	0,84
П1.2	Продуктивність ресурсів	Україна	0,13	0,05	0,00	0,09	1,00	0,21	0,30	0,79	0,18	0,66	0,09	0,37	0,34	0,95		0,37
		ЄС	0,69	0,00	1,00	0,51	0,33	0,46	0,49	0,30	0,28	0,41	0,15	0,45	0,70	0,55		0,45
П1.3	Утворення відходів	Україна	0,39	0,31	0,30	0,30	0,59	0,66	0,71	0,47	0,51	0,20	0,12	0,00	1,00	0,99		0,47
		ЄС	0,52	0,44	0,36	0,39	0,41	0,40	0,39	0,19	0,00	0,50	1,00	0,79	0,58			0,46
П1.4	Утворення відходів, за винятком основних мінеральних відходів	Україна		0,00	0,21	0,24	0,62	0,56	0,50	0,62	0,69	0,77	0,82	0,87	0,98	1,00		0,61
		ЄС	0,00	0,06	0,11	0,11	0,11	0,22	0,33	0,39	0,44	0,44	0,44	0,72	1,00			0,34
П1.5	Утворення побутових відходів	Україна		1,00	0,16	0,00	0,75	0,55	0,52	0,58	0,41	0,41	0,17					0,45
		ЄС	0,56	0,64	0,85	1,00	1,00	0,96	0,73	0,62	0,62	0,53	0,24	0,00	0,35	0,42		0,61
П1.6	Харчові відходи	Україна		0,00	0,00	0,32	0,33	0,42	0,31	0,33	0,43	0,42	0,65	0,84	1,00	0,74		0,45
		ЄС											1,00	0,00	0,00			0,33
П1.7	Утворення відходів пакування	Україна		0,95	0,52	0,85	0,60	1,00	0,30	0,60	0,55	0,62	0,76	0,72	0,00	0,93		0,65
		ЄС	1,00	0,92	0,98	0,92	0,79	0,68	0,58	0,44	0,46	0,35	0,33	0,00	0,10			0,58
П1.8	Утворення відходів пластикового пакування	Україна		1,00	0,00	0,98	0,95	0,94	0,86	0,89	0,90	0,87	0,94	0,81	0,75	0,91		0,83
		ЄС	1,00	0,96	0,95	0,90	0,78	0,66	0,57	0,44	0,37	0,26	0,21	0,00	0,03			0,55
П2.1	Коефіцієнт переробки побутових відходів	Україна		1,00	0,46	0,00	0,16	0,56	0,58	0,63	0,40	0,28	0,10					0,42
		ЄС				0,00	0,23	0,40	0,52	0,57	0,58	0,68	0,87	1,00	0,90			0,58
П2.2	Коефіцієнт переробки відходів, за винятком мінеральних відходів	Україна		0,78	0,93	1,00	0,25	0,34	0,42	0,19	0,15	0,10	0,05	0,00	0,01	0,19		0,34
		ЄС	0,00	0,00	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	0,80	0,60			0,41
П2.3	Рівень переробки пакувальних відходів за	Україна		1,00	0,61	0,75	0,11	0,67	0,34	0,11	0,00	0,00	0,07	0,07	0,21	0,61		0,35
		ЄС	0,00	0,06	0,33	0,39	0,69	0,72	1,00	0,97	0,44	0,22	0,00	0,00	0,36			0,40

Позначення	Показник	Територіальна одиниця	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Середнє значення
	типом упаковки																	
П2.4	Рівень переробки відходів електричного та електронного обладнання	Україна		0,36	0,30	0,22	0,42	0,39	0,66	0,45	0,27	0,74	1,00	0,77	0,56	0,00		0,47
		ЄС				0,57	0,34	0,03	1,00	0,94	0,29	0,17	0,71	0,26	0,00			0,43
П3.1	Коефіцієнт використання циркулярних матеріалів	Україна					0,46	0,49	0,50	1,00	0,17	0,19	0,00					0,40
		ЄС	0,31	0,00	0,50	0,62	0,56	0,62	0,75	0,81	0,87	0,62	0,62	0,56	0,81	1,00		0,62
П4.1	Приватні інвестиції, пов'язані з секторами циркулярної економіки	Україна										0,88		0,63	0,00	1,00		0,63
		ЄС					0,00	0,33	0,33	0,67	0,67	1,00	0,67	0,67	0,67	0,67		0,57
П4.2	Особи, зайняті в секторах циркулярної економіки	Україна			1,00	0,94	0,59	0,20	0,12	0,07	0,09	0,15	0,02	0,00				0,32
		ЄС					0,00	0,04	0,19	0,36	0,48	0,66	0,62	1,00	0,38	0,54		0,43
П5.2	Викиди парникових газів від виробничої діяльності	Україна	0,08	0,00	0,01	0,04	0,42	0,72	0,65	0,81	0,85	0,84	1,00	0,95				0,53
		ЄС	0,00	0,06	0,14	0,26	0,38	0,35	0,36	0,31	0,39	0,56	0,90	0,72	0,76	1,00		0,44

в ЄС:

1. Утворення відходів, за винятком основних мінеральних відходів, на одиницю ВВП – поступове зменшення абсолютних показників
2. Коефіцієнт переробки побутових відходів – поступове зростання показників
3. Коефіцієнт використання циркулярних матеріалів – поступове зростання показників
4. Викиди парникових газів від виробничої діяльності – поступове зменшення абсолютних показників

Як видно, позитивна зростаюча тенденція до покращення розвитку ЦЕ відбувається за рахунок зменшення утворення відходів та викидів парникових газів в Україні та ЄС, зростання частки перероблених побутових відходів та використання циркулярних матеріалів в тому числі в країнах ЄС.

На рис. 2.1 відображено нормалізовані дані за окремими показниками ЦЕ для 2020 року та їх середні значення за період дослідження. Як бачимо, за показником попиту на видобуток матеріалів в країнах ЄС значення в 2020 році (0,68) було на 16 відсоткових пунктів нижчим за його середнє значення за весь період (0,84), що свідчить про погіршення даного показника в країнах ЄС в цьому році. В Україні це значення було практично однаковим (0,27) в порівнянні з його середнім значенням за період (0,26). Втім варто відмітити більш ніж в три рази нижчий рівень цього показника в Україні у порівнянні з країнами ЄС, що говорить нам про дуже низький рівень розвитку ЦЕ за даною змінною.

Відношення ВВП до попиту на видобуток матеріалів в країнах ЄС та в Україні мало низький рівень у 2020 році в порівнянні з їх середніми значенням (на 30 відсоткових пунктів нижче для ЄС та на 28 відсоткових пунктів нижче для України). Така ситуація свідчить про розрив у показниках створення доданої вартості та попиту на ресурси, що може вказувати на більшу частку у ВВП доданої вартості, отриманої від сфери послуг, де матеріальні ресурси задіяні в значно меншій мірі. Також варто пам'ятати, що дана змінна не включає потоки

матеріальних ресурсів, пов'язані з імпортом та експортом сировини та продукції, що походять з-за меж місцевої економіки.

Коефіцієнт переробки побутових відходів для країн ЄС перевищив його середнє значення на 29 відсоткових пунктів, що свідчить про зростаючий рух до розвитку ЦЕ в країнах ЄС за цим показником. В Україні ця тенденція мала протилежний і негативний характер: розрив у 2020 році (0,10) з його середнім значенням за весь період (0,42) становив 32 відсоткові пункти. Схожі зміни спостерігались щодо коефіцієнту переробки всіх відходів, за винятком основних мінеральних відходів: зростання в ЄС та зниження в Україні.

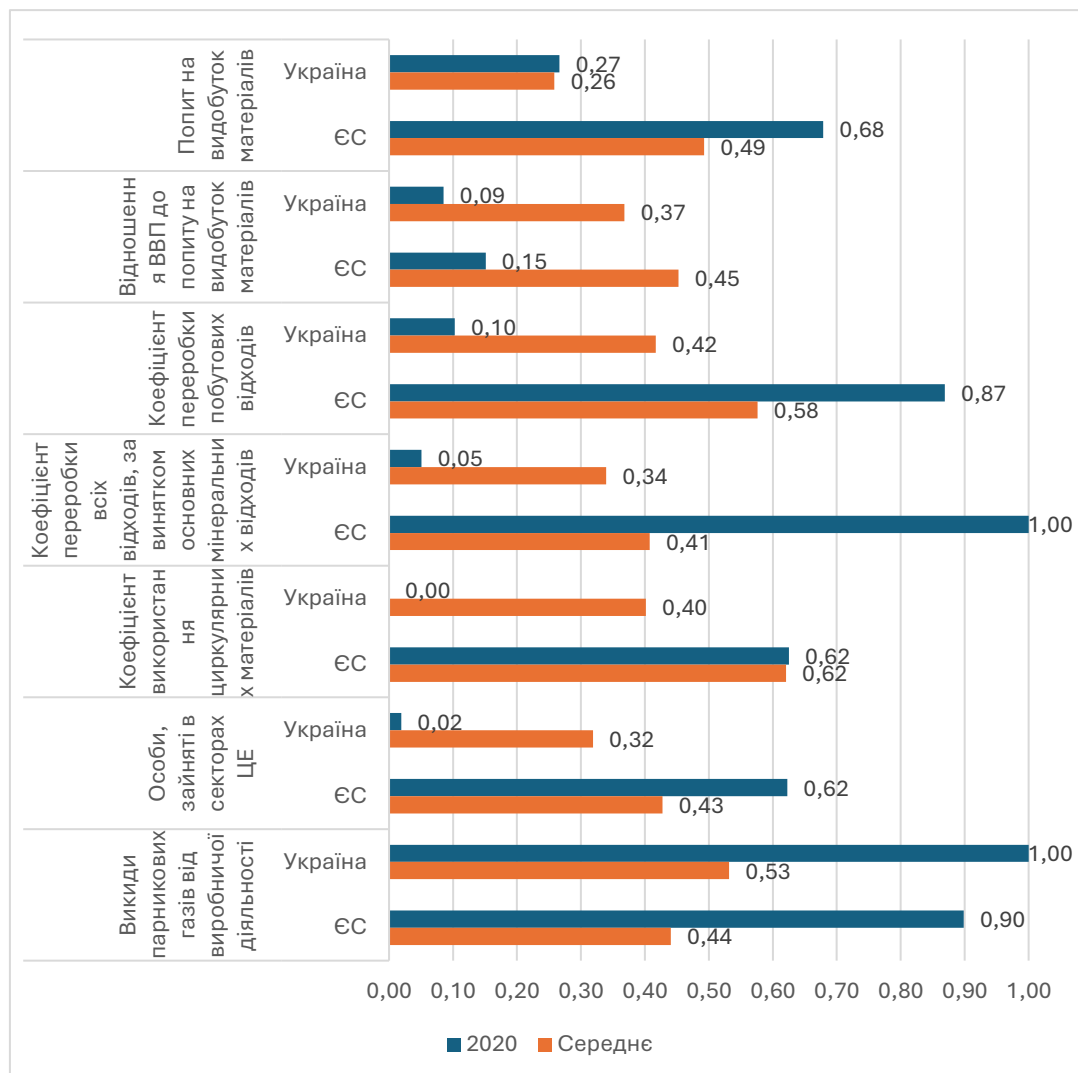


Рис. 2.1. Нормалізовані значення окремих показників ЦЕ за 2020 р. та їх середні значення за 2010-2024 рр. (власна розробка)

Коефіцієнт використання циркулярних матеріалів в країнах ЄС в 2020 році зрівнявся з його середнім значенням і становив 0,62. В Україні його значення було найнижчим у 2020 році (0,00) за весь період дослідження.

За кількістю осіб, зайнятих в секторах ЦЕ, бачимо що в Україні в 2020 році значення цієї змінної було значно нижчим (0,02) від середнього за весь період (0,32), що свідчить про дуже малу частку українського виробництва, яке спрямоване на розвиток безвідходних технологій. В ЄС цей показник навпаки зріс до рівня 0,62 в порівнянні з середнім значенням 0,43, тобто країни-члени спрямовано рухаються до розвитку ЦЕ, стимулюючи зайнятість саме в сферах, задіяних до цього.

Позитивні характеристики притаманні показнику викидів парникових газів від виробництва і в ЄС, і в Україні. В обох регіонах значення 2020 року були вищими за їх середню величину, що засвідчує зниження негативного впливу цього показника на навколишнє середовище. В Україні цьому сприяла серед іншого низка регуляторних актів, спрямованих на захист довкілля, зокрема, прийнятий у 2019 році ЗУ «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів».

Однак це лише один рік аналізу показників ЦЕ, і завжди краще спостерігати за динамічними змінами. Крім того, окремі показники не дають розуміння загальної картини розвитку ЦЕ. Тому далі здійснено порівняння нових послідовностей нормалізованих значень з референтною послідовністю.

2.3. Комплексний аналіз розвитку циркулярної економіки в Україні та ЄС

При визначенні референтної послідовності (або еталонного значення) ми керувались наступними міркуваннями:

- еталонні значення можуть бути визначені за середніми показниками по країні для того, щоб можна було спостерігати за компаніями та законодавчими стимулами чи обмеженнями;

– еталонні значення можуть бути визначені за середніми показниками по ЄС для того, щоб можна було визначити можливість України відповідати нормативам ЦЕ в ЄС;

– еталонні значення встановлюються рівними 1. Оскільки дані нормалізуються таким чином, що чим ближче значення до одиниці, тим краще, референтна послідовність, то значення рівне 1, відповідає максимально можливій величині для кожного критерію.

Таким чином, розрахунок коефіцієнта відношення Грея (GRC) здійснено за трьома альтернативними варіантами, коли:

1. $y^*(k) = \overline{y_m(k)}$.
2. $y^*(k) = \overline{y_m(k)}_{\text{ЄС}}$.
3. $y^*(k) = 1$.

Спочатку проаналізуємо розраховані значення коефіцієнта відношення Грея (GRC), коли еталонні значення визначені за середніми показниками по країні, тобто $y^*(k) = \overline{y_m(k)}$. В табл. 2.3 наведено розраховані значення коефіцієнта відношення Грея (GRC) для кожного показника за формулами (2.5)-(2.8).

Таблиця 2.3

Розраховані значення коефіцієнта відношення Грея (GRC) для кожного показника циркулярної економіки (власна розробка)

Позначення	Показник	Територіальна одиниця	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Середнє значення
ПІ.1	Попит на видобуток матеріалів	Україна	0,67	0,60	0,76	0,81	0,57	0,66	0,80	0,97	0,71	0,94	1,00	0,78	0,34	0,98	0,70	0,75
		ЄС	0,43	0,39	0,38	0,92	0,80	0,81	0,79	0,68	0,73	0,71	0,65	0,55	1,00	0,62		0,67
ПІ.2	Продуктивність ресурсів	Україна	0,57	0,50	0,46	0,53	0,33	0,67	0,82	0,43	0,63	0,52	0,53	1,00	0,92	0,35		0,59
		ЄС	0,54	0,38	0,34	0,84	0,71	0,98	0,89	0,66	0,63	0,89	0,48	1,00	0,53	0,76		0,69
ПІ.3	Утворення відходів	Україна	0,77	0,64	0,62	0,62	0,70	0,59	0,53	1,00	0,87	0,51	0,44	0,37	0,34	0,34		0,60
		ЄС	0,87	1,00	0,78	0,84	0,92	0,88	0,84	0,54	0,40	0,93	0,36	0,48	0,74			0,74
ПІ.4	Утворення відходів, за винятком основних мінеральних відходів	Україна		0,35	0,45	0,47	1,00	0,90	0,79	1,00	0,82	0,68	0,62	0,56	0,47	0,45		0,66
		ЄС	0,50	0,55	0,60	0,60	0,60	0,75	1,00	0,88	0,77	0,77	0,77	0,47	0,34			0,66
ПІ.5	Утворення побутових відходів	Україна		0,38	0,55	0,43	0,55	0,86	0,93	0,79	1,00	1,00	0,56					0,71
		ЄС	0,90	0,95	0,57	0,45	0,45	0,48	0,74	1,00	1,00	0,82	0,47	0,34	0,56	0,64		0,67
ПІ.6	Харчові відходи	Україна		0,40	0,40	0,71	0,74	0,96	0,70	0,74	1,00	0,95	0,61	0,43	0,35	0,51		0,65
		ЄС											0,67	1,00	1,00			0,89
ПІ.7	Утворення відходів пакування	Україна		0,56	0,79	0,67	0,96	0,52	0,53	0,95	0,84	1,00	0,81	0,89	0,36	0,58		0,73
		ЄС	0,41	0,47	0,43	0,46	0,59	0,75	1,00	0,69	0,72	0,56	0,55	0,34	0,38			0,57
ПІ.8	Утворення відходів пластикового пакування	Україна		0,75	0,35	0,77	0,82	0,84	0,97	0,92	0,91	0,96	0,82	1,00	0,88	0,88		0,84
		ЄС	0,41	0,43	0,44	0,47	0,58	0,76	1,00	0,76	0,66	0,52	0,48	0,36	0,37			0,56
ПІ.2.1	Коефіцієнт переробки побутових відходів	Україна		0,35	0,91	0,43	0,56	0,70	0,67	0,61	1,00	0,71	0,50					0,64
		ЄС				0,34	0,46	0,64	0,86	1,00	0,99	0,75	0,50	0,41	0,47			0,64
ПІ.2.2	Коефіцієнт переробки відходів, за винятком мінеральних відходів	Україна		0,43	0,36	0,34	0,80	1,00	0,81	0,70	0,64	0,58	0,54	0,50	0,51	0,70		0,61
		ЄС	0,43	0,43	0,43	0,50	0,60	0,75	1,00	0,78	0,62	0,44	0,34	0,44	0,62			0,57
ПІ.2.3	Рівень переробки пакувальних відходів за	Україна		0,34	0,57	0,46	0,58	0,51	1,00	0,58	0,49	0,49	0,55	0,55	0,70	0,57		0,57
		ЄС	0,44	0,48	0,85	1,00	0,52	0,50	0,35	0,36	0,90	0,65	0,44	0,44	0,92			0,60

Позначення	Показник	Територіальна одиниця	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Середнє значення
	типом упаковки																	
П2.4	Рівень переробки відходів електричного та електронного обладнання	Україна		0,75	0,65	0,55	0,91	0,81	0,63	1,00	0,61	0,54	0,36	0,50	0,81	0,39		0,66
		ЄС				0,88	1,00	0,54	0,44	0,47	0,87	0,69	0,66	0,81	0,52			0,69
П3.1	Коефіцієнт використання циркулярних матеріалів	Україна					1,00	0,90	0,89	0,39	0,67	0,69	0,50					0,72
		ЄС	0,51	0,34	0,73	1,00	0,85	1,00	0,72	0,63	0,56	1,00	1,00	0,85	0,63	0,46		0,73
П4.1	Приватні інвестиції, пов'язані з секторами циркулярної економіки	Україна										0,56	0,34	1,00	0,34	0,46		0,54
		ЄС					0,45	0,74	0,74	1,00	1,00	0,53	1,00	1,00	1,00	1,00		0,85
П4.2	Особи, зайняті в секторах циркулярної економіки	Україна			0,45	0,47	0,74	1,00	0,85	0,78	0,80	0,89	0,71	0,69				0,74
		ЄС					0,47	0,50	0,64	0,94	1,00	0,64	0,69	0,39	1,00	0,83		0,71
П5.2	Викиди парникових газів від виробничої діяльності	Україна	0,53	0,47	0,48	0,50	1,00	0,83	0,99	0,69	0,65	0,65	0,52	0,56	0,47	0,47		0,63
		ЄС	0,46	0,51	0,58	0,72	0,98	0,89	0,93	0,82	1,00	0,84	0,45	0,60	0,56	0,40		0,70

На основі отриманих даних коефіцієнта відношення Грея обчислено реляційний ступінь Грея (*Grey Relational Degree, GRD*) за формулою (2.9). Припускалося, що всі показники є рівновагомими. В табл. 2.4 зображено GRD для України та ЄС в річному розрізі. Як видно з табл. 2.4, у 2010, 2014-2017, 2019, 2021 роках GRD для України перевищував середній GRD по країнах ЄС.

Таблиця 2.4

Розраховані значення реляційного ступеня Грея (GRD) (власна розробка)

Країна/Період	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Україна	0,63	0,50	0,56	0,55	0,75	0,78	0,79	0,77	0,77	0,73	0,59	0,68	0,54	0,56	0,70
ЄС	0,59	0,54	0,60	0,68	0,65	0,73	0,78	0,74	0,78	0,70	0,61	0,59	0,64	0,71	-

Щоб підтвердити правильність розрахунків та порівняльну можливість GRD для України та ЄС, нами проведено додаткові розрахунки для окремих країн ЄС з одним з найбільших та найменших GRD. Для цього обрано Францію та Румунію. Отримані нами результати узгоджуються з отриманими висновками в роботі [106], де автори побудували власні показники ЦЕ за допомогою аналізу DEA, і обрані країни також отримали найвищі та найнижчі показники в рейтингу. Країни з найвищими показниками загалом демонструють більш стабільні GRD з часом. Це може свідчити про те, що згадані країни вже досягли певної передової практики та досягли цілей і зараз зберігають хороші результати. Причиною того, чому вони мають кращий рейтинг порівняно з іншими в аналізі, є впровадження успішної політики, пов'язаної з відновлюваною енергією, розширення доступу до чистого палива, найвищі чисті показники охоплення освітою з найвищими індексами сприйняття корупції. Все це узгоджується з теорією економічного зростання нобелівського лауреата Ромера [122], де стан економіки сильно залежить від інвестицій у людський капітал і науково-дослідні роботи, а також працею Тріса та ін. [140], у якій було зроблено модифікацію моделі Менкью-Ромера-Уейла на основі емпіричних даних щодо 28 країн ЄС, де було встановлено, що змінні ЦЕ, додані в модель, мають значний вплив на економічне зростання, як і інфраструктура ЦЕ та інновації, які були визнані важливими для сталого економічного зростання. Зокрема, в роботі [141] автори пояснюють,

наприклад, що уряд Франції надає субсидії на технології та галузі в цілому, пов'язані з низьким рівнем викидів вуглецю та з низьким впливом на навколишнє середовище.

Крім того, отримані результати підтверджують звіт Європейської комісії [63], в якому визначено 9 держав-членів ЄС, які ризикували не досягти цілей щодо політики переробки та утилізації відходів. Наприклад, проблема поводження з відходами в Румунії залишалася ключовим викликом, а також вторинне використання матеріалів, яке становило близько 1,5% у 2015 році, порівняно із середнім показником для ЄС-28 у 11,7% [62], з найвищими показниками на особу, що утворювалися в ЄС. В роботі [119] досліджувалися бар'єри впровадження концепцій ЦЕ в Європі та було виявлено, що малі та середні підприємства (МСП), будучи основними генераторами економіки країн, стикаються з проблемами, пов'язаними з відсутністю підтримки з боку мережі попиту та пропозиції, браком фінансових можливостей для переходу на концепцію ЦЕ, що, знову ж таки, є характеристикою країн, які займають нижчий рейтинг. Багато досліджень [91,119,135,141] виявили, що багато країн, які мають найбільше проблем із ЦЕ, характеризуються нижчою обізнаністю щодо цих тем не лише серед споживачів, але й серед компаній та органів влади. Тому, окрім законодавства та планів дій, які встановлюють цілі, має бути посилення дій і гравців, які вимірюють і контролюють, чи досягаються ці поставлені цілі. Необхідно підвищити обізнаність громадськості та освіти щодо ЦЕ, оскільки це також збільшить тиск на уряд і промисловість, щоб вони працювали над досягненням цілей ЦЕ та сталого розвитку [2,3]. Сьогодні це легше досягти завдяки більшій доступності даних та інформації, які легко доступні онлайн.

На рис. 2.2 відображено динаміку зміни реляційного ступеня Грея (GRD). Як бачимо, відбувається певна синхронна зміна показника GRD в динаміці як для країн з найкращими і найгіршими показниками, так і для України і ЄС в цілому. Цю взаємозалежність підтверджує високе значення коефіцієнта парної кореляції:

	<i>Франція</i>	<i>Румунія</i>	<i>Україна</i>	<i>ЄС</i>
Франція	1			
Румунія	0,67709	1		
Україна	0,520245	0,733835	1	
ЄС	0,667107	0,790983	0,701592	1

У 2016-2019 рр. усі країни та ЄС загалом демонстрували збільшення значень GRD, що вказує на те, що вони вдосконалювали свої заходи циркулярної економіки за допомогою змін у всій системі. Країни з найнижчим GRD мали вищі індекси корупції у світових рейтингах, а також нижчі індекси ефективності уряду та гірші результати PISA в освіті. Таким чином, існують деякі корелюючі фактори між найкращими та найгіршими, які, безперечно, впливають на їхні результати. Наприклад, проблеми Румунії з найгіршим рейтингом включають низьку екологічну обізнаність у румунських компаніях, не стабілізовану законодавчу базу, незавершені проекти, які мають створити інтегровані системи управління відходами, відсутність належної інфраструктури тощо [2]. Як бачимо, за країнними показниками GRD, Україна знаходиться нижче в рейтингу від Франції (окрім 2010 р., 2014-2018 рр. та 2021 р.) та Румунії (окрім 2010 р., 2014-2016 рр., 2019 та 2021 рр.). Отже, можна припустити, що Україна, як і країни ЄС синхронно змінювала свої стратегії поведінки щодо розвитку ЦЕ, поступово впроваджуючи кращі європейські практики. Тому політики можуть провести повне порівняння та зосередитися на подальшому аналізі конкретних країн, щоб знайти хороші та погані практики.

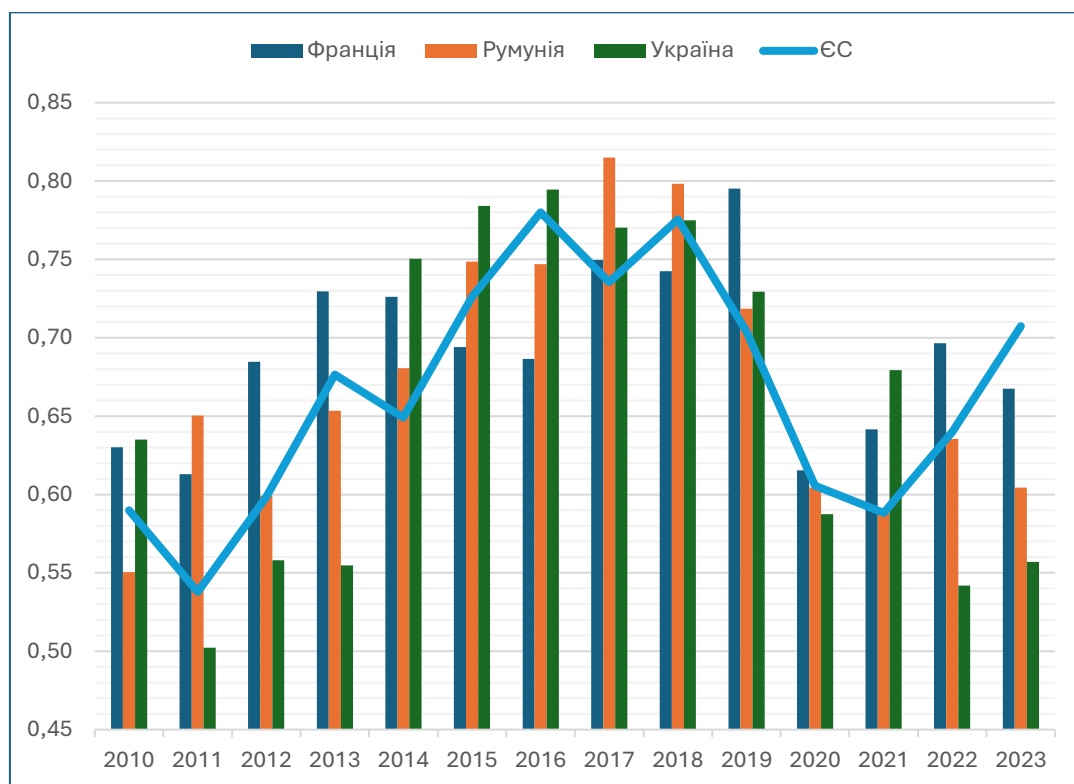


Рис. 2.2. Порівняльна динаміка реляційного індексу Грея для Франції, Румунії, України та ЄС (власна розробка)

Для більш детального аналізу порівняємо отримані результати реляційного індексу Грея для Франції, Румунії, України та ЄС за окремими показниками. Як і в попередньому випадку, зроблено припущення, що всі періоди рівновагомі. В табл. 2.5 наведено значення GRD, а також місце кожного показника в рейтингу - ранг.

Таблиця 2.5

Результати реляційного індексу Грея для Франції, Румунії, України та ЄС за окремими показниками (власна розробка)

Позначення	Показник	GRD				Ранг			
		Франція	Румунія	Україна	ЄС	Франція	Румунія	Україна	ЄС
ПІ.1	Попит на видобуток матеріалів	0,65	0,62	0,75	0,67	9	11	2	9
ПІ.2	Продуктивність ресурсів	0,60	0,73	0,59	0,69	15	3	14	7
ПІ.3	Утворення відходів на особу	0,58	0,69	0,60	0,74	16	7	13	3
ПІ.4	Утворення відходів, за винятком основних	0,66	0,52	0,66	0,66	8	16	7	11

Позначення	Показник	GRD				Ранг			
		Франція	Румунія	Україна	ЄС	Франція	Румунія	Україна	ЄС
	мінеральних відходів, до ВВП								
П1.5	Утворення побутових відходів на особу	0,75	0,65	0,71	0,67	3	9	6	10
П1.6	Харчові відходи	0,96	0,96	0,65	0,89	1	1	9	1
П1.7	Утворення відходів пакування на особу	0,61	0,61	0,73	0,57	14	12	4	15
П1.8	Утворення відходів пластикового пакування на особу	0,71	0,55	0,84	0,56	5	13	1	16
П2.1	Коефіцієнт переробки побутових відходів	0,64	0,62	0,64	0,64	10	10	10	12
П2.2	Коефіцієнт переробки відходів, за винятком мінеральних відходів	0,62	0,72	0,61	0,57	13	4	12	14
П2.3	Рівень переробки пакувальних відходів за типом упаковки	0,68	0,54	0,57	0,60	6	14	15	13
П2.4	Рівень переробки відходів електричного та електронного обладнання	0,67	0,71	0,66	0,69	7	6	8	8
П3.1	Коефіцієнт використання циркулярних матеріалів	0,63	0,72	0,72	0,73	11	5	5	4
П4.1	Приватні інвестиції, пов'язані з секторами ЦЕ	0,90	0,53	0,54	0,85	2	15	16	2
П4.2	Особи, зайняті в секторах ЦЕ	0,71	0,80	0,74	0,71	4	2	3	5
П5.2	Викиди парникових газів від виробничої діяльності	0,63	0,67	0,63	0,70	12	8	11	6

З аналізу отриманих значень показників табл. 2.5, видно за попитом на ресурси (П1.1) Україна лідирує, однак за продуктивністю використання цих ресурсів (частка у ВВП – П1.2) посідає останнє місце. За показниками утворення відходів (П1.3-П1.8) місце України змінюється в рейтингу залежно від показника. Втім варто відмітити низький рівень показника «Харчові відходи», що пов'язано із відсутністю жорсткої політики сортування відходів в розглядуваний період. За показниками коефіцієнтів переробки відходів (П2.1-П2.4) Україна посідає середнє місце. Така ситуація пояснюється знову ж таки відсутністю політики утилізації відходів в країні, а відповідно більша частка відходів облікувалась як

змішані і не потрапила до статистики відходів аналізу ЦЕ. Аналогічно можна дати пояснення високому значенню показника ПЗ.1 використання циркулярних матеріалів. Щодо приватних інвестицій, пов'язаних з секторами ЦЕ, значення цього показника для України є доволі низьким (0,54) і знаходиться на рівні значення Румунії. Низьку залученість приватних інвестицій в циркулярну економіку, в тому числі і прямих іноземних інвестицій, можна пояснити високим індексом корупції України у світових рейтингах, низьким індексом ефективності уряду, воєнною агресією росії тощо.

На рис. 2.3 відображено вклад кожного показника у відсотковому вираженні у розвиток циркулярної економіки. Існують суттєві відмінності між часткою показників в Україні та в країнах ЄС. Зокрема, найбільший вклад у Франції, Румунії та країнах ЄС загалом здійснює показник «Харчові відходи». В Україні найбільший вклад має показник «Утворення відходів пластикового пакування на особу», що, як зазначалось вище, пов'язане з відсутністю уніфікованої з ЄС жорсткої політики сортування відходів. Найменший вклад по країнах ЄС мають показники утворення відходів (окрім харчових відходів), в той час, як в Україні, найменше значення має показник «Приватні інвестиції, пов'язані з секторами ЦЕ».

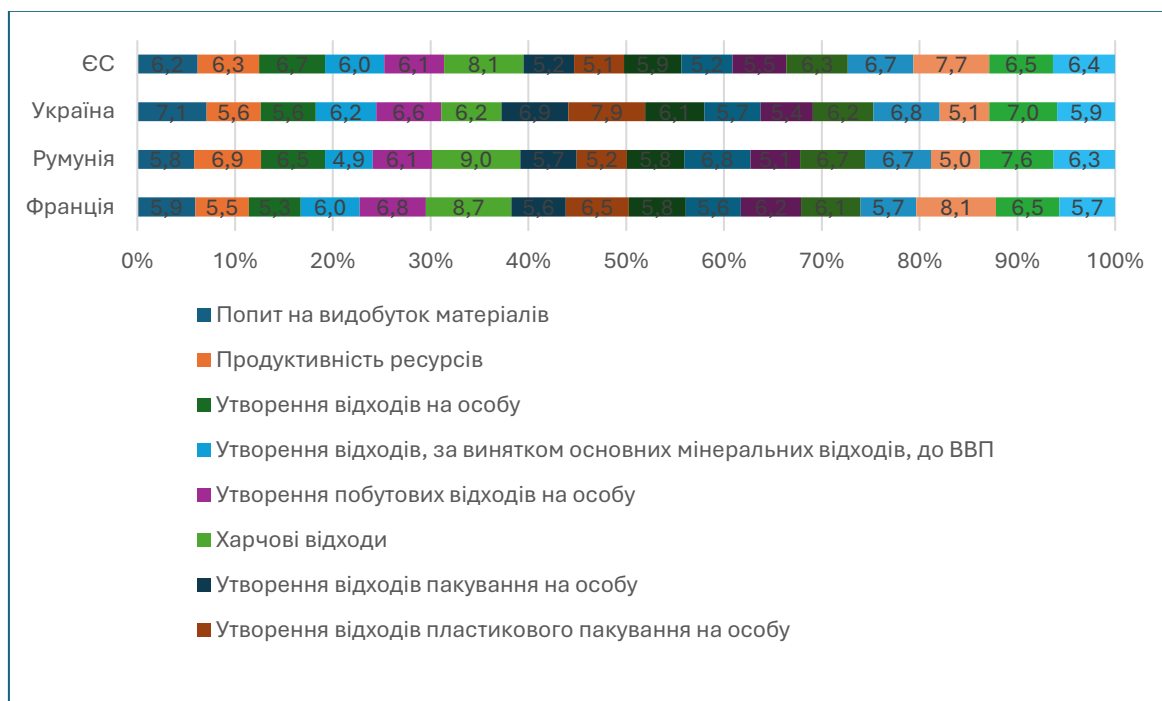


Рис. 2.3. Вклад показників в розвиток ЦЕ, % (власна розробка)

Далі проведемо аналіз стійкості отриманих результатів. Для цього використаємо два альтернативні підходи до обчислення коефіцієнта відношення Грея (GRC), коли еталонні значення можуть бути визначені за середніми показниками по ЄС ($y^*(k) = \overline{y_m(k)}_{\text{ЄС}}$); еталонні значення встановлюються рівними 1 ($y^*(k) = 1$). Як і в попередньому випадку, тут також буде надано рівну вагу всім показникам. Таким чином, можна отримати порівняльні результати та прокоментувати їх. Отже, в додатку В наведено значення коефіцієнта відношення Грея (GRC), розраховані за формулами $y^*(k) = \overline{y_m(k)}_{\text{ЄС}}$ (табл. В1) та $y^*(k) = 1$ (табл. В2). В табл. 2.6 відображено реляційний ступінь Грея (GRD), обчислений за формулою (2.9) для різних $y^*(k)$.

Таблиця 2.6

Реляційний ступінь Грея (GRD), обчислений за формулою (2.9) для різних $y^*(k)$ (власна розробка)

Період	$y^*(k) = \overline{y_m(k)}$		$y^*(k) = \overline{y_m(k)}_{\text{ЄС}}$		$y^*(k) = 1$	
	Україна	ЄС	Україна	ЄС	Україна	ЄС
2010	0,63	0,59	0,59	0,59	0,38	0,57
2011	0,50	0,54	0,53	0,54	0,63	0,47
2012	0,56	0,60	0,60	0,60	0,48	0,64
2013	0,55	0,68	0,58	0,68	0,55	0,55
2014	0,75	0,65	0,78	0,65	0,55	0,51
2015	0,78	0,73	0,76	0,73	0,56	0,51
2016	0,79	0,78	0,79	0,78	0,50	0,56
2017	0,77	0,74	0,77	0,74	0,56	0,55
2018	0,77	0,78	0,66	0,78	0,48	0,50
2019	0,73	0,70	0,63	0,70	0,53	0,53
2020	0,59	0,61	0,56	0,61	0,53	0,62
2021	0,68	0,59	0,61	0,59	0,56	0,55
2022	0,54	0,64	0,65	0,64	0,61	0,55
2023	0,56	0,71	0,56	0,71	0,69	0,68
2024	0,70	-	0,49	-	0,35	-

Для перевірки стійкості отриманих результатів розраховано кореляційне відношення між показниками, обчисленими за альтернативними підходами окремо для України та ЄС:

Україна	$y^*(k) = \overline{y_m(k)}$	$y^*(k) = \overline{y_m(k)}_{\text{ЄС}}$	$y^*(k) = 1$
$y^*(k) = \overline{y_m(k)}$	1		
$y^*(k) = \overline{y_m(k)}_{\text{ЄС}}$	0,830443	1	
$y^*(k) = 1$	-0,32799	-0,12679	1

ЄС	$y^*(k) = \overline{y_m(k)}$	$y^*(k) = \overline{y_m(k)}_{\text{ЄС}}$	$y^*(k) = 1$
$y^*(k) = \overline{y_m(k)}$	1		
$y^*(k) = \overline{y_m(k)}_{\text{ЄС}}$	1	1	
$y^*(k) = 1$	-0,06121	-0,06121	1

Як видно, існує тісний позитивний зв'язок між показниками, розрахованими за усередненими значеннями, і відсутній негативний зв'язок між показниками, розрахованими за еталонним значенням, рівним 1, і порівняними з їх усередненими величинами. Таким чином, можна стверджувати про порівняльність результатів, отриманих за усередненими показниками, і їх відмінність між еталонним значенням і усередненими величинами.

Отже, наявні відмінності, хоча й несуттєві між значеннями GRD, обчисленими за різних еталонних значень $y^*(k)$ референтної послідовності. Варто зауважити, що для країн ЄС значення GRD, обчислене за $y^*(k) = \overline{y_m(k)}$ та $y^*(k) = \overline{y_m(k)}_{\text{ЄС}}$, є однаковими, оскільки порівняння в обох випадках здійснювалось за середніми показниками по ЄС. Для України ці значення є різними, що й стане метою подальшого аналізу й побудови сценаріїв розвитку ЦЕ.

На рис. 2.4 відображено порівняння відхилень значень реляційного ступеня Грея (GRD) в динаміці, розрахованих між:

А) Середніми значеннями по ЄС і середніми значеннями по країні для України. Як видно, в 2011-2014 є незначне перевищення GRD за середнім по країні значенням на середнім значенням по ЄС. Також у 2022 році спостерігалась така ж тенденція, спровокована швидше стрімким зниженням статистичних одиниць дослідження у зв'язку з військовою агресією росії (статистичні дані облікувались без урахування тимчасово окупованих російською федерацією територій та частини територій, на яких ведуться чи велися бойові дії). Для інших періодів характерне суттєве негативне відхилення показника

Б) Еталонними значеннями, рівними 1, і середніми значеннями по країні для України. В даному випадку маємо негативних відхилень набагато більше, що пов'язано з великими розбіжностями у реальному стані розвитку ЦЕ в Україні і його наближенням до еталонного рівня.

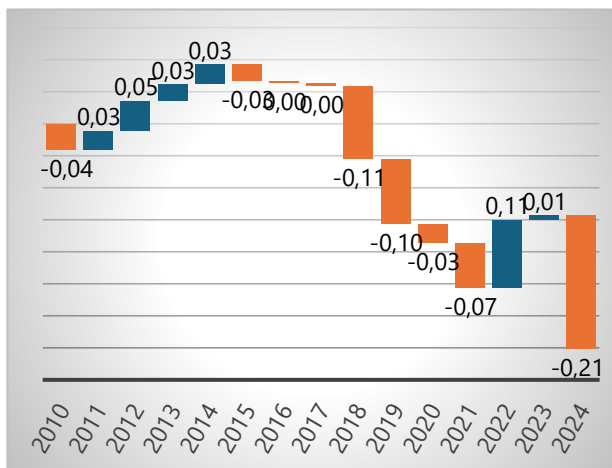
В) Еталонними значеннями, рівними 1, і середніми значеннями по ЄС для України. Також спостерігається ситуація перевищення негативних відхилень між значеннями показників в динаміці. Однак варто відмітити схожість поведінки відхилень в даному випадку в порівнянні з попереднім випадком Б).

Г) Еталонними значеннями, рівними 1, і середніми значеннями по ЄС для країн ЄС. Останній графік демонструє порівняння показників, але вже для ЄС загалом. Як видно, тенденція зміни відхилень є дуже схожою до випадків Б) та В). Це можна пояснити однаковість підходів до оцінки нормативів розвитку ЦЕ у цих випадках, які базуються на використанні стандартів ЄС щодо розвитку ЦЕ.

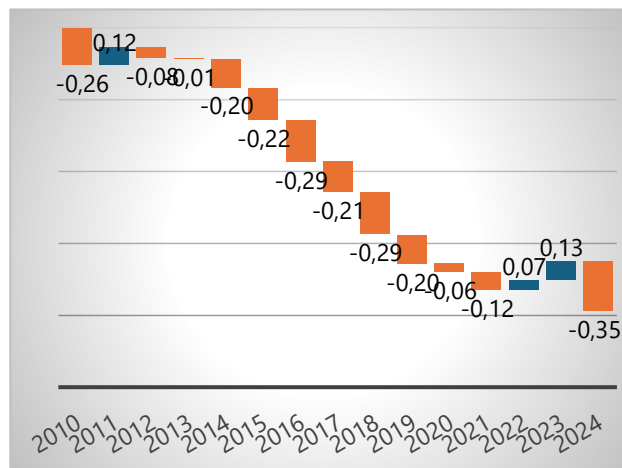
З рис. 2.4 можна зробити загальний висновок, що Україна демонструє різку відмінність у інтегральному показнику розвитку ЦЕ (GRD) за різних порівняльних підходів. При порівнянні з українськими усередненими величинами розвиток ЦЕ має як зростаючий, так і спадаючий характер. В той же час при порівнянні з європейськими нормативами чи з еталонним показником Україна показує погіршення розвитку ЦЕ в динаміці. Це може свідчити про певну невідповідність між українськими та європейськими стандартами розвитку ЦЕ.

Для того, щоб зрозуміти, де саме ця невідповідність має місце, проведемо порівняльний аналіз окремих показників, обчислених за пропонованими вище альтернативними підходами. В табл. 2.7 наведено розраховані значення реляційного індексу Грея за окремими показниками для різних $y^*(k)$. Проаналізуємо їх зміну для показників України. Як бачимо, має місце значне зменшення показника попиту на видобуток матеріалів з 0,75 до 0,43 для України, а відповідно ранг даного показника знижується з 2 до 16 місця в рейтингу розвитку ЦЕ. Також знижується показник «Утворення побутових відходів на особу» з 0,71 до 0,52, проте це знижує ранг показника тільки на 2 позиції (з 6 на 8 місце).

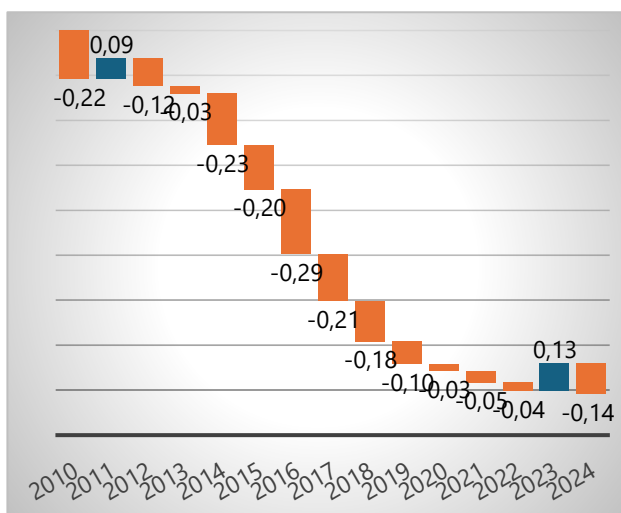
А)



Б)



В)



Г)

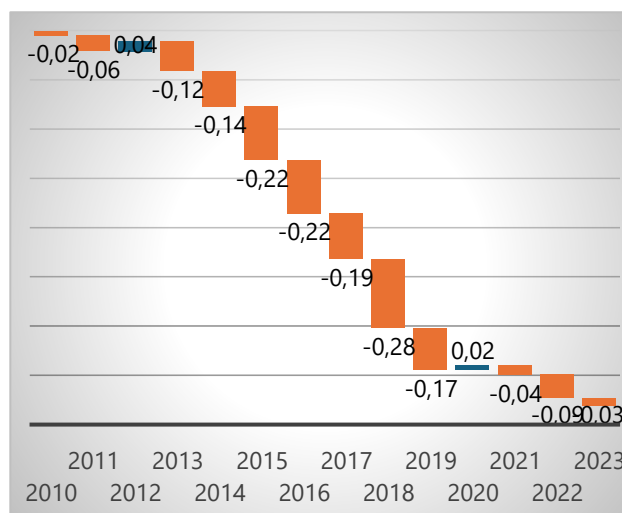


Рис. 2.4. Динамічне порівняння відхилень значень реляційного ступеня Грея, розрахованих для різних $y^*(k)$ (власна розробка)

Коефіцієнт використання циркулярних матеріалів змінює свій ранг з 5 на 10 місце. Така сама динаміка спостерігається для показника «Особи, зайняті в секторах ЦЕ» - переміщення з 3 на 13 місце в рейтингу. Варто відмітити, що така тенденція здебільшого характерна для країн, які характеризуються нижчою поінформованістю щодо розвитку ЦЕ. Тому варто запровадити кращу освіту з питань ЦЕ. З одного боку, краща кваліфікована робоча сила в усіх типах бізнесу призведе до швидшого досягнення ЦЕ. А з іншого боку, споживачі стануть більш свідомими та уважними щодо використання, повторного використання та ремонту продуктів, що зменшить загальну кількість утворених відходів і

збільшить рівень переробки всіх видів матеріалів і відходів, а також покращить рівень відновлення енергії.

Показник «Приватні інвестиції, пов'язані з секторами ЦЕ» навпаки збільшує свій вплив на ЦЕ і переміщається з 16 на 2 місце в рейтингу. Аналогічно «Викиди парникових газів від виробничої діяльності» переміщуються з 15 на 5 місце. Тобто можна стверджувати, що показники, розраховані за альтернативними підходами, демонструють різну поведінку зміни. Це може свідчити про те, що існують певні проблеми щодо вимірювання окремих показників ЦЕ в країнах ЄС та Україні, через те, що вони не мають ідентичних підходів до визначення, наприклад, того, коли матеріал вважається переробленим чи ні, було використано інший показник рівня переробки чи ні, тощо.

Дані гіпотези підтверджуються кореляційними відношеннями між показниками України та ЄС, розрахованими за однаковою методикою:

$y^*(k) = \overline{y_m(k)}$	Україна	ЄС
Україна	1	
ЄС	-0,35505	1

$y^*(k) = \overline{y_m(k)}_{\text{ЄС}}$	Україна	ЄС
Україна	1	
ЄС	0,254289	1

$y^*(k) = \overline{y_m(k)}_{\text{ЄС}}$	Україна	ЄС
Україна	1	
ЄС	0,31143	1

Як бачимо, від'ємне та низьке значення коефіцієнта кореляції в першому випадку (-0,35505) свідчить, що усереднені значення по країнах є малоефективними для порівняльного міжкраїнного аналізу. Більше того, вони має протилежну динаміку. Для двох інших випадків значення коефіцієнта кореляції також низькі, що свідчить про неістотність зв'язку між показниками України та ЄС. Позитивним є факт, що їх зміна відбувається в одному напрямі (додатні значення).

Таблиця 2.7

Розраховані значення реляційного індексу Грея за окремими показниками для різних $y^*(k)$ (власна розробка)

Позначення	Показник	$y^*(k) = \overline{y_m(k)}$				$y^*(k) = \overline{y_m(k)}_{\text{ЄС}}$				$y^*(k) = 1$			
		GRD		Ранг		GRD		Ранг		GRD		Ранг	
		Україна	ЄС	Україна	ЄС	Україна	ЄС	Україна	ЄС	Україна	ЄС	Україна	ЄС
П1.1	Попит на видобуток матеріалів	0,75	0,67	2	9	0,59	0,67	14	9	0,43	0,54	16	8
П1.2	Продуктивність ресурсів	0,59	0,69	14	7	0,65	0,69	10	7	0,50	0,51	12	15
П1.3	Утворення відходів на особу	0,60	0,74	13	3	0,62	0,74	13	3	0,54	0,52	6	12
П1.4	Утворення відходів, за винятком основних мінеральних відходів, до ВВП	0,66	0,66	7	11	0,67	0,66	7	11	0,62	0,47	3	16
П1.5	Утворення побутових відходів на особу	0,71	0,67	6	10	0,66	0,67	9	10	0,52	0,62	8	1
П1.6	Харчові відходи	0,65	0,89	9	1	0,69	0,89	6	1	0,52	0,56	9	7
П1.7	Утворення відходів пакування на особу	0,73	0,57	4	15	0,69	0,57	5	15	0,64	0,62	2	2
П1.8	Утворення відходів пластикового пакування на особу	0,84	0,56	1	16	0,76	0,56	1	16	0,80	0,61	1	4
П2.1	Коефіцієнт переробки побутових відходів	0,64	0,64	10	12	0,62	0,64	12	12	0,51	0,60	11	5
П2.2	Коефіцієнт переробки відходів, за винятком мінеральних відходів	0,61	0,57	12	14	0,56	0,57	16	14	0,49	0,51	14	14
П2.3	Рівень переробки пакувальних відходів за типом упаковки	0,57	0,60	15	13	0,62	0,60	11	13	0,48	0,52	15	11

Позначення	Показник	$y^*(k) = \overline{y_m(k)}$				$y^*(k) = \overline{y_m(k)}_{\text{ЄС}}$				$y^*(k) = 1$			
		GRD		Ранг		GRD		Ранг		GRD		Ранг	
		Україна	ЄС	Україна	ЄС	Україна	ЄС	Україна	ЄС	Україна	ЄС	Україна	ЄС
П2.4	Рівень переробки відходів електричного та електронного обладнання	0,66	0,69	8	8	0,66	0,69	8	8	0,53	0,54	7	9
П3.1	Коефіцієнт використання циркулярних матеріалів	0,72	0,73	5	4	0,74	0,73	3	4	0,51	0,61	10	3
П4.1	Приватні інвестиції, пов'язані з секторами ЦЕ	0,54	0,85	16	2	0,74	0,85	2	2	0,61	0,58	4	6
П4.2	Особи, зайняті в секторах ЦЕ	0,74	0,71	3	5	0,73	0,71	4	5	0,49	0,51	13	13
П5.2	Викиди парникових газів від виробничої діяльності	0,63	0,70	11	6	0,58	0,70	15	6	0,56	0,52	5	10

На рис. 2.5 та 2.6 відповідно відображено вклад кожного показника у розвиток ЦЕ України та ЄС, розрахованого за альтернативними підходами. Як видно з рис. 2.5, найбільший вклад в розвиток ЦЕ в Україні демонструє показник «Утворення відходів пластикового пакування на особу» від 7,2 до 9,18 %. Він же ж показує й найбільші відхилення в розрахунку за альтернативними методиками. Також значне відхилення має показник «Попит на видобуток матеріалів» з 7,08 до 4,94 %. Це можна вважати позитивною тенденцією, оскільки для всіх країн і галузей промисловості, які прагнуть досягти розвитку ЦЕ, варто звести до мінімуму залежність від сировини, в тому числі з інших країн. Це важливо не тільки через можливу геополітичну напругу, оскільки ці ресурси з часом зменшуються, але й через можливість повторного використання одних і тих самих ресурсів у підході ЦЕ, що також може знизити ціну використання таких матеріалів.

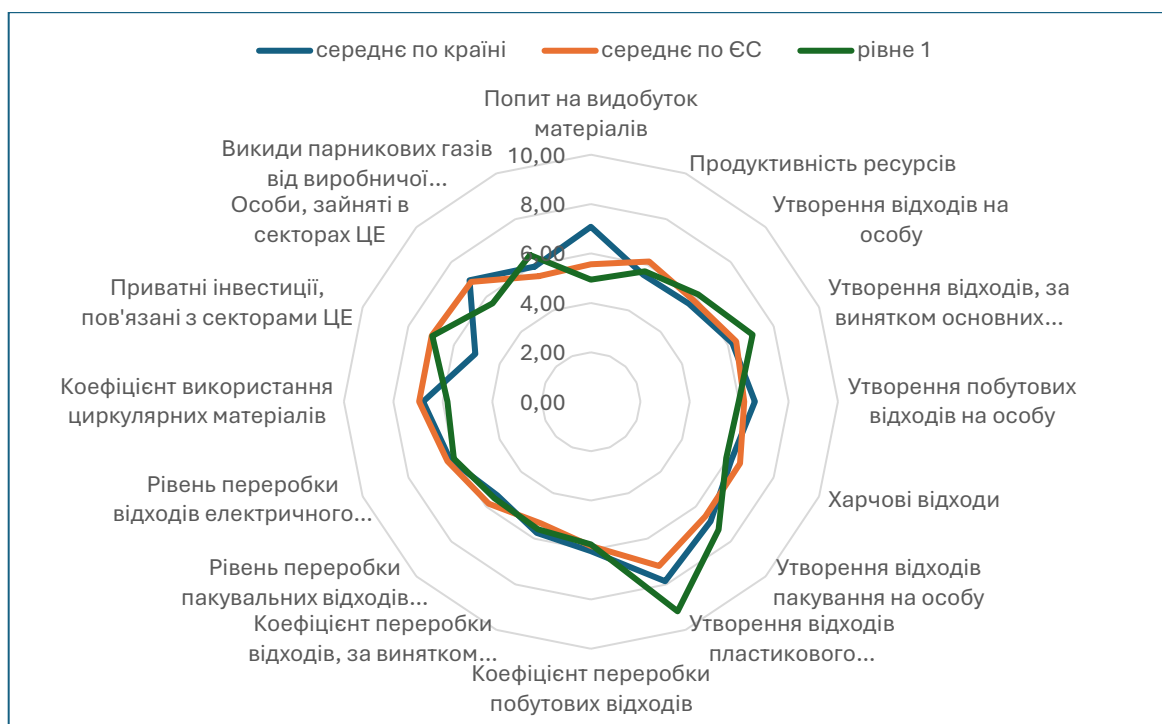


Рис. 2.5. Вклад показників у розвиток ЦЕ України, розрахованого за альтернативними підходами (власна розробка)

В ЄС найбільший вклад в розвиток ЦЕ здійснюють показники «Харчові відходи» - 8,13 %, та «Утворення побутових відходів на особу» - 7,07 % при розрахунку за альтернативними методиками (рис. 2.6). Цей же ж показник «Харчові відходи» демонструє найбільше відхилення при розрахунку – з 8,13 до 6,29 %.

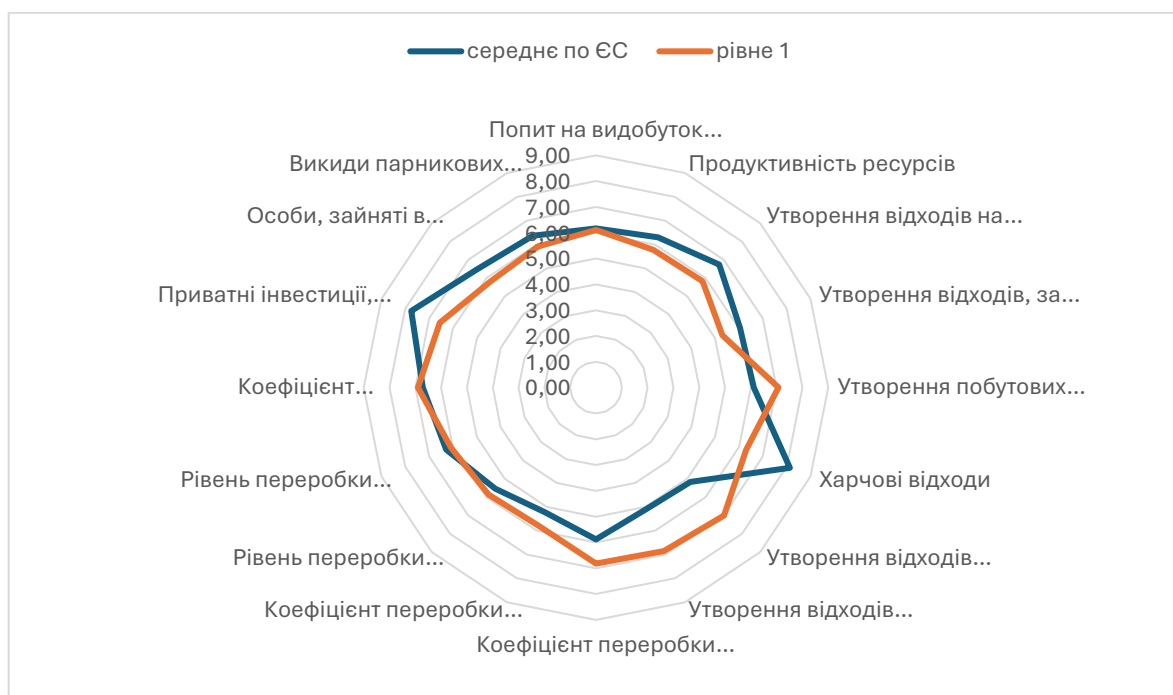


Рис. 2.6. Вклад показників у розвиток ЦЕ ЄС, розрахованого за альтернативними підходами (власна розробка)

Як видно, існує тісний позитивний зв'язок між показниками, розрахованими за усередненими значеннями, і відсутній негативний зв'язок між показниками, розрахованими за еталонним значенням, рівним 1, і порівняними з їх усередненими величинами. Таким чином, можна стверджувати про порівняльність результатів, отриманих за усередненими показниками, і їх відмінність між еталонним значенням і усередненими величинами.

За останнє десятиліття зріс політичний інтерес, наукові дослідження та суспільний інтерес до концепцій циркулярної економіки та особливо сталого розвитку. Незважаючи на те, що існує багато досліджень конкретних прикладів

практик ЦЕ, все ще бракує досліджень, які б використовували формально визначені змінні досягнення ЦЕ в економіці. Такий аналіз важливий для того, щоб можна було отримати перше уявлення про те, чи плани та дії ЦЕ є стійкими в довгостроковій перспективі.

У цьому дослідженні було емпірично оцінено досягнення ЦЕ України, окремих європейських країн та ЄС загалом шляхом застосування реляційного аналізу Грея з перевіркою надійності за допомогою альтернативних підходів обчислення еталонного показника [19]. Для порівняльного аналізу було обрано європейські країни з найвищим та найнижчим рівнем розвитку та впровадження практик ЦЕ. Завдяки тому, що більшість європейських країн дотримуються рекомендацій та законодавства ЄС щодо концепцій та цілей ЦЕ, це робить їх більш порівнянними на відміну від деяких інших досліджень, які розглядають дуже різні країни. Це дослідження показує, що варто використовувати динамічний підхід через структурні та інші зміни в економіці, які відбуваються з часом. Таким чином, спостерігався період з 2010 по 2024 роки. Тобто можна було спостерігати зміни, якщо вони мали місце. Звичайно, кожна країна має свою специфічну культуру, економічну структуру, політику тощо, що об'єдналися в певну сукупність факторів, які вплинули на її поточний стан та стан розвитку ЦЕ.

У країнах, які характеризуються нижчою поінформованістю щодо розвитку ЦЕ, в тому числі і Україні, варто запровадити кращу освіту з питань ЦЕ, щоб, з одного боку, споживачі стали більш свідомими та уважними щодо використання, повторного використання та ремонту продуктів, з одного боку, що зменшить загальну кількість утворених відходів і збільшить рівень переробки всіх видів матеріалів і відходів, а також покращить рівень відновлення енергії. З іншого боку, краща кваліфікована робоча сила в усіх типах бізнесу призведе до швидшого досягнення ЦЕ.

Для всіх країн і галузей промисловості, які прагнуть досягти розвитку ЦЕ, варто звести до мінімуму залежність від сировини з інших країн. Не лише через можливу геополітичну напругу, оскільки ці ресурси з часом

зменшуються; але через повторне використання одних і тих самих ресурсів у підході ЦЕ, що також може знизити ціну використання таких матеріалів.

Варто відмітити, що існують певні недоліки дослідження, які включають відносно короткий проміжок часу через відсутність даних від Європейської комісії та Державної служби статистики України, а також через недоступність окремих даних, відсутність скоординованого підходу до моніторингу статистики ЦЕ. Крім того, не вдалося також спостерігати за регіональними показниками (таких немає даних). Тому плани та дії в частині розвитку ЦЕ повинні включати підвищення якості офіційної статистики, яка вимірює те, що було (або не було) досягнуто. Варто відмітити, що у дослідження було включено максимально можливу кількість змінних (16), які вдалося статистично оцінити для України та країн ЄС. Теоретично обговорювалося багато концепцій ЦЕ, але на практиці їх часто важко перевірити через відсутність, неповноту, непорівняльність статистичних даних. Тому майбутнє дослідження планується з більшою доступністю даних. Нарешті, оскільки підхід, використаний на цьому етапі, спрямований на об'єктивну оцінку (не)ефективності, у подальшому дослідженні планується використати методичний підхід оцінки досяжності цілей розвитку циркулярної економіки.

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ В УКРАЇНІ

3.1. Роль цифрових технологій у розвитку циркулярної економіки

Циркулярна економіка є ефективною парадигмою для вирішення проблем сталого розвитку. Циркулярна економіка замінює концепцію завершення терміну служби різними стратегіями, спрямованими на усунення відходів за допомогою найкращого дизайну матеріалів, продуктів, систем і бізнес-моделей. Щоб сприяти поширенню циркулярної економіки, компанії потребують значних зусиль, тому вони повинні повністю переглянути свої поточні системи виробництва та споживання.

Різні стратегії, такі як відмова, переосмислення, скорочення, повторне використання, ремонт, реконструкція, переробка, перепрофілювання, переробка, відновлення, сприяють циркулярній економіці [90]. Всі вони можуть бути реалізовані за допомогою дій, зосереджених на аспектах циркулярної економіки, а саме практики циркулярної економіки. Компанії можуть брати участь у різних стратегіях, щоб покращити свою ефективність, пов'язану з круговим циклом, що призведе до підвищення економічної, екологічної та соціальної ефективності. Однак компаніям важко впроваджувати циркулярну економіку, причому багато компаній все ще погано розуміють її, що згодом призводить до обмеженого впровадження відповідних практик.

Автори [30] встановлюють, що одним з ключових інноваційних підходів до інтеграції циркулярної економіки є використання цифрових технологій, таких як штучний інтелект, великі дані та інтернет речей, що сприяє оптимізації процесів виробництва та управління ресурсами.

На думку авторів [15], цифрові технології, такі як Інтернет речей, великі дані, блокчейн і штучний інтелект, відіграють ключову роль у підтримці та розвитку циркулярної економіки. Вони забезпечують можливості для

ефективного управління ресурсами, моніторингу життєвих циклів продуктів та оптимізації виробничих процесів, що сприяє мінімізації відходів та підвищенню ефективності використання матеріалів.

В [26] відмічено, що ефективне впровадження циркулярної економіки можливе через використання інновацій у діяльності підприємств, хмарних технологій.

В [33] зазначено, що інтеграція цифрових технологій у циркулярну економіку є важливим кроком для покращення стійкості та ефективності використання ресурсів. Однак, для досягнення цієї мети, необхідно подолати виклики та перешкоди, які включають витрати на впровадження цифрових технологій, перенавчання персоналу та ризики безпеки даних.

У статті [24] зазначено на тому, що цифрова трансформація в Україні у воєнний та післявоєнний періоди зумовлена необхідністю модернізації державного управління, фінансових послуг і промислових секторів за допомогою передових технологій, зокрема, таких як Індустрія 4.0 і блокчейн, розвиток фінансових технологій (FinTech).

В [13] розвиток циркулярної економіки розглядається як один з механізмів досягнення цілей сталого розвитку через зв'язок з такими процесами, як діджиталізація та глобалізація світової економіки, активізація інноваційної діяльності, розвиток цифрової дистрибуції.

Циркулярна економіка інтенсивно досліджується в Європі, де ця концепція широко розповсюджена та все більше впроваджується виробничими компаніями [51]. Тим не менш, досі немає емпіричних досліджень, зосереджених на підприємствах, і все ще є поле для дослідження, як практики циркулярної економіки впроваджуються виробничими компаніями. Таке глибше розуміння повинно досліджувати не тільки те, які цифрові технології є найбільш прийнятними, але також і те, чи вони приймаються в групах або незалежно одна від одної. Розуміння рівня впровадження різних практик циркулярної економіки може підтримати процес циклічного переходу. Дослідження спільного використання практик у пакетах може скеровувати

виробників у вирішенні, які практики цифрових технологій застосовувати синергетично. Крім того, вивчення відмінностей у впровадженні практик цифрових технологій в циркулярній економіці відповідно до таких характеристик компаній, як розмір та вид економічної діяльності, також може підтримати виробників, оскільки ці компанії піддаються різному тиску, обмеженням і мотиваціям.

Цифрові технології визнані рушійною силою, яка сприяє впровадженню циркулярної економіки у виробничих компаніях [110]. Цифрові технології включають комп'ютерні технології, Інтернет речей, штучний інтелект, хмарні обчислення, вертикальну та горизонтальну системну інтеграцію, адитивне виробництво, передову робототехніку, симуляцію, кібербезпеку та розширену реальність [130]. Ці технології можуть підтримувати виробничі компанії з точки зору вертикальної інтеграції, автоматизації віртуалізації, відстеження, гнучкості та управління енергією. Таким чином, очікується, що вони дозволять і покращать продуктивність, безпеку та аспекти, пов'язані з навколишнім середовищем.

Наприклад, в різних наукових дослідженнях продемонстровано, що цифрові технології підтримують конкурентоспроможність [138], енергоефективність завдяки плануванню та розкладу виробництва [95] та операційну ефективність [86], стійкість завдяки покращенню екологічних [58] та соціальних аспекти [47], а також циркулярну економіку [109]. Рівень впровадження цифрових технологій може відрізнятися серед компаній-виробників з точки зору складності. Крім того, як зазначено в [74], виробничі компанії повинні проводити свою цифрову трансформацію шляхом поступового агрегування рішень, а не заміни технологій.

У науковій літературі немає конкретної класифікації сучасних цифрових технологій. Класифікації в різних дослідженнях є суперечливими, і є кілька невідповідностей між різними авторами. Початкову класифікацію цифрових технологій надала Boston Consulting Group у 2015 році, яка включала дев'ять технологій Індустрії 4.0, таких як роботи та автономні транспортні засоби,

адитивне виробництво, доповнена та віртуальна реальність, великі дані, моделювання, Інтернет речей (IoT), горизонтальні та вертикальні системи, хмарні технології, блокчейн та кібербезпека [124].

Протягом багатьох років цифрові технології були згруповані в цифрові та фізичні. Перші включали дрони, адитивне виробництво, робототехніку та сенсори [96]. Друга група охоплювала хмарні обчислення, штучний інтелект, великі дані, блокчейн і моделювання [114]. Подібним чином в [64] класифіковано технології на дві групи: операційні та IT та цифрові.

Однак у поточній літературі немає консенсусу щодо того, які технології ретельно описують поточний стан Індустрії 4.0, оскільки цифрова трансформація швидко розвивається. На сьогоднішній день є кілька оглядів літератури та концептуальних статей, які намагаються класифікувати їх.

Наприклад, дослідження [117] визначає портфоліо з шести цифрових технологій, таких як штучний інтелект, великі дані, блокчейн, хмарні системи, кіберфізичні системи (CPS) і IoT, щоб проаналізувати їх можливості в цифрових ланцюгах поставок. В [78] автори додали інші дві технології, такі як адитивне виробництво та цифрові двійники та симуляція, для вивчення співпраці в циклічних ланцюгах поставок. Інші вчені, оцінюють впровадження шістнадцяти цифрових технологій для сприяння соціальній стійкості для економіки замкнутого циклу [38]. Вони згруповані в 3D-друк, штучний інтелект, великі дані та аналітика, автономні роботи, блокчейн, хмарні обчислення, робототехніка, кібербезпека, RFID (радіочастотна ідентифікація), безпілотні літальні апарати, промисловий Інтернет речей, GPS, нанотехнології, мобільні технології, датчики та виконавчі механізми та моделювання. В [54] автори класифікували технології Industry 4.0 на великі дані, CPS, адитивне виробництво, IoT, Інтернет послуг, хмарні обчислення, системну інтеграцію, доповнену реальність, автономних роботів та кібербезпеку. Дослідження [148] пропонує подальшу класифікацію технологій на основі критичного огляду попередніх досліджень і виділило 10 кластерів технологій для виробничих галузей, такі як CPS, IoT, хмарні технології, блокчейн, великі дані та аналітика,

III, симуляція та моделювання, автоматизація та промислова робототехніка, технології візуалізації та адитивне виробництво.

Загалом цифровізація означає процес змін, що характеризується збільшенням використання цифрових технологій. У найзагальнішому вигляді цифрові технології можна визначити як комбінацію зв'язку, незліченних і розрізнених елементів інформації, комунікаційних і обчислювальних технологій [85]. І хоча стратегії цифровізації визнаються важливою передумовою для впровадження цифрових технологій, переваги також залежать від управління цими зусиллями цифровізації. З точки зору компаній, цифрові технології можуть сприяти модульним, розподіленим, міжфункціональним і глобальним бізнес-процесам, які дозволяють виконувати завдання незалежно від часу, функцій і відстані [42]. Цифрові технології також все частіше вбудовуються в продукти (наприклад, датчики IoT), щоб скористатися перевагами цифрових ресурсів і створити нові можливості [42]. Використання різних цифрових технологій у виробничому контексті також часто називають Індустрією 4.0, тобто четвертою промисловою революцією, цей термін було введено в Німеччині в 2011 році [101].

Враховуючи організаційні зміни, необхідні для та викликані впровадженням цифрових технологій, компаніям потрібні адекватні стратегії цифровізації. Такі стратегії вимагають комплексного обміну інформацією між цифровими платформами всередині та за межами компаній, а також мають сприяти багатофункціональним процесам і тісно інтегрувати міжкорпоративні можливості інформаційних технологій (IT) [42].

Змінюючи погляд на принципи Індустрії 5.0, Європейська комісія визначила шість основних технологій [70]. Індустрія 5.0 розглядається як наступний етап промислової еволюції. Її метою є використання креативності фахівців-людей у співпраці з ефективними, інтелектуальними та точними машинами для отримання ресурсоефективних та зручних для користувача виробничих рішень порівняно з Індустрією 4.0. Очікується, що численні перспективні технології та застосування допоможуть Індустрії 5.0 збільшити

виробництво та спонтанно створювати індивідуальні продукти [116]. Багато технологій Індустрії 4.0 включені в цю нову парадигму. Однак ці технології зосереджені на енергоефективності, зберіганні та біологічній сфері. Зокрема, вони згруповані в шість категорій: цифрові двійники та симуляція, штучний інтелект, технології зберігання й аналізу, передача даних, біотехнічні технології та інтелектуальні матеріали й технології автономності, і, нарешті, індивідуальна взаємодія людини й машини [70]. Інші дослідники [103] розширили категорію до шістнадцяти технологічних кластерів, додавши технологію 5G/6G, віртуальну, доповнену, розширену та змішану реальність, а також коботів (колаборативний робот (кобот) — це автоматичний пристрій, який може працювати разом з людиною для створення або виробництва різних продуктів).

У табл. 3.1 представлені розглянуті цифрові технології з коротким описом.

Таблиця 3.1

Перелік та характеристика цифрових технологій (узагальнено на основі [38,49,54,70,78,103,116,117,148])

Цифрові технології	Опис
3D друк	Метод складання матеріалів у послідовних шарах для створення елементів із даних 3D-моделі для розробки різних продуктів і отримання масових налаштувань.
Штучний інтелект (AI)	Система, яка використовує три ключові дисципліни — обробку природної мови, машинне навчання та комп'ютерний зір — щоб мислити раціонально та людяно.
Блокчейн	Спільна, захищена та розподілена книга, у якій можна записати кілька транзакцій і будь-хто може їх побачити.
Обчислювальна техніка	Система для надання послуг онлайн-зберігання всього програмного забезпечення, даних і програм на віртуальному сервері без необхідності інсталяції.
Цифрові програми	Технології, які створюють канали зв'язку на основі веб- і мобільних додатків, включаючи соціальні медіа та чат-ботів.
Геопросторові технології	Технології, які геолокують і картографують об'єкти, системи, людей і речі на Землі.

Цифрові технології	Опис
Імерсивне середовище	Технологія, яка моделює елементи реального світу, такі як машини, об'єкти та люди, у віртуальному середовищі, щоб зробити проектування, розробку, тестування та експлуатацію системи простішими та доступнішими.
Інтернет речей (IoT)	Датчики, машини, будівлі та інші фізичні речі об'єднані інформаційною мережею, яка дозволяє збирати дані та обмінюватися між ними для взаємодії та співпраці.
Відкриті та крауд-орієнтовані платформи	Технології, які дозволяють використовувати силу натовпу за допомогою спільних цифрових платформ для досягнення спільного результату.
Техніка близькості	Технології, що вимірюють фізичний стан систем за допомогою датчиків та інших фізичних пристроїв збору даних. Основна мета — моніторинг фізичних систем.
Робототехніка	Обладнання та машини, які автоматизують операційні процедури, у яких люди та роботи можуть працювати разом у спільному навчальному середовищі.
Аналітика великих даних	Процес вивчення великих і різноманітних наборів даних для виявлення прихованих закономірностей, невідомих кореляцій, ринкових тенденцій, уподобань клієнтів та іншої корисної інформації, яка може допомогти організаціям приймати більш обґрунтовані бізнес-рішення.

Варто також зосередити увагу на класифікації Європейської комісії, яка використовується в плані дій із циркулярної економіки [71]. При розрахунку Індексу цифрової економіки та суспільства (DESI) Європейська комісія визначила наступні чотири цифрові технології як важливі фактори переходу до циркулярної економіки:

- 1) штучний інтелект (AI),
- 2) аналітика великих даних,
- 3) блокчейн,
- 4) технологія IoT.

Ці чотири цифрові технології можуть реалізувати цифрове виробництво в розумінні Індустрії 4.0, і все більше наукової літератури детально описує їхній потенціал для підвищення надійності, точності, ефективності та прозорості операцій і прийняття рішень, пов'язаних із циркулярною економікою та сталим розвитком [99,125].

У більш загальному плані вони є ключовими технологіями для вирішення складних проблем і дозволяють обмінюватися інформацією в реальному часі та з широким спектром аналітики для покращення управління та прийняття рішень. Окрім технології блокчейн, досліджувані DT також є частиною Індексу цифрової економіки та суспільства (DESI) 2022 Європейської комісії, який дає змогу порівнювати з іншими країнами ЄС [71].

У табл. 3.2 наведено опис чотирьох цифрових технологій, а також кілька прикладів їх сфер застосування в циркулярній економіці та управлінні сталим розвитком.

Таблиця 3.2

Перелік цифрових технологій і сфер їх застосування в циркулярній економіці та управлінні сталим розвитком (узагальнено на основі [71,99,125])

Цифрові технології	Приклади застосування в циркулярній економіці та управлінні сталим розвитком
Інтернет речей (IoT)	Використовується для відстеження даних про життєвий цикл продуктів для покращення їх обслуговування; підвищення ефективності переробки за допомогою додаткових даних; вирішення питання управління енергією компанії та практики сталого виробництва; моніторинг стану продукту; моніторинг стану автопарку та продукції; збір даних про фазу використання для розробки продукту; збір даних життєвого циклу для переробки на основі даних і зворотних логістичних рішень.
Аналітика великих даних	Управління екологічним ланцюгом поставок та оцінка впливу на навколишнє середовище; профілактичне та прогнозне технічне обслуговування з метою сприяння продовженню терміну служби продуктів; підвищення енергоефективності обладнання; аналіз поведінки споживачів; підвищення якості даних і доповнення даних в оцінці стійкості; управління запасами, оптимізація транспортування, аналіз попиту; управління енергією та операціями, збір даних про соціальну стійкість, виявлення знань у базах даних для підвищення ефективності процесів проектування, виробництва та обслуговування.
Штучний інтелект (AI)	Використовується, щоб допомогти виробникам вибрати найкращого з можливих стійких постачальників і підвищити стійкість виробників; для оцінки впливу на навколишнє середовище; встановлення відстежуваності протягом життєвого циклу продукту; прогнози впливу на енергетику та навколишнє середовище.
Технологія блокчейн	Використовується для перевірки чесної практики роботи на виробництві; прозоре ведення записів про походження/історію продукту; торгівля викидами вуглецю на основі розумних контрактів; відстеження матеріалів; нові бізнес-моделі.

Більш широке дослідження опису, потенціалу застосування або функціональних можливостей чотирьох цифрових технологій для корпоративної сталості та управління циркулярною економікою узагальнено в працях [48,112,123,125]. Серед цих оглядів в [125] автор зосередився на всіх чотирьох цифрових технологіях і зібрав 146 прикладів застосування, а потім класифікував їх з точки зору їхньої зручності використання протягом життєвого циклу продукту та їхньої ролі як факторів у стратегіях циркулярної економіки та в конкретних діях щодо сталого управління продуктом. 146 прикладів, проаналізованих в [125] часто надходили від великих компаній, і більшість із них були пов'язані з технологією IoT, за якою йдуть аналітика великих даних, технологія блокчейну та ШІ.

Приклади застосування для всіх чотирьох цифрових технологій найчастіше пов'язані зі стратегіями циркулярної економіки, які розглядають оптимізацію і характеризуються підвищеною ефективністю та/або покращеними циклічними характеристиками продуктів або виробничих процесів. Стратегії циркулярної економіки, які передбачають більш радикальні зміни в процесах або бізнес-моделях компанії, все ще відносно рідко зустрічаються в науковій літературі.

Хоча чотири цифрові технології вже використовуються для вирішення різноманітних проблем навколишнього середовища, лише кілька праць досліджували їхній потенціал щодо питань соціальної стійкості [126,139]. Однак більш широке залучення до використання цифрових технологій в контексті соціальної стійкості, ймовірно, буде корисним, оскільки було показано, що використання цифрових технологій (наприклад, для прогностичної аналітики) позитивно пов'язане з якістю екологічної та соціальної ефективності компанії та ланцюга постачання [60].

Як зазначено в [129], серед європейських компаній більш високе впровадження має Інтернет речей у порівнянні з аналітикою великих даних, штучним інтелектом і технологіями блокчейн, а також вищий рівень впровадження цифрових технологій у будівництві, машинобудуванні,

металургії та електроніці, а також у великих компаніях порівняно із середніми та малими. Великі компанії також показали більш високий рівень впровадження цифрових технологій в інших дослідженнях [74]. Проте все ще існує потреба дослідити, як цифрові технології застосовуються виробничими компаніями. Деякі характеристики компаній, здається, впливають на прийняття цифрових технологій, наприклад розмір виробничих компаній [74, 129] і галузь [129]. Хоча дослідження щодо розміру компанії та галузевої приналежності існують, вплив країни міг би отримати користь від глибшого розуміння. Таке глибше розуміння повинно досліджувати не тільки те, які технології є найбільш прийнятними, але також і те, чи вони приймаються в групах або незалежно одна від одної.

Отже, наявні наукові дослідження показують, що цифрові технології можуть підтримувати виробничі системи в напрямку сталого розвитку [145]. Технології можуть сприяти розвитку економіки замкнутого циклу шляхом оптимізації процесів, скорочення використання матеріалів і енергії, прогнозного планування виробництва, моніторингу стану та прогнозування збоїв системи, збору даних тощо [102]. Проведений емпіричний аналіз на прикладі європейських компаній показав, що впровадження цифрових технологій для практики циркулярної економіки все ще обмежене [129] і в основному застосовується для скорочення матеріалів та енергії [110]. На основі тематичних досліджень в [110] показано потенційну синергію між цифровими технологіями для збільшення їхнього внеску в практику циркулярної економіки.

В роботі [61] проведено аналіз викликів та ефектів для циркулярної економіки, які можуть мати місце при впровадженні цифрових технологій (табл. 3.3). Зокрема, найважливішими причинно-наслідковими проблемами, що перешкоджають реалізації цифрових технологій в концепціях циркулярної економіки, є недостатні законодавчо-галузеві стратегії, брак компетенції в концепціях Індустрії 4.0 та циркулярної економіки, розуміння синхронізації між постачальниками, невизначені економічні вигоди від застосування

Індустрії 4.0 та циркулярної економіки та недостатня підтримка галузей у зусиллях до застосування Індустрії 4.0 та циркулярної економіки.

Таблиця 3.3

Основні перешкоди при впровадженні цифрових технологій в концепціях циркулярної економіки (узагальнено на основі [61])

Перешкоди-причини	Перешкоди-наслідки
Недостатні законодавчо-галузеві стратегії	Недостатня технічна підготовка щодо Індустрії 4.0 та циркулярної економіки
Відсутність компетентності в концепціях Індустрії 4.0 та циркулярної економіки	Відсутність ефективних заходів оцінювання згідно з Індустрією 4.0 та циркулярною економікою
Розуміння щодо синхронізації між постачальниками	Відтворення стратегій впровадження Індустрії 4.0 та циркулярної економіки інших організацій
Невизначені економічні вигоди від застосування Індустрії 4.0 та циркулярної економіки	Керівництво неохоче враховує Індустрію 4.0 та циркулярної економіки
Недостатня підтримка галузей	Труднощі у виконанні нормативних актів та політик
Низьке розуміння концепцій Індустрії 4.0 та циркулярної економіки для впровадження	Зменшення перспектив працевлаштування з впровадженням Індустрії 4.0 та циркулярної економіки
Загроза екологічних небезпек із впровадженням Індустрії 4.0 та циркулярної економіки	Високі витрати, пов'язані з впровадженням стратегій Індустрії 4.0 та циркулярної економіки
Недостатня база для стандартів та правил, заснована на даних	

Цифрові технології дедалі частіше вважаються критично важливими факторами переходу до циркулярної економіки, особливо з точки зору збору, управління, агрегації та обміну даними про продукт. Цифрові технології можна використовувати для моніторингу продуктів і частин у кількох життєвих циклах на промисловому рівні. Крім того, вони допомагають покращити доступність і якість даних, необхідних для прийняття рішень щодо сталого розвитку як на рівні процесу, так і на рівні продукту (наприклад, щодо енергоспоживання машиною в реальному часі), і вони підтримують нові дематеріалізовані бізнес-моделі на рівні організації (наприклад, PSS). На додаток до різних прямих застосувань цифрових технологій у контексті циркулярної економіки, вони також можуть підтримувати перехід циркулярної

економіки опосередковано. Наприклад, підвищений ступінь цифровізації вздовж ланцюга створення вартості може сприяти між- та внутрішньоорганізаційній співпраці та обміну знаннями.

Проведені емпіричні дослідження надають докази того, що використання цифрових технологій справді може позитивно вплинути на впровадження більш сталої та циклічної практики компанії. Наприклад, в [37] на основі дослідження PLS-SEM 124 компаній у Південній Африці автори виявили, що цифрові технології позитивно впливають на «можливості 10R» компаній. У цьому дослідженні автори також виявили позитивний вплив можливостей 10R на загальну ефективність сталого розвитку компанії [37]. Інше дослідження [57] проаналізувало технології індустрії 4.0 і посередницьку роль, яку відіграє інтеграція ланцюга поставок (стратегічне співробітництво учасників, залучених до діяльності клієнтів, що додає цінність) у результатах циркулярної економіки. Було виявлено, що такий посередницький ефект інтеграції ланцюга поставок існує для технологій розумного виробництва. У множинній регресії, побудованій на опитуванні 378 керівників італійських підприємств, автори праці [55] виявили, що ланцюжок поставок, керований великими даними, пом'якшує зв'язок між управлінням персоналом циркулярної економіки та ефективністю компанії, пов'язаної з ланцюгом постачання циркулярної економіки. В опитуванні італійських компаній-виробників [53] показали, що впровадження технологій індустрії 4.0 використовує конкретні виробничі стратегії, такі як інтеграція ланцюга поставок, ощадливі стратегії, екологічна стійкість і сервісизація. Однак вони не виявили позитивної кореляції з показниками екологічної стійкості компаній. Нарешті, на основі моделі на рівні країни на основі вторинних даних автори праці [88] знаходять ознаки того, що початковий розвиток цифровізації (наприклад, вимірюваний запровадженням електронної комерції чи використанням хмарних технологій) може сприяти переходу європейських країн до циркулярної економіки, але надмірний розвиток може цьому перешкоджати.

Як показують ці та інші теоретичні дослідження впровадження цифрових технологій в компаніях, деякі теорії менеджменту допомагають пояснити та контекстуалізувати це. Серед них теорія на основі ресурсів (RBV) або ресурсний підхід в управлінні виявилася найбільш часто використовуваною теорією в дослідженнях щодо впровадження цифрових технологій у ланцюгах поставок [121]. Згідно з RBV, цифрові технології представляють матеріальні ресурси компанії. За допомогою оптимізації ресурсів, розширення RBV, ці цифрові ресурси можна ефективно структурувати та об'єднати, щоб створити пов'язані з цифровими технологіями можливості, які можна використовувати для створення цінності. Оптимізація ресурсів особливо підкреслює роль менеджерів у капіталізації ресурсів фірми.

Потреба в можливостях, специфічних для цифрових технологій, також відображається в динамічних можливостях, іншій відповідній теорії, згідно з якою компаніям потрібен набір динамічних можливостей, специфічних для цифрових технологій, щоб використовувати потенціал цифрових технологій і отримати конкурентну перевагу [66]. Впровадженню цифрових технологій передують та підтримується придбанням специфічних для цифрових технологій нематеріальних ресурсів (тобто досвіду та знань), для яких здатність до поглинання забезпечує відповідну структуру.

Підводячи підсумок, у даному дослідженні показано [6,21], що, по-перше, існують наукові праці, які зосереджуються на цифрових технологіях та різних посередниках/модеруючих впливах, наприклад, на управлінні ланцюгом поставок, екологічній стійкості або сервісизації. А по-друге, є теоретичні описи, а також практичні приклади того, як цифрові технології можна використовувати для покращення циркулярної економіки у різних секторах економіки. В даному параграфі, було показано, як і в якій мірі різні цифрові технології вже застосовуються. Це дало можливість отримати детальну картину статус-кво щодо впровадження цифрових технологій в національних економіках загалом і щодо циркулярного розвитку, зокрема.

У наступному параграфі будуть представлені результати, зосереджені на впроваджених практиках циркулярної економіки і прийнятих цифрових технологіях, зокрема, незалежно від того, чи вони запроваджені окремо чи в симбіозі, підкреслюючи особливості, пов'язані з розміром компанії та видом економічної діяльності, а також цифрові технології, що підтримують впровадження практик циркулярної економіки.

3.2. Оцінка впливу цифрових технологій на впровадження практик циркулярної економіки

У цьому параграфі буде емпірично проаналізовано, чи впливають цифрові технології на циркулярну економіку і в якій мірі [20]. Також буде проведено аналіз впливу цифрових технологій окремо та загалом на циркулярну економіку.

Варто зауважити, що в науковій літературі вже існують різні дослідження такого типу. Зокрема, наявні дослідження бар'єрів [61] і факторів [41] для того, щоб цифровізація сприяла циркулярній економіці, але вони не досліджують впровадження практики циркулярної економіки та впровадження технологій. Інші дослідження зосереджені на внеску певних цифрових технологій у циркулярну економіку, таких як штучний інтелект або блокчейн [134], не обговорюючи можливі синергії з іншими цифровими технологіями. Крім того, вони покладаються на якісні підходи, такі як тематичні дослідження [111], таким чином залучаючи до дослідження обмежену кількість компаній. Кількісні дослідження з перевіркою гіпотез (наприклад, [130]) присвячені поясненню конструктивних зв'язків, а не наданню практичних рекомендацій щодо впровадження цифрових технологій для стимулювання впровадження практики циклічної економіки.

Тому існує необхідність у подальшому дослідженні цієї теми. Зокрема, в даному параграфі буде проведено широке емпіричне дослідження на основі зібраних даних малих, середніх і великих підприємств України, які працюють

у різних секторах економіки щодо впровадження практик циркулярної економіки та впровадження цифрових технологій. Враховуючи прогалини, виявлені раніше, внесок дослідження є потрійним. По-перше, дослідження визначає найбільш застосовувані практики циркулярної економіки та те, чи вони впроваджуються одночасно (в пакетах) чи незалежно (окремо) одна від одної, підкреслюючи особливості щодо розміру компанії та виду економічної діяльності. По-друге, проведене дослідження вкаже на найбільш прийняті цифрові технології та те, як (групами або окремо) вони застосовуються, так само підкреслюючи особливості відповідно до розміру компанії та сектора економіки. По-третє, поставлено за мету дослідити взаємозв'язок між циркулярною економікою та цифровими технологіями, виокремлюючи незалежно прийняті набори цифрових технологій, які найбільше стимулюють впровадження практики циркулярної економіки.

Загальний рівень впровадження цифрових технологій. Спочатку проаналізуємо загальний рівень цифровізації. Для цього використано один із статистичних показників індексу цифрової економіки та суспільства (DESI) - оцінку рівня цифрової інтенсивності [10]. Рівень цифрової інтенсивності базується на підрахунку кількості індикаторів, що визначають рівень цифрової інтенсивності, яким відповідає підприємство. Базовий рівень цифрової інтенсивності відповідає ситуації, коли рівень цифрової інтенсивності передбачає використання на рівні підприємства 4 або більше індикаторів із 12 індикаторів, що визначають рівень цифрової інтенсивності [10].

На рис. 3.1 відображено зміну кількості підприємств із принаймні базовим рівнем цифрової інтенсивності, за кількістю зайнятих працівників у 2024-2025 роках. Як видно, частка таких компаній найнижча серед малих підприємств (від 10 до 49 осіб) - 19,7 та 20,0 % у 2024 та 2025 роках відповідно, тобто кожна п'ята мала компанія має принаймні базовий рівень цифрової інтенсивності. Для середніх підприємств (від 50 до 249 осіб) цей показник охоплював приблизно третину всіх середніх компаній (31,8 та 33,5 % у 2024 та 2025 роках відповідно). Найвища частка із базовим рівнем цифрової

інтенсивності серед великих підприємств – майже кожна друга компанія впроваджує цифрові технології на такому рівні (49,2 та 53,7 % у 2024 та 2025 роках відповідно). Це свідчить про те, що розмір компанії впливає на можливість впровадження нею цифрових технологій. Також варто зауважити, що швидкість впровадження ІТ також залежить від розміру компанії. Зокрема, за 2024-2025 роки базовий рівень цифрової інтенсивності зріс на 0,3, 1,7 та 4,5 % відповідно для малих, середніх та великих підприємств. Тобто швидкість цифровізації знову ж таки найвища у великих компаній.

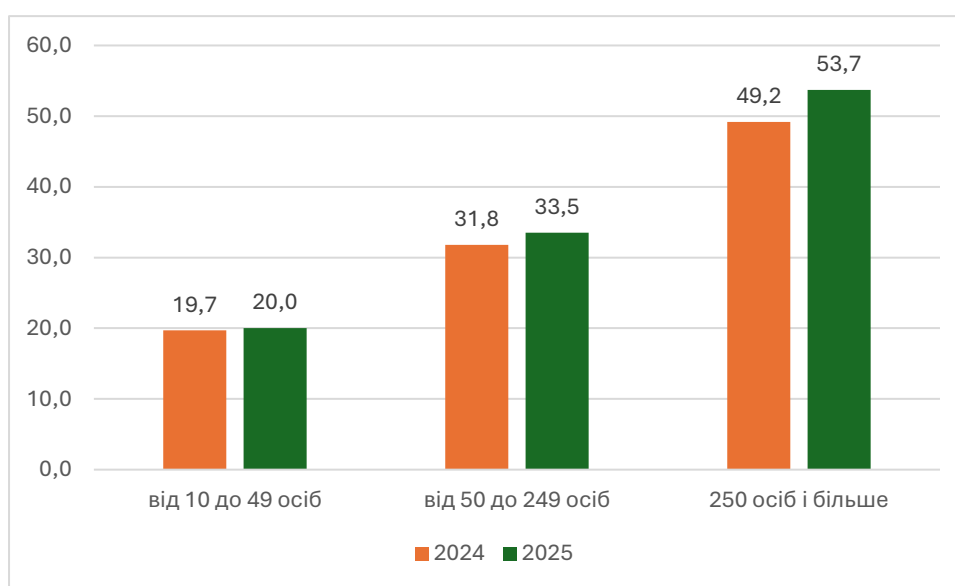


Рис. 3.1. Частка кількості підприємств із принаймні базовим рівнем цифрової інтенсивності, за кількістю зайнятих працівників, % (розроблено на основі [10])

На рис. 3.2 відображено частку підприємств із принаймні базовим рівнем цифрової інтенсивності, за видами економічної діяльності у 2024-2025 роках. Інформація та телекомунікації мають найвищий рівень впровадження цифрових технологій – 51,6 та 50,7 % у 2024 та 2025 роках відповідно. Практично у п'ять разів нижчим є рівень цифрової інтенсивності в сфері будівництва 12,1 та 11,6 % відповідно у 2024 та 2025 роках. Загалом варто відмітити низький рівень цифрової інтенсивності (менше п'ятої частини

підприємств) в галузях переробної промисловості, транспорту та поштової діяльності, операцій з нерухомістю, сфері адміністративного та допоміжного обслуговування, водопостачання, каналізації, поводження з відходами, будівництва. Середній рівень (більше третини підприємств) має місце у сфері ІКТ, готельній та ресторанній сфері, торгівлі, ремонті, науковій сфері. Також варто відмітити незначне зниження (від -1,4% до -0,1%) рівня цифрової інтенсивності у 2025 році в порівнянні з 2024 роком у сфері ІКТ, операцій з нерухомістю, сфері адміністративного та допоміжного обслуговування, водопостачання, каналізації, поводження з відходами, будівництва та суттєве зростання (+8,4 %) у готельній та ресторанній сфері.



Рис. 3.2. Частка кількості підприємств із принаймні базовим рівнем цифрової інтенсивності, за видами економічної діяльності, % (розроблено на основі [10])

В середньому впровадження цифрових технологій у масштабах підприємств за видом економічної діяльності є відносно низьким – 23,5 та 24,3% у 2024 та 2025 роках відповідно.

Рівень впровадження окремих видів цифрових технологій Що стосується використання конкретних видів цифрових технологій (рис. 3.3), результати показують, що компанії, маючи інструменти для їх використання (фіксований доступ до Інтернет становив 82,9-93,8% за 2024-2025 роки), на початковій стадії застосовують технології штучного інтелекту (в середньому 6,4%), мобільний додаток для клієнтів (в середньому 6,4%), при цьому в середньому 50,1% з них мають вебсайт. Використання програмного забезпечення для бізнесу теж знаходиться на низькому рівні – середні значення становлять 9,2, 12,9 та 25,6 % для BI (*Business Intelligence* — інструменти для аналізу даних і прийняття рішень: звіти, дашборди, прогнози), CRM (*Customer Relationship Management* — система для управління взаємовідносинами з клієнтами: продажі, маркетинг, підтримка) та ERP (*Enterprise Resource Planning* — система для управління ресурсами підприємства: фінанси, логістика, виробництво, персонал) відповідно.

23,3% підприємств в середньому купують послуги хмарних обчислень, а 25,6 % - здійснюють обмін даними в електронному вигляді (EDI) з постачальниками або клієнтами в ланцюгу постачання. 27,2% в середньому проводять аналіз «великих даних». Тобто приблизно кожне четверте підприємство використовує системи, які працюють на традиційних базах даних і серверних технологіях (ERP), централізовані сервіси, які надають доступ до обчислювальних потужностей, зберігання даних, аналітики (хмарні обчислення), стандартизований спосіб передачі комерційних документів (наприклад, накладних, замовлень, рахунків) між компаніями в електронному вигляді (EDI) та великі дані для аналітики. Варто також відмітити, що чим менше за розміром підприємство, тим менша його частка у використанні цифрових технологій, що також підтверджує висновки в [74, 129]. Причому різниця у використанні може становити від 2 до 7 разів. Наприклад, у 7 разів

рідше використовується програмне забезпечення ВІ у малих підприємствах, ніж у великих; CRM та ERP використовуються у 3 рази рідше відповідно. Малі компанії удвічі рідше за великі мають вебсайт, використовують соціальні медіа, електронний обмін даними, технології ШІ, купують послуги хмарних обчислень та проводять аналіз «великих даних». При цьому фіксований доступ до мережі Інтернет для малих, середніх та великих компаній практично не відрізняється.

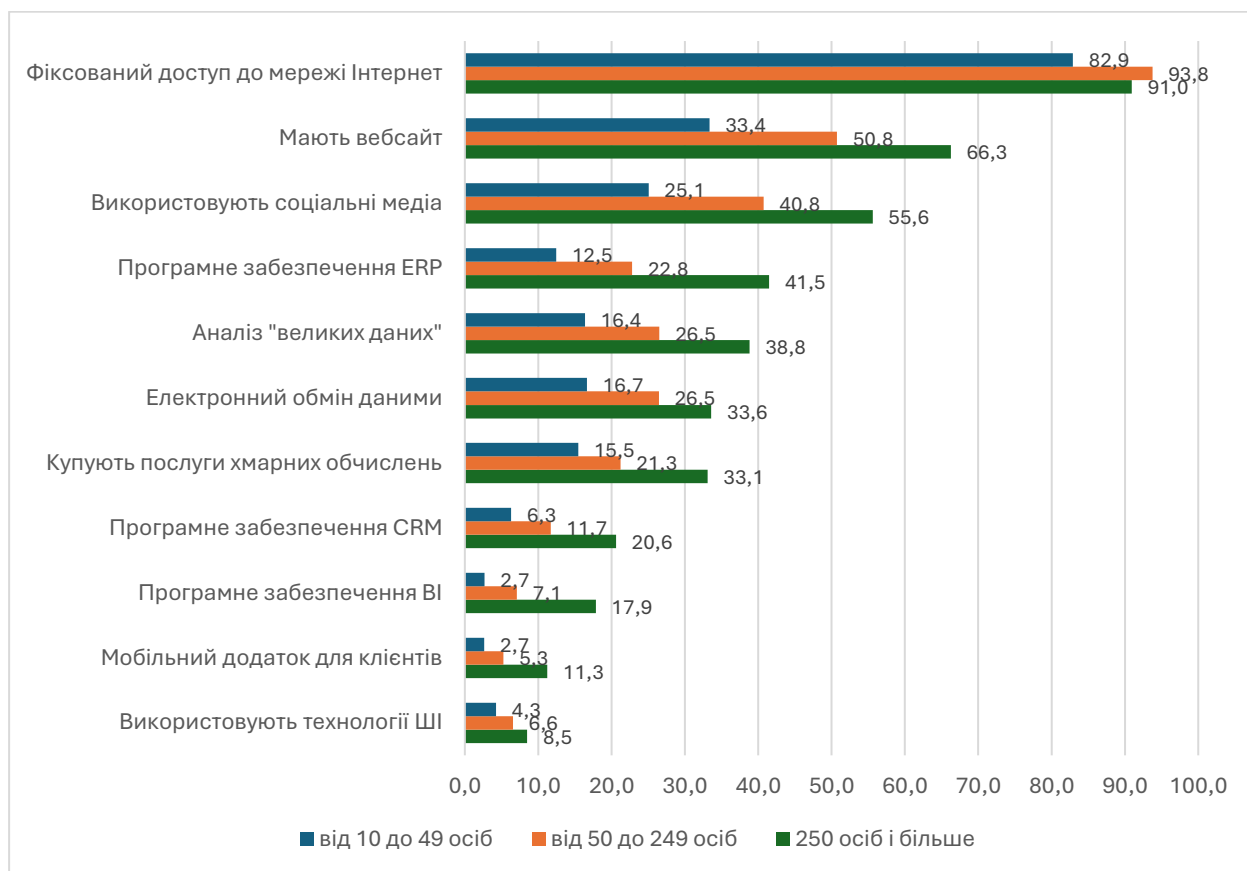


Рис. 3.3. Частка кількості підприємств за видами цифрових технологій, за кількістю зайнятих працівників в середньому в 2024-2025 роках, %
(розроблено на основі [10])

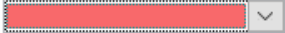
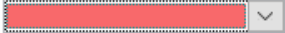
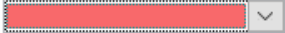
В табл. 3.4 наведено частку кількості підприємств за видами цифрових технологій, за видами економічної діяльності в середньому в 2024-2025 роках. Для візуального сприйняття використано умовне форматування кольоровими шкалами в Excel.

Таблиця 3.4

Частка кількості підприємств за видами цифрових технологій, за КВЕД в 2024-2025 роках, % (розроблено на основі [10])

Вид економічної діяльності	Фіксований доступ до мережі Інтернет	Мобільний додаток для клієнтів	Мають вебсайт	Використовують соціальні медіа	Програмне забезпечення ERP	Програмне забезпечення CRM	Програмне забезпечення BI	Електронний обмін даними	Аналіз "великих даних"	Купують послуги хмарних обчислень	Використовують технології ШІ
Переробна промисловість	87,1	2,1	47,5	30,0	17,3	6,2	3,3	19,3	17,8	13,5	4,8
Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря	92,0	6,4	48,8	31,0	24,6	11,7	8,3	25,0	24,2	17,4	3,6
Водопостачання; каналізація, поводження з відходами	88,0	8,3	28,0	37,1	12,6	4,5	2,2	15,2	18,4	10,3	4,4
Будівництво	81,6	1,1	25,4	20,3	10,9	2,9	1,2	13,4	13,7	10,5	4,2
Оптова та роздрібна торгівля; ремонт автотранспортних засобів і мотоциклів	86,8	5,3	44,4	33,3	17,6	13,0	6,8	25,5	24,9	17,9	5,8
Транспорт, складське господарство, поштова та	84,1	2,3	21,5	21,1	13,9	5,8	3,4	18,5	19,4	12,4	4,1

Вид економічної діяльності	Фіксований доступ до мережі Інтернет	Мобільний додаток для клієнтів	Мають вебсайт	Використовують соціальні медіа	Програми забезпечення ERP	Програми забезпечення CRM	Програми забезпечення BI	Електронний обмін даними	Аналіз "великих даних"	Купують послуги хмарних обчислень	Використовують технології ШІ
кур'єрська діяльність											
Тимчасове розміщування й організація харчування	85,4	10,6	41,7	49,3	12,3	7,5	2,4	17,2	21,9	12,4	5,7
Інформація та телекомунікації	88,5	7,7	56,7	49,4	23,5	18,2	10,2	24,7	28,5	26,7	7,0
Операції з нерухомим майном	86,2	1,7	22,5	20,0	13,6	3,6	2,6	12,2	13,0	10,6	3,6
Професійна, наукова та технічна діяльність	82,9	1,9	47,3	33,7	15,6	9,6	6,2	15,4	21,0	22,5	6,0
Діяльність у сфері адміністративного та допоміжного обслуговування	79,1	3,7	22,0	24,6	12,7	5,4	2,4	15,7	12,8	10,4	4,1

Вид економічної діяльності	Фіксований доступ до мережі Інтернет	Мобільний додаток для клієнтів	Мають вебсайт	Використовують соціальні медіа	Програми забезпечення ERP	Програми забезпечення CRM	Програми забезпечення BI	Електронний обмін даними	Аналіз "великих даних"	Купують послуги хмарних обчислень	Використовують технології ШІ																
Форматувати всі клітинки на основі їх значень: Стиль формату: Триколірна шкала v <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Мінімальне значення</th> <th>Середнє значення</th> <th>Максимальне значення</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Тип:</td> <td>Найменше значення v </td> <td>Процентиль v </td> <td>Найбільше значення v </td> </tr> <tr> <td>Значення:</td> <td>(Найменше значення) ↑ </td> <td>50 ↑ </td> <td>(Найбільше значення) ↑ </td> </tr> <tr> <td>Колір:</td> <td> v </td> <td> v </td> <td> v </td> </tr> </tbody> </table> Попередній перегляд: 													Мінімальне значення	Середнє значення	Максимальне значення	Тип:	Найменше значення v	Процентиль v	Найбільше значення v	Значення:	(Найменше значення) ↑	50 ↑	(Найбільше значення) ↑	Колір:	 v	 v	 v
	Мінімальне значення	Середнє значення	Максимальне значення																								
Тип:	Найменше значення v	Процентиль v	Найбільше значення v																								
Значення:	(Найменше значення) ↑	50 ↑	(Найбільше значення) ↑																								
Колір:	 v	 v	 v																								

З легенди табл. 3.4 видно, що червоним відмічено найменший рівень використання окремих видів цифрових технологій, зеленим відтінком – найбільший рівень. Усі проміжні відтінки – проценти використання окремих видів цифрових технологій. Отже, найчастіше компанії усіх секторів економіки використовують *фіксований доступ до мережі Інтернет*. Найрідше використовують:

- *мобільний додаток для клієнтів* - переробна промисловість, будівництво, транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність, операції з нерухомим майном, професійна, наукова та технічна діяльність;

- *штучний інтелект* - інформація та телекомунікації, постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря,

- *програмне забезпечення ВІ* - тимчасове розміщування й організація харчування, діяльність у сфері адміністративного та допоміжного обслуговування.

Рівень впровадження цифрових технологій у взаємозв'язку з циркулярною економікою. На рис. 3.4 наведено частку підприємств, що використовують цифрові технології у взаємозв'язку з циркулярною економікою за розмірами підприємств у 2025 році. Спостерігається та сама тенденція зміни показників, що й для цифрових технологій загалом. Тобто участь малих компаній значно менша за участь великих та середніх за розміром підприємств: у 3,06 та 3,81 рази нижче за кожним з показників відповідно.

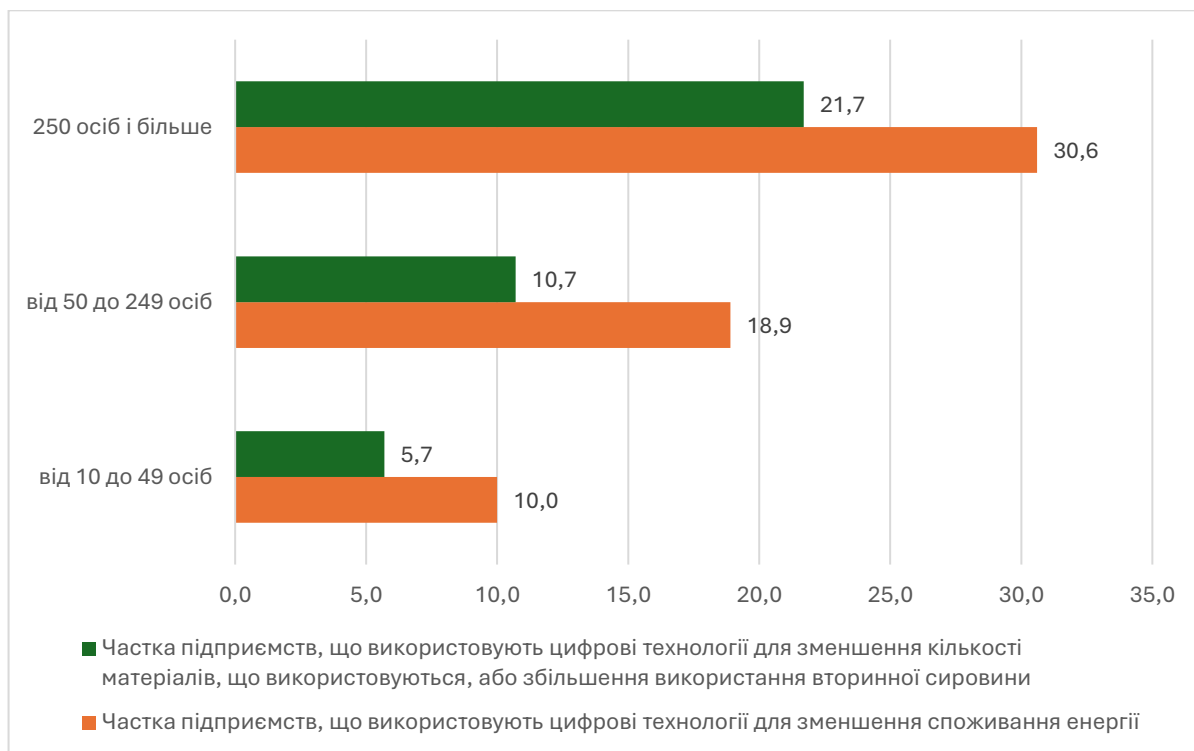


Рис. 3.4. Частка підприємств, що використовують цифрові технології у взаємозв'язку з циркулярною економікою за розмірами підприємств у 2025 році, % (розроблено на основі [10])

Щодо спільного використання цифрових технологій та циркулярної економіки за видами економічної діяльності, то (рис. 3.5):

- найбільша частка компаній за зменшенням споживання енергії припадає на сектори постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря (27,1 %) та тимчасового розміщування й організації харчування (22,6 %);
- найбільша частка компаній за зменшенням кількості матеріалів, що використовуються, або збільшенням використання вторинної сировини, припадає на сектори тимчасового розміщування й організації харчування (12,9 %) та переробну промисловість (11,2%).



Рис. 3.5. Частка підприємств, що використовують цифрові технології у взаємозв'язку з циркулярною економікою за КВЕД у 2025 році, % (розроблено на основі [10])

Оскільки певна частина компаній більше використовують цифрові технології загалом, ніж для впровадження практик циркулярної економіки, було проведено аналіз, щоб переконатися, чи ступінь впровадження цифрових технологій загалом позитивно корелює з використанням цифрових технологій для впровадження практик циркулярної економіки. Було встановлено, що значущість існує з відповідним коефіцієнтом кореляції Пірсона (табл. 3.5). Як і для табл. 3.4, було використано умовне форматування кольоровими шкалами в Excel. Таким чином, прямий помірний зв'язок встановлено між часткою підприємств, що використовують цифрові технології для зменшення споживання енергії і:

- фіксованим доступом до мережі Інтернет,
- мобільним додатком для клієнтів,
- використанням програмного забезпечення ERP.

Всі решта показники демонструють відсутність зв'язку між використанням цифрових технологій загалом і цифрових технологій для впровадження практик циркулярної економіки.

Таблиця 3.5

Коефіцієнт кореляції Пірсона для визначення взаємозв'язку між використанням цифрових технологій загалом і цифрових технологій для впровадження практик циркулярної економіки (власна розробка)

Цифрові технології +циркулярна економіка	Частка підприємств, що використовують цифрові технології для зменшення споживання енергії	Частка підприємств, що використовують цифрові технології для зменшення кількості матеріалів, що використовуються, або збільшення використання вторинної сировини
Цифрові технології		
Фіксований доступ до мережі Інтернет	0,68	0,25
Мобільний додаток для клієнтів	0,56	0,33
Мають вебсайт	0,48	0,41
Використовують соціальні медіа	0,42	0,48
Програмне забезпечення ERP	0,52	0,02
Програмне забезпечення CRM	0,28	0,02
Програмне забезпечення BI	0,31	-0,09
Обмін даними в електронній формі з постачальниками або клієнтами в ланцюгу постачання	0,41	0,01
Аналіз "великих даних"	0,39	0,15
Купують послуги хмарних обчислень	0,10	0,00
Використовують технології штучного інтелекту	-0,09	0,26

Далі проаналізовано сукупний вплив впровадження цифрових технологій загалом на показники використання цифрових технологій для впровадження практик циркулярної економіки. Для цього побудовано множинну регресію

методом МНК. Для побудови використано 11 незалежних змінних, які представляють види використовуваних цифрових технологій загалом підприємствами різних секторів економіки та 2 залежні змінні, які показують рівень застосування цифрових технологій для впровадження практик циркулярної економіки.

В табл. В1 додатку В наведено описову статистику усіх змінних. Табл. В2 та В3 додатку В містять результати побудови множинної регресії. В табл. 3.6 наведено підсумкові результати побудованих моделей. Отже, як видно з табл. 3.6, модель 2 має вищий рівень точності, тобто сукупний вплив всіх незалежних змінних на 83% пояснює зміну залежної змінної - цифрові технології для зменшення кількості матеріалів, що використовуються, або збільшення використання вторинної сировини. Критерій Фішера підтверджує статистичну значущість обох моделей з рівнем значущості 0,08 та 0,001 відповідно. Оцінки параметрів незалежних змінних вказують на прямий чи обернений вплив на залежну змінну. Зокрема, в моделі 1 використання програмного забезпечення CRM, електронний обмін даними, аналіз «великих даних» та використання ШІ мають обернений вплив на використання цифрових технологій для зменшення споживання енергії. В моделі 2, окрім вище зазначених незалежних змінних обернений вплив також мають використання програмного забезпечення ВІ для бізнесу. Таким чином, не завжди використання цифрових технологій загалом веде до покращення показників впровадження практик циркулярної економіки.

Таблиця 3.6

Результати побудованих моделей сукупного впливу впровадження цифрових технологій загалом на показники використання цифрових технологій для впровадження практик циркулярної економіки (власна розробка)

Показник	Модель 1: залежна змінна - цифрові технології для зменшення споживання енергії	Модель 2: залежна змінна - цифрові технології для зменшення кількості матеріалів, що використовуються, або збільшення використання вторинної сировини
Множинний коефіцієнт кореляції, R	0,64	0,83

Показник	Модель 1: залежна змінна - цифрові технології для зменшення споживання енергії	Модель 2: залежна змінна - цифрові технології для зменшення кількості матеріалів, що використовуються, або збільшення використання вторинної сировини
Стандартна помилка, SE	4,72	3,53
Критерій Фішера, F	1,92	6,19
Рівень значущості F -критерію, P	0,08	0,001
Вільна змінна, x_0	-7,76	-40,32
Фіксований доступ до мережі Інтернет, x_1	0,17	0,47
Мобільний додаток для клієнтів, x_2	0,47	0,24
Мають вебсайт, x_3	0,08	0,01
Використовують соціальні медіа, x_4	0,06	0,07
Програмне забезпечення ERP, x_5	0,41	0,60
Програмне забезпечення CRM, x_6	-0,20	-0,39
Програмне забезпечення BI, x_7	0,10	-0,45
Електронний обмін даними, x_8	-0,18	-0,07
Аналіз "великих даних", x_9	-0,10	-0,27
Купують послуги хмарних обчислень, x_{10}	0,08	0,43
Використовують технології штучного інтелекту, x_{11}	-0,32	-0,07

Отже, результати проведеного аналізу нагадують загальну європейську тенденцію, виявлену в DESI 2022 [71]. Згідно з DESI 2022, 48% великих підприємств і 28% малих підприємств використовують будь-який IoT, 14% підприємств загалом проводять аналіз великих даних, а 8% використовують технологію ШІ. Дане дослідження виявили приблизно такі самі результати і було зроблено схожі висновки щодо ступеня впровадження цифрових технологій на підприємствах різних розмірів та видів економічної діяльності, а базовий рівень цифрової інтенсивності встановлено як все ще низький. В середньому впровадження цифрових технологій у масштабах підприємств за видом економічної діяльності є відносно низьким – 23,5 та 24,3% у 2024 та 2025 роках відповідно. Компанії на початковій стадії застосовують технології штучного

інтелекту (в середньому 6,4%). Використання програмного забезпечення для бізнесу теж знаходиться на низькому рівні – середні значення становлять 9,2, 12,9 та 25,6 % для BI, CRM та ERP відповідно. 23,3% підприємств в середньому купують послуги хмарних обчислень, а 25,6 % - здійснюють обмін даними в електронному вигляді з постачальниками або клієнтами в ланцюгу постачання. 27,2% в середньому проводять аналіз «великих даних». Чим менше за розміром підприємство, тим менша його частка у використанні цифрових технологій.

Встановлено, що частка підприємств, які використовують цифрові технології загалом, була вищою, ніж частка компаній, які прийняли їх для впровадження практик циркулярної економіки.

З точки зору отриманих результатів це може означати, що, хоча цифрові технології непрямо використовуються для циркулярної економіки, їх застосування в цілому може бути корисним для впровадження практик циркулярної економіки в компаніях. Хоча не було встановлено прямого причинно-наслідкового зв'язку між впровадженням цифрових технологій загалом та їх впровадженням задля циркулярної економіки, було виявлено їх вплив на дві сфери ЦЕ: (1) - цифрові технології для зменшення споживання енергії та (2) - цифрові технології для зменшення кількості матеріалів, що використовуються, або збільшення використання вторинної сировини.

Результати показують, що підприємства рідко використовують цифрові технології для впровадження практик циркулярної економіки на сьогоднішній день, хоча велика частка компаній має в своєму розпорядженні відповідні ІТ та інші цифрові системи для підтримки бізнес-моделі, продуктів або послуг ЦЕ.

Рівень впровадження цифрових технологій суттєво відрізняється залежно від розміру компанії, при цьому більші компанії демонструють вищий рівень цифрової інтенсивності. Серед 11 досліджуваних галузей найбільш розвиненими виявилися інформація та телекомунікації, тоді як галузі переробної промисловості, транспорту та поштової діяльності, операцій з нерухомістю, сфера адміністративного та допоміжного обслуговування, водопостачання, каналізації, поводження з відходами, будівництва продемонстрували найнижчий

ступінь цифровізації. Незважаючи на загальну тенденцію до більшої цифровізації, ступінь реалізації щодо конкретних застосувань окремих видів цифрових технологій значно відрізнявся в різних галузях.

Підтверджено, що цифрові технології можуть підтримувати практики циркулярної економіки, оскільки встановлено сукупний вагомий вплив факторів цифрових технологій на окремі сфери циркулярної економіки. Однак ступінь їх впровадження все ще низький, і лише у відносно рідкісних випадках компанії бачать чітко визначені вигоди від цифровізації, спрямовані на підтримку циркулярної економіки. Враховуючи велике розмаїття потенційних застосувань і відповідну невизначеність, як це відображено в літературі, компанії все ще вважають визначення конкретного характеру своїх потреб у цифрових технологіях дещо складним. Таким чином, виявлення масштабованих найкращих практик, які можуть спрямовувати формулювання та реалізацію стратегії цифровізації, ймовірно, буде важливою передумовою для прискорення будь-якого переходу до цифрової циркулярної економіки.

3.3. Часова оцінка досяжності цілей розвитку циркулярної економіки

Як зазначено в доповіді Центру бізнесу та навколишнього середовища Маккінсі [44], оцінки потенційних економічних вигод від впровадження практик циркулярної економіки є суттєвими: чистий економічний прибуток до 2030 року становитиме 1,8 трильйона євро на рік, а користь для клімату може сягнути до 85% скорочення викидів парникових газів, необхідного для обмеження глобального потепління нижче 2°C. Це пояснює інтерес регуляторних органів та законодавців, а також зростаючу кількість інституційних ініціатив, прикладами яких є плани дій Європейської Комісії, Китаю, інших країн та об'єднань щодо циркулярної економіки. Також такі інституційні дії є чудовим мотиватором для науковців, які допомагають дослідженнями щодо того, як має відбуватися зміна парадигми та перехід до ЦЕ.

Як показав попередній аналіз, стан циркулярної економіки в Україні залишається на етапі формування: ухвалено Проєкт Стратегії розвитку циркулярної економіки України до 2035 року [27], але її практична реалізація стримується війною [9], браком інвестицій та слабкою інфраструктурою переробки. Частка переробки відходів досі менша за 10%, тоді як у ЄС середній показник перевищує 45%. Більшість відходів потрапляє на полігони. Наявні інституційні бар'єри, такі як недосконала система державних закупівель, непрозорий ринок вторинних ресурсів, низький рівень екологічного оподаткування. З іншого боку, надається міжнародна підтримка щодо розвитку ЦЕ у вигляді проєктів ЮНІДО та програми EU4Environment, які допомагають формувати рамки циркулярної політики та проводять пілотні ініціативи. Серед основних бар'єрів розвитку ЦЕ в Україні та світі можна виділити воєнні дії спровоковані ними руйнування інфраструктури, дефіцит бюджету, зростання облікової ставки НБУ та податкового навантаження; фінансові бар'єри, які полягають у високих початкових інвестиційних витратах для створення переробних підприємств; культурні чинники, такі як низька екологічна свідомість населення, відсутність звички сортувати відходи; технологічні обмеження, а саме слабка цифровізація процесів відстеження ресурсів. Тому важливим є, незважаючи на існуючі бар'єри, визначення часових горизонтів досяжності цілей розвитку циркулярної економіки в Україні [23].

В нашому дослідженні вище сформовано систему індикаторів ЦЕ, базовану на показниках, які використовує Євростат. На їх основі розраховано інтегровану оцінку розвитку ЦЕ за допомогою коефіцієнта відношення Грея. Таким чином, отримано фактичні дані щодо стану ЦЕ в Україні у вигляді сукупності показників та інтегрованої оцінки. Далі досліджено роль цифрових технологій у розвитку циркулярної економіки. Підтверджено, що цифрові технології можуть підтримувати практики циркулярної економіки, оскільки встановлено сукупний вагомий вплив факторів цифрових технологій на окремі сфери циркулярної економіки. На підставі проведеного аналізу пропонується обчислити прогноз

розвитку ЦЕ до 2030 року, а також визначити часові межі досяжності цілей розвитку циркулярної економіки в Україні.

Методика прогнозної оцінки розвитку циркулярної економіки наведена на рис. 3.6.

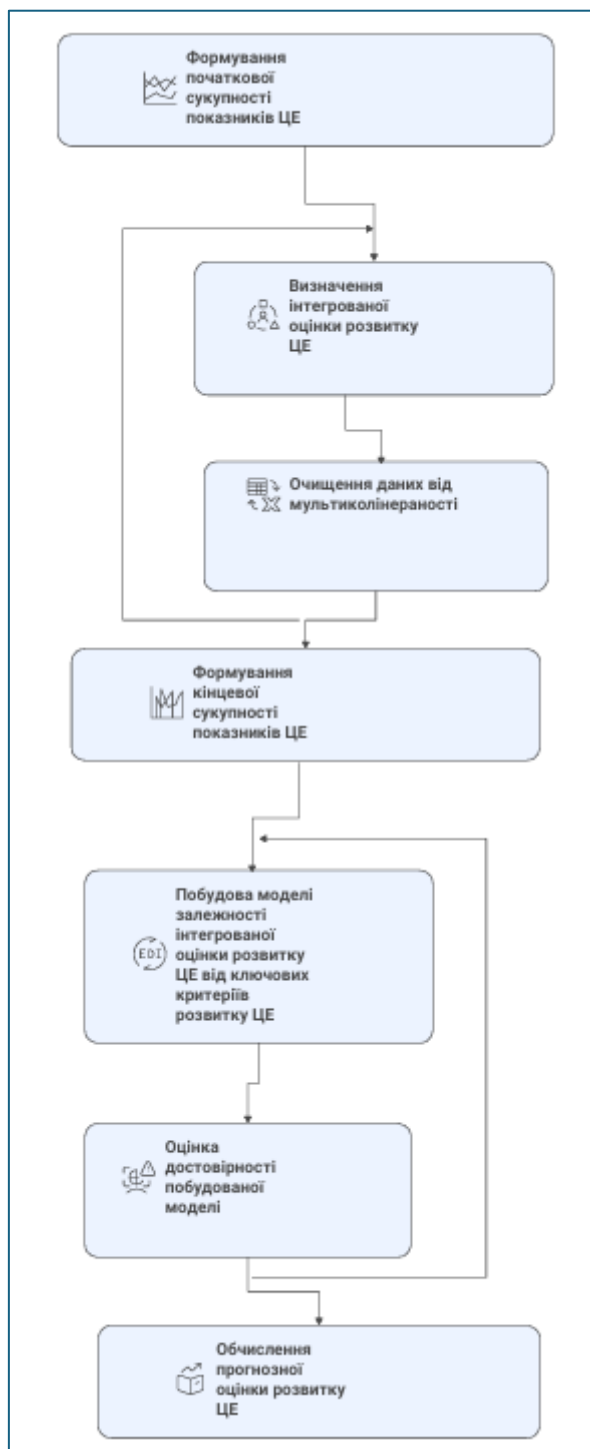


Рис. 3.6. Методика прогнозної оцінки розвитку циркулярної економіки (власна розробка)

Прогнозні розрахунки пропонується здійснювати за двома моделями:

- Модель 1 – на підставі статистичних даних стану ЦЕ в Україні;
- Модель 2 – з врахування впливу цифрових технологій на ЦЕ.

Далі пропонується здійснити порівняння прогнозів розвитку циркулярної економіки за Моделлю 1 та Моделлю 2 та на його основі розрахувати часові межі досяжності цілей розвитку циркулярної економіки за допомогою моделі Басса (Bass diffusion model), яка використовується для прогнозування часу поширення інновацій в економіці та інших сферах діяльності:

$$\frac{f(t)}{1-F(t)} = p + qF(t),$$

де $F(t)$ – частка встановленої бази; $f(t)$ – швидкість зміни встановленої базової частки, тобто $f(t) = F'(t)$; p – коефіцієнт інновацій; q – коефіцієнт імітації [39].

З моделі Басса час t^* визначається як:

$$t^* = \frac{\ln q - \ln p}{p + q}.$$

Адаптуючи модель Басса до нашого дослідження, вважатимемо, що p – це коефіцієнт інновацій, зовнішніх впливів цифрових технологій на розвиток ЦЕ. Іншими словами в якості p оберемо Модель 2 - прогнозну оцінку розвитку циркулярної економіки. q – це коефіцієнт імітації, внутрішніх впливів або поточного стану ЦЕ. Тому як q вибрано Модель 2 - оцінку прогнозу розвитку циркулярної економіки.

Отже, на основі сформованої сукупності показників ЦЕ та розрахованої інтегрованої оцінки ЦЕ перевірено на мультиколінерність усі змінні. Результати наведено на рис. 3.7 у вигляді кореляційної матриці відношень між показниками ЦЕ. Аналіз даної матриці показав, що показник «Харчові відходи» корелює з показником «Утворення відходів, за винятком основних мінеральних відходів, на одиницю ВВП» (0,92). Показник «Коефіцієнт переробки побутових відходів» корелює з показником «Утворення побутових відходів на душу населення» (0,84). Показник «Особи, зайняті в секторах циркулярної економіки» корелює з показником «Коефіцієнт переробки всіх відходів, за винятком основних мінеральних відходів» (0,76). Показник «Викиди парникових газів від

виробничої діяльності» корелює з показником «Рівень переробки відходів електричного та електронного обладнання, зібраних окремо» (0,72). Тому при очищенні даних до уваги може братися тільки один з пари показників, які корелюють між собою.

	Попит на видобуток матеріалів	Відношення ВВП до попиту на видобуток матеріалів	Утворення відходів на душу населення	Утворення відходів, за винятком основних мінеральних відходів, на	Утворення побутових відходів на душу населення	Харчові відходи	Утворення відходів пакування на душу населення	Утворення відходів пластикового пакування на душу населення	Коефіцієнт переробки побутових відходів	Коефіцієнт переробки всіх відходів, за винятком основних мінеральних	Рівень переробки пакувальних відходів за типом упаковки	Рівень переробки відходів електричного та електронного обладнання, зібраних окремо	Коефіцієнт використання циркулярних матеріалів	Приватні інвестиції та ВДВ, пов'язані з секторами ЦЕ	Особи, зайняті в секторах циркулярної економіки	Викиди парникових газів від виробничої діяльності	Коефіцієнт Грея
Попит на видобуток матеріалів	1,00																
Відношення ВВП до попиту на видобуток матеріалів	0,35	1,00															
Утворення відходів на душу населення	0,59	0,44	1,00														
Утворення відходів, за винятком основних мінеральних відходів, на одиницю ВВП	0,55	0,59	0,42	1,00													
Утворення побутових відходів на душу населення	-0,06	0,20	0,09	-0,14	1,00												
Харчові відходи	0,61	0,38	0,38	0,92	-0,32	1,00											
Утворення відходів пакування на душу населення	-0,19	0,20	-0,02	0,23	0,38	0,15	1,00										
Утворення відходів пластикового пакування на душу населення	0,25	0,42	0,30	0,57	0,46	0,53	0,67	1,00									
Коефіцієнт переробки побутових відходів	-0,25	-0,12	0,06	-0,27	0,84	-0,42	0,35	0,26	1,00								
Коефіцієнт переробки всіх відходів, за винятком основних мінеральних відходів	-0,28	-0,31	-0,03	-0,47	0,26	-0,45	0,42	0,07	0,45	1,00							
Рівень переробки пакувальних відходів за типом упаковки	-0,12	-0,20	0,24	-0,28	0,27	-0,20	0,58	0,24	0,47	0,41	1,00						
Рівень переробки відходів електричного та електронного обладнання, зібраних окремо	0,25	0,06	-0,20	0,52	0,20	0,48	0,19	0,48	0,12	-0,18	-0,24	1,00					
Коефіцієнт використання циркулярних матеріалів	0,16	0,48	0,25	0,15	0,55	-0,07	0,11	0,32	0,47	-0,07	-0,14	0,16	1,00				
Приватні інвестиції та ВДВ, пов'язані з секторами ЦЕ	-0,09	0,53	0,04	0,52	-0,25	0,43	0,31	0,20	-0,29	-0,27	-0,06	0,07	-0,21	1,00			
Особи, зайняті в секторах циркулярної економіки	-0,02	-0,10	-0,09	-0,27	-0,03	-0,31	0,20	-0,12	-0,01	0,76	0,37	-0,14	-0,03	-0,24	1,00		
Викиди парникових газів від виробничої діяльності	-0,04	0,19	-0,25	0,50	0,24	0,34	0,28	0,46	0,15	-0,39	-0,47	0,72	0,46	0,13	-0,27	1,00	
Коефіцієнт Грея	-0,02	0,29	-0,01	0,15	0,32	-0,06	-0,10	0,12	0,17	-0,38	-0,50	0,15	0,72	-0,06	-0,17	0,65	1,00

Рис. 3.7. Кореляційна матриця відношень між показниками ЦЕ (власна розробка)

Крім того, кореляційна матриця відношень дає нам інформацію про наявність чи відсутність зв'язку або впливу показників на інтегровану оцінку, яка розрахована за допомогою реляційного індексу Грея. З останнього рядка кореляційної матриці видно, що найбільш суттєвий вплив на інтегровану оцінку ЦЕ (як прямий, так і обернений) мають наступні показники:

- Відношення ВВП до попиту на видобуток матеріалів
- Утворення побутових відходів на душу населення
- Коефіцієнт переробки всіх відходів, за винятком основних мінеральних відходів

- Рівень переробки пакувальних відходів за типом упаковки
- Коефіцієнт використання циркулярних матеріалів
- Викиди парникових газів від виробничої діяльності

Причому між собою ці показники не корелюють або корелюють не суттєво. Тому вище перелічені показники сформують кінцеву сукупність показників ЦЕ.

Далі за допомогою МНК побудовано Модель 1 - регресійну залежність впливу кінцевої сукупності показників ЦЕ на інтегровану оцінку ЦЕ. Результат побудови представлено в табл. 3.7. Модель достовірна (R -квадрат $> 0,7$). Оцінки параметрів моделі істотні (p -значення $< 0,01$).

Таблиця 3.7

Модель 1. Регресійна залежність впливу кінцевої сукупності показників ЦЕ на інтегровану оцінку ЦЕ (власна розробка)

Показник	Коефіцієнт	Стандартна похибка	t-статистика	p-значення
Константа	0,642153	0,0480830	13,36	$< 0,0001$
Відношення ВВП до попиту на видобуток матеріалів	-0,0383052	0,0690109	-0,5551	0,005940
Утворення побутових відходів на душу населення	0,0250320	0,0800129	0,3128	0,007624
Коефіцієнт переробки всіх відходів, за винятком основних мінеральних відходів	-0,0124493	0,101879	-0,1222	0,009058
Рівень переробки пакувальних відходів за типом упаковки	-0,105152	0,107377	-0,9793	0,003561
Коефіцієнт використання циркулярних матеріалів	0,205454	0,0957834	2,145	0,00643
Викиди парникових газів від виробничої діяльності	0,0514258	0,0612505	0,8396	0,004255
Середнє зал. змін.	0,661392	Ст. Відх. зал. змін.	0,103793	
Сума кв. залишків	0,041031	С.П. регресії	0,071616	
R-квадрат	0,727948	Скориг. R-квадрат	0,523910	
F(6, 8)	3,567699	P-значення (F)	0,050455	
Лог. Правдоподібн.	2,97702	Крит. Акайке	-1,95404	
Крит. Шварца	-2,99769	Крит. Хеннана-Куїнна	-2,00683	

Далі для побудови моделі 2 за аналогічними міркуваннями до показників моделі включено:

- Частка кількості підприємств, що мають вебсайт

– Частка кількості підприємств, що використовують технології штучного інтелекту

Результати побудови моделі 2 представлено в табл. 3.8. Модель достовірна (R -квадрат $> 0,7$). Оцінки параметрів моделі істотні (p -значення $< 0,01$).

Таблиця 3.8

Моделі 2. Регресійна залежність впливу кінцевої сукупності показників ЦЕ та цифрових технологій на інтегровану оцінку ЦЕ

Показник	Коефіцієнт	Стандартна похибка	t-статистика	p-значення
Константа	0,528987	0,520789	1,016	0,000348
Відношення ВВП до попиту на видобуток матеріалів	-0,0442498	0,0827849	-0,5345	0,006122
Утворення побутових відходів на душу населення	0,0377133	0,106480	0,3542	0,007353
Коефіцієнт переробки всіх відходів, за винятком основних мінеральних відходів	0,00879807	0,146904	0,05989	0,009542
Рівень переробки пакувальних відходів за типом упаковки	-0,117008	0,140685	-0,8317	0,004374
Коефіцієнт використання циркулярних матеріалів	0,207895	0,111675	1,862	0,001120
Викиди парникових газів від виробничої діяльності	0,0486967	0,0784300	0,6209	0,005575
Частка кількості підприємств, що мають вебсайт	0,00317403	0,0159763	0,1987	0,008491
Частка кількості підприємств, що використовують технології штучного інтелекту	0,000523522	0,0233393	0,02243	0,000988
Середнє зал. змін.	0,661392	Ст. Відх. зал. змін.	0,103793	
Сума кв. залишків	0,040407	С.П. регресії	0,082064	
R-квадрат	0,732088	Скориг. R-квадрат	0,374871	
F(8, 6)	2,049423	P-значення (F)	0,001987	
Лог. Правдоподібн.	2,09201	Крит. Акайке	-2,18401	
Крит. Шварца	-1,81156	Крит. Хеннана-Куїнна	-2,25189	

Достовірність побудованих регресійних залежностей дає підстави для розрахунку прогнозу на їх основі. В табл. 3.9 наведено розраховані прогнозні значення інтегрованої оцінки ЦЕ. Результати прогнозування за Моделлю 2, в якій враховано вплив цифрових технологій на циркулярну економіку, дають вищі

оцінки розвитку ЦЕ. Про це свідчать позитивні відхилення значень Моделі 2 у порівнянні з Моделлю 1.

Таблиця 3.9

Прогнозні розрахунки інтегрованої оцінки ЦЕ (власна розробка)

Період	Модель 1	Модель 2	Відхилення, %
2025	0,675	0,682	0,78%
2026	0,676	0,685	0,88%
2027	0,678	0,688	0,98%
2028	0,680	0,690	1,08%
2029	0,681	0,693	1,18%
2030	0,683	0,696	1,27%

На рис. 3.8 відображено ретроспективні та прогнозні значення інтегрованої оцінки ЦЕ за Моделями 1 та 2.

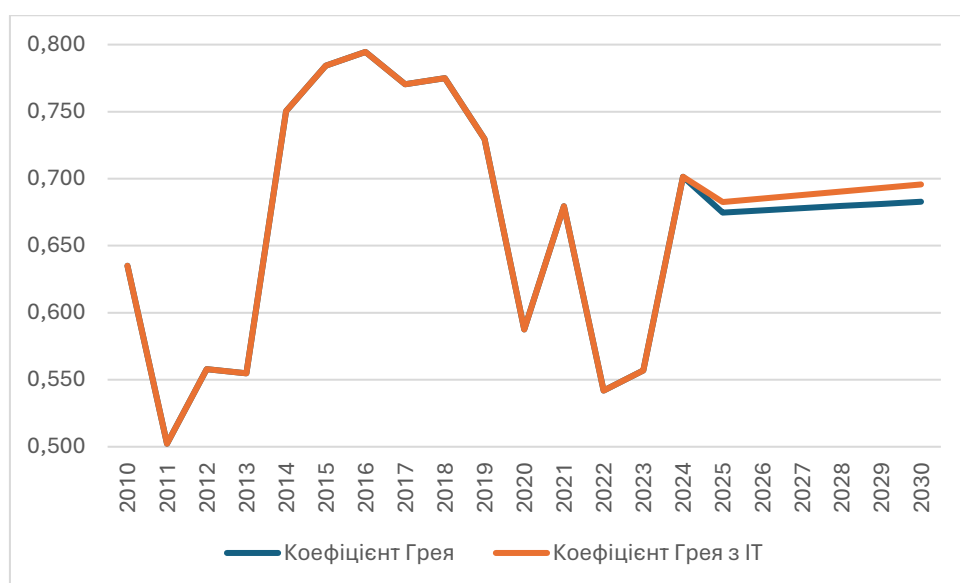


Рис. 3.8. Ретроспективні та прогнозні значення інтегрованої оцінки ЦЕ за Моделлю 1 та Моделлю 2 (власна розробка)

Далі зроблено порівняння прогнозів розвитку циркулярної економіки за Моделлю 1 та Моделлю 2 за допомогою моделі Басса та на її основі розраховано часові межі досяжності цілей розвитку циркулярної економіки.

За досяжні цілі обрано величину інтегрованої оцінки ЄС в останньому році ретроспективного періоду, рівну 0,71 в 2023 році (табл. 2.4 розділу 2).

В табл. 3.10 наведено числові характеристики часу t^* , необхідного для досягнення цілей розвитку циркулярної економіки в Україні. Як видно, досягнути рівня циркулярної економіки в країнах ЄС 2023 року Україна зможе за 8 років і 3 місяці, тобто до 2035 року. При цьому досягнення цілей можливе лише за умов масштабних інвестицій, реформування законодавства, зміни культури споживання та цифровізації процесів відстеження ресурсів.

Таблиця 3.10

Числові характеристики часу t^* , необхідного для досягнення цілей розвитку циркулярної економіки в Україні (власна розробка)

Прогнозна оцінка розвитку циркулярної економіки в Україні	Час, t^*
0,682	1,2
0,685	1,1
0,688	1,0
0,690	0,9
0,693	0,8
0,696	0,7
0,698	0,6
0,701	0,6
0,704	0,5
0,706	0,4
0,709	0,3
0,710	0,2
0,714	0,1
	0,0
Разом, років	8,3

На рис. 3.9 наведено кількість часу в роках, необхідного Україні для досягнення певного інтегрованого рівня розвитку циркулярної економіки. Наприклад, для досягнення рівня розвитку 0,682 потрібно 1 рік 2 місяці, рівня 0,704 – 7 років 2 місяці, рівня 0,714 – 8 років 3 місяці.

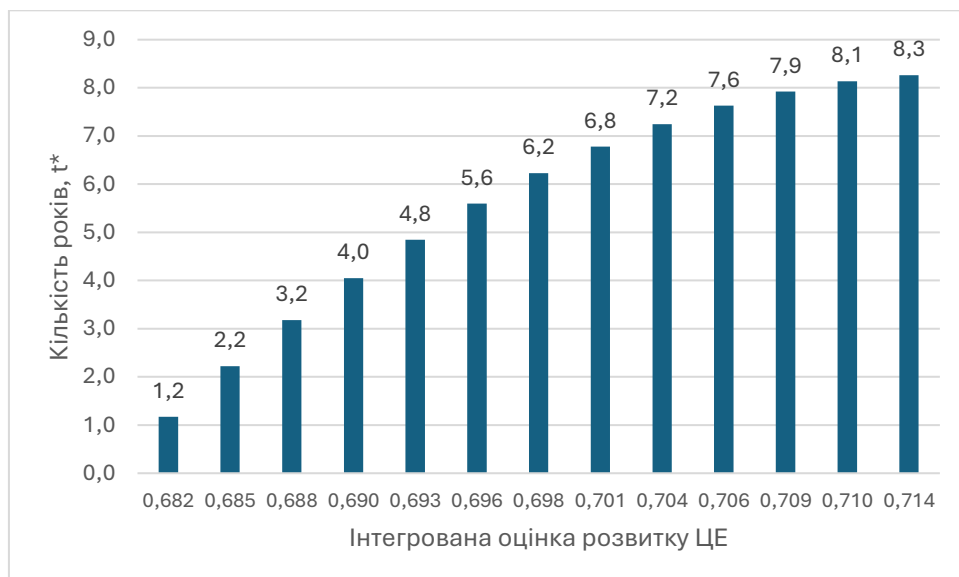


Рис. 3.9. Час, необхідний для досягнення певного рівня розвитку ЦЕ, років (власна розробка)

Україна визначила стратегічні часові рамки розвитку циркулярної економіки до 2035 року, з ключовими етапами до 2030 року [27]. Реалістична оцінка досяжності залежить від післявоєнного відновлення, інтеграції з ЄС та інвестицій у зелені технології. На основі вище проведеного аналізу та прогнозування встановлено, що проведене дослідження співпадає з орієнтованими часовими рамками, закладеними в Проєкті Стратегії розвитку циркулярної економіки України до 2035 року [27]. Тому сформовано основні часові орієнтири досягнення цілей розвитку ЦЕ:

- до 2030 року - досягнення проміжних цілей, тобто зменшення утворення відходів, підвищення рівня переробки, інтеграція принципів циркулярності у промисловість та агросектор. Важливим також є етап для гармонізації українського законодавства з директивами ЄС у сфері відходів та ресурсоефективності.

- до 2035 року – досягнення кінцевої мети Стратегії: формування повноцінної циркулярної економіки, де більшість секторів працюють за принципами повторного використання, ремонту, переробки та мінімізації втрат. Також можливість інтеграції у європейський ринок як країни з високим рівнем ресурсної ефективності.

В табл. 3.11 наведено основні етапи досягнення цілей розвитку циркулярної економіки в Україні та їх реалістичність.

Таблиця 3.11

Часова оцінка досягнення цілей розвитку циркулярної економіки в Україні
(власна розробка)

Етап	Цілі	Реалістичність
2026–2030	Гармонізація законодавства з ЄС, запуск пілотних проєктів у промисловості та агросекторі	Висока, за умови стабільного фінансування та підтримки ЄС
2030–2035	Масове впровадження циркулярних практик, розвиток ринку вторинних ресурсів	Середня, залежить від швидкості відновлення економіки та інвестицій
Після 2035	Повна інтеграція у європейський зелений ринок, стійка циркулярна модель	Довгострокова перспектива, потребує системних реформ

До факторів, які впливають на досяжність цілей розвитку ЦЕ, можна віднести післявоєнне відновлення, європейську інтеграцію, інвестиції та цифрові технології. Зокрема, циркулярна економіка розглядається як інструмент відновлення економіки після війни, з акцентом на ресурсозбереження та екологічну стійкість. Виконання вимог ЄС щодо управління відходами та зеленої трансформації є критичним для досягнення цілей. Для вчасної досяжності цілей розвитку ЦЕ необхідні значні інвестиції у переробні потужності, цифрові рішення (IoT, блокчейн для відстеження ресурсів), а також розвиток зеленої енергетики.

На жаль, існують потенційні ризики, які перешкоджають вчасності досягнення цілей розвитку ЦЕ або їх неможливості загалом. Це військові та економічні виклики, які можуть уповільнити реалізацію цілей; недостатнє фінансування та слабка інфраструктура переробки відходів; опір бізнесу через високі початкові витрати на трансформацію.

Отже, Україна має стратегічні документи та міжнародну підтримку, але реальний стан циркулярної економіки поки що слабкий. Основні бар'єри — війна, фінансова нестабільність та інституційні проблеми. Досягнення цілей можливе лише за умов масштабних інвестицій, реформування законодавства,

зміни культури споживання та цифровізації процесів розвитку ЦЕ. Реалістична оцінка досяжності цілей циркулярної економіки в Україні — проміжні результати можливі вже до 2030 року, а повна реалізація стратегії очікується до 2035 року, за умови стабільного відновлення та підтримки міжнародних партнерів.

ВИСНОВКИ

У дисертації розроблені теоретико-методичні засади та прикладні рекомендації щодо аналізу та перспектив розвитку циркулярної економіки України з урахуванням міжнародних тенденцій, зовнішніх та внутрішніх загроз та новітніх можливостей цифрових технологій. Зокрема,

1. Проведено аналіз сутності поняття циркулярна економіка на основі дослідження кількості публікацій в Scopus та пошукових запитів в Google Trends. Використання системного підходу до аналізу літератури з циркулярної економіки дозволило виокремити етапи: дизайну статей; стратегії пошуку та ключові критерії для включення та виключення публікацій; збору даних і визначення відповідних ключових слів; сортування та виключення; остаточної класифікації публікацій. Для синтезу літератури використано наративний і табличний методи.

Встановлено, що циркулярна економіка є широким поняттям, яке залучає вчених з різних дисциплін, а також інших учасників і групи інтересів. Проаналізовані публікації з циркулярної економіки містили різні методи дослідження, зокрема, тематичні дослідження, огляди літератури, опитування (на основі анкет та інтерв'ю), оцінку кількісних даних (варіанти оцінки вторинних даних) і дизайн концепції, а також поєднання методів дослідження. Встановлено, що зацікавленість до даної тематики має експоненційний характер, показуючи значне збільшення згадок про циркулярну економіку, починаючи з 2016 року і в 2025 році перевищила 3500 публікацій. Втім комплексний огляд статей в Scopus показав, що висвітлення циркулярної економіки є фрагментованим і дослідники не регулярно вивчають впровадження циркулярної економіки. Тому наразі немає жодних узагальнених висновків щодо успішного впровадження циркулярної економіки. Більшість науковців визнають, що циркулярна економіка не має одного продукту або одного актора як відправної точки. Швидше це системна концепція, що ґрунтується на принципі збереження ресурсів.

Досліджено зв'язок між циркулярною економікою та сталим розвитком. Встановлено, що впровадження циркулярної економіки у виробництво

зосереджено лише на екологічному вимірі, що свідчить про розрив у прагненні до економічної, соціальної та екологічної стійкості. Більшість науковців схиляються до думки, що циркулярна економіка пропонується як прогрес до сталого розвитку, а зусилля циркулярної економіки мають включати системну мікро-, мезо- та макроперспективу та сприяти екологічній, економічній та соціальній стійкості. Принципи циркулярної економіки можуть застосовуватися на різних системних рівнях: макро- (цілі системи виробництва та споживання), мезо- (сектор і тип бізнесу), мікро- (компанія) і нано- (продукт).

Проведено аналіз статей в Scopus українських вчених дав змогу констатувати незначний інтерес збоку української наукової спільноти до питань розвитку циркулярної економіки в Україні, який виник тільки після 2017 року. Аналіз статистики Google Trends щодо пошукових запитів циркулярної економіки за останні 5 років теж встановив факт низької зацікавленості широкої аудиторії інтернет-користувачів в українському середовищі до концепції циркулярної економіки.

На основі проведеного аналізу сутності поняття, в даному дослідженні запропоновано використовувати визначення циркулярної економіки як альтернативи традиційній лінійній економічній моделі, коли ресурси використовуються якомога довше, з них отримують максимальну цінність, а відходи повертаються з кінця ланцюга постачання на початок, даючи використаним матеріалам нове життя.

2. Використано логічний метод до дослідження принципів циркулярної економіки. Показано, що сучасна концепція 9R охоплює найповніший спектр інструментів подовження життєвого циклу продукції: починаючи з відмови від надмірного споживання та переосмислення дизайну продуктів до їх ремонту, оновлення, ремануфактурингу та енергетичного відновлення.

Досліджено практики впровадження циркулярної економіки в країнах з різним рівнем розвитку. Встановлено, що впровадження заходів циркулярної економіки в країнах-членах ЄС було нерівномірним, що переважно пояснюється регіональною неоднорідністю ЄС в інституційних умовах. Відмічено вплив

відмінностей між розвиненими країнами та країнами, що розвиваються, при переході до циркулярної економіки. Проведене дослідження дало підстави вважати, що компанії, особливо малі та середні, стикаються з багатьма перешкодами під час впровадження практик циркулярної економіки.

3. Сформовано методичний базис оцінки та розвитку циркулярної економіки, який дав змогу комплексно та системно підійти до вивчення об'єкту дослідження. Особливістю запропонованого методичного комплексу в даній роботі є те, що він поєднав в собі загальнонаукові та специфічні методи. До останніх можна віднести методи інтегрування на основі реляційного аналізу Грея (GRA) за умов неповноти даних та модель Басса для визначення часової досяжності цілей розвитку циркулярної економіки.

4. Для детального аналізу чинників розвитку циркулярної економіки проведено дослідження статистичних індикаторів, за допомогою яких Євростат визначає стан циркулярної економіки в країнах ЄС. Для моніторингу статистики даних стану циркулярної економіки в країнах ЄС Євростат формує індикатори циркулярної економіки за наступними категоріями: виробництво та споживання, управління відходами, вторинна сировина, конкурентоспроможність та інновації, глобальна стійкість та стабільність. Проведено морфологічний аналіз кожної з категорій за окремими статистичними показниками. Визначено методологію оцінки показників кожної з категорій та їх одиниці виміру. Проведений емпіричний аналіз сформованої сукупності показників дав змогу зробити висновок, що можна спостерігати суттєві відмінності у вкладі різних показників в розвиток циркулярної економіки в Україні та країнах ЄС. Як в Україні, так і в ЄС позитивна зростаюча тенденція до покращення розвитку циркулярної економіки відбувається за рахунок зменшення утворення відходів та викидів парникових газів. В країнах ЄС ця позитивна тенденція посилюється зростанням частки перероблених побутових відходів та використанням циркулярних матеріалів.

5. Емпірично оцінено досягнення циркулярної економіки України, окремих європейських країн та ЄС загалом шляхом застосування реляційного

аналізу Грея (GRA) з перевіркою стійкості отриманих результатів за допомогою альтернативних підходів обчислення еталонного показника. Вибір методології (GRA) пов'язаний із неповнотою статистичних даних. Перевагами даної методології є те, що вона дозволяє працювати з неповними, дефіцитними даними, усуває суб'єктивність оцінки, а також дозволяє досліджувати вибірки різної розмірності. Для порівняльного аналізу було обрано європейські країни з найвищим та найнижчим рівнем розвитку та впровадження практик циркулярної економіки. Завдяки тому, що більшість європейських країн дотримуються рекомендацій та законодавства ЄС щодо концепцій та цілей циркулярної економіки, це робить їх більш порівняльними, на відміну від інших досліджень, які розглядають дуже різні країни. Показано, що варто використовувати динамічний підхід через структурні та інші зміни в економіці, які відбуваються з часом. Таким чином, спостерігався період з 2010 по 2024 роки. Тобто можна було спостерігати зміни, якщо вони мали місце. Зокрема, Україна демонструє разючу відмінність у інтегрованому показнику розвитку циркулярної економіки за різних порівняльних підходів. При порівнянні з українськими усередненими величинами розвиток циркулярної економіки має як зростаючий, так і спадний характер. В той же час при порівнянні з європейськими нормативами чи з еталонним показником Україна демонструє погіршення розвитку циркулярної економіки в динаміці.

6. Цифрові технології визнані рушійною силою, яка сприяє впровадженню циркулярної економіки. Однак у науковій літературі немає консенсусу щодо того, які технології ретельно описують поточний стан Індустрії 4.0 та 5.0, оскільки цифрова трансформація швидко розвивається. Виокремлено чотири цифрові технології як важливі фактори переходу до циркулярної економіки: штучний інтелект, аналітика великих даних, технологія блокчейн та інтернет речей. Ці цифрові технології можуть реалізувати цифрове виробництво в розумінні Індустрії 4.0 і 5.0 і мають потенціал для підвищення надійності, точності, ефективності та прозорості операцій і прийняття рішень, пов'язаних із циркулярною економікою та сталим розвитком.

Проаналізовано основні перешкоди при впровадженні цифрових технологій в концепціях циркулярної економіки. На основі аналізу проведених емпіричних досліджень наведено практичні докази того, що використання цифрових технологій справді може позитивно вплинути на впровадження більш сталої та циклічної практики підприємств.

На основі проведеного емпіричного аналізу встановлено, що загальний рівень впровадження цифрових технологій суттєво відрізняється залежно від розміру української компанії. При цьому більші компанії демонструють вищий рівень цифрової інтенсивності. Результати проведеного аналізу українських компаній співпадають із загальними європейськими тенденціями, виявленими в показнику цифрової інтенсивності (DESI 2022). Близько половини великих підприємств і третини малих підприємств використовують будь-який інтернет речей (IoT), тільки кожне десяте підприємство проводить аналіз великих даних та використовує технологію штучного інтелекту. Крім того, базовий рівень цифрової інтенсивності українських компаній встановлено як все ще низький.

В галузевому розрізі серед одинадцяти досліджуваних видів економічної діяльності найбільш розвиненими виявилися інформація та телекомунікації, тоді як галузі переробної промисловості, транспорту та поштової діяльності, операцій з нерухомістю, сфера адміністративного та допоміжного обслуговування, водопостачання, каналізації, поводження з відходами, будівництва продемонстрували найнижчий ступінь цифровізації. Незважаючи на загальну тенденцію до більшої цифровізації, ступінь реалізації щодо конкретних застосувань окремих видів цифрових технологій значно відрізнявся в різних галузях. Частка підприємств, які використовують цифрові технології загалом, була вищою, ніж частка компаній, які прийняли їх для впровадження практик циркулярної економіки. Це може означати, що, хоча цифрові технології непрямо використовуються для циркулярної економіки, їх застосування в цілому може бути корисним для впровадження практик циркулярної економіки в компаніях.

З іншого боку встановлено сукупний вагомий вплив факторів цифрових технологій на окремі сфери циркулярної економіки. Однак ступінь їх

впровадження все ще низький, і лише у відносно рідкісних випадках компанії бачать чітко визначені вигоди від цифровізації, спрямовані на підтримку циркулярної економіки. Виявлено вплив цифрових технологій на дві сфери циркулярної економіки: цифрові технології для зменшення споживання енергії та цифрові технології для зменшення кількості матеріалів, що використовуються, або збільшення використання вторинної сировини.

7. Розроблено методику прогнозної оцінки розвитку циркулярної економіки. На основі попередньо сформованої системи індикаторів та розрахованої інтегрованої оцінки розвитку циркулярної економіки здійснено прогнозні розрахунки за двома варіантами: на підставі статистичних даних стану циркулярної економіки в Україні; та з врахування впливу цифрових технологій на циркулярну економіку. Здійснено їх порівняння. Розраховано часові межі досяжності цілей розвитку циркулярної економіки за допомогою моделі Басса. Встановлено, що досягнути рівня циркулярної економіки в країнах ЄС Україна зможе до 2035 року. При цьому досягнення цілей можливе лише за умов масштабних інвестицій, реформування законодавства, зміни культури споживання та цифровізації процесів відстеження ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрійчук В.Г. (2016). Сутнісний аспект методології наукових досліджень. *Економіка АПК*. № 7. С. 87-94. https://eapk.com.ua/web/uploads/pdf/Vol.%2023,%20No.%207,%202016_apk-87-94.pdf
2. Благун І.С. Модель циркулярної економіки як один із трендів сталого розвитку. *Бізнес Інформ*. 2021. № 12. С. 124-132. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-12-124-132>
3. Благун І.С., Кукурудз Н.Р., Чмелик В.Т. Циркулярна економіка як інструмент досягнення цілей сталого розвитку. *Наукові інновації та передові технології*. 2025. № 5(45). С. 605-617. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2025-5\(45\)-605-617](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2025-5(45)-605-617)
4. Буртняк І.В., Леськів В.В. (2025). Оцінка досягнень циркулярної економіки за допомогою реляційного аналізу Грея. *Моделювання економіки: проблеми, тенденції, досвід: матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції форуму молодих економістів-кібернетиків*. Львів, 21-22 листопада 2025 р. URL: https://econom.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2025/12/2025_Zbirnyk-OK-NEW-1.pdf
5. Буртняк І.В., Леськів В.В. (2025). Практики переходу від лінійної до циркулярної економіки: досвід країн з різним рівнем розвитку. *Грааль науки*. № 53. С. 112-119. <https://archive.journal-grail.science/index.php/2710-3056/issue/view/20.06.2025/41>
6. Буртняк І.В., Леськів В.В. (2025). Цифрові технології як інструмент розвитку циркулярної економіки. *International scientific-practical conference «Sustainable development of the economy, legal systems, and public governance in the context of global challenges»*: conference proceedings (Angers, France, May 28, 2025). Angers, France: Scholarly Publisher ICSSH, 2025. С. 20-24. URL: <https://www.economics.in.ua/2025/05/28.html>
7. Буртняк І.В., Леськів В.В. Маркетингова оцінка розвитку ринку

офлайн освіти в Україні. *XIV Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми моделювання соціально-економічних систем»* (Харків, 7 квітня 2023 р.). *Особистий внесок (0,08 д.а.): запропоновано методику оцінки розвитку ринку офлайн освіти (0,2 д.а.)*. URL: <https://mpsesm.org/book/2023/pages/sections/section05/page08.html>

8. Горбаль Н.І., Мазурик М.М., Микитин О.З. (2021). Впровадження циркулярної економіки на основі європейського досвіду. *Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення та проблеми розвитку*, 2(6), 280-288. DOI: <https://doi.org/10.23939/smeu2021.02.280>

9. Горбаль Н.І., Сліпачик С.В. (2024). Циркулярна економіка: особливості та перспективи впровадження в Україні в умовах війни. *Науковий журнал «Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення та проблеми розвитку»*, Т.6. № 1, 92–104. DOI: <https://doi.org/10.23939/smeu2024.01.092>

10. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua>

11. Дмитришин Л.І., Стасенко З.В. Механізм стимулювання переходу малих та середніх підприємств до циркулярної економіки. *Наукові інновації та передові технології*. 2025. № 7(47). С. 582-593. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2025-7\(47\)-582-593](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2025-7(47)-582-593)

12. Дмитришин Л.І., Стасенко З.В. Регуляторні механізми розвитку малого та середнього бізнесу на основі циркулярної економіки в умовах євроінтеграційних процесів. *Грааль науки*. 2025. № 53. С. 293-301. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.20.06.2025.032>

13. Дубель М. (2022). Циркулярна економіка як механізм досягнення цілей сталого розвитку в умовах глобалізації та діджиталізації світової економіки. *Економіка та суспільство*. 39. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-39-13>

14. Євростат. База даних. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database>

15. Заблоцька, Р.О., Русак, Д.М. (2024). Циркулярна економіка в умовах трансформаційних змін: цифровізація, глобалізація, інновації. *Бізнес Інформ.* 8. 113-120. URL: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-8-113-120>
16. ЗУ «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2020, № 22, ст.150). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/377-20#Text>
17. Індекс політики щодо МСП: країни східного партнерства 2024 р. ОЕСР 2023 р. URL: https://epo.org.ua/downloads/UKR_SME_policy_index_2024.pdf(дата звернення: 04.04.2025).
18. Кизим М. О., Хаустова В. Є., Шпілевський В. В., Шпілевський О. В. Обґрунтування перспективних напрямів розвитку циркулярної економіки в Україні. *Проблеми економіки.* 2023. № 3. С. 101-111. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2023-3-101-111>
19. Леськів В.В. (2025). Комплексний аналіз розвитку циркулярної економіки в Україні та ЄС. *Сталий розвиток економіки.* № 4(55). С.276-285. <https://economdevelopment.in.ua/index.php/journal/article/view/1421/1371>
20. Леськів В.В. (2025). Оцінка впливу цифрових технологій на впровадження практик циркулярної економіки. *Бізнес Інформ.* №10. С. 334-345. URL: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2025-10-334-345>
21. Леськів В.В. (2025). Роль цифрових технологій у розвитку циркулярної економіки. *Наукові перспективи.* № 5(59). С.836-850. URL: <http://perspectives.pp.ua/index.php/np/article/view/24643/24617>
22. Леськів В.В. Тренди онлайн- та офлайн- освіти в Україні: прогрес і виклики. *Матеріали IX Міжнародної науково-методичної конференції «Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці».* (Чернівці, 24-25 квітня 2025 р.). С.100-103. (0,17 д.а.). URL: <https://drive.google.com/file/d/1BZgCXeBLUATBjBthJDZqEzkZ2yZmWU2B/view>

23. Леськів В.В. Часова оцінка досяжності цілей розвитку циркулярної економіки в Україні. (2026). *Економіка та суспільство*. №84. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/7733/7710>
24. Марченко, О.Ю., Грабін, О.Ю. (2024). Зелена та цифрова трансформації економіки України: пріоритети післявоєнного відновлення. *Економіка та суспільство*. 59. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-173>
25. Мельник Н. (2020). Теоретичні підходи до сутності поняття «методологія» у сучасному правознавстві. *Університетські наукові записки*. № 3-4 (75-76). С. 117-124. URL: https://dspace.lvduvs.edu.ua/bitstream/1234567890/5380/1/%D0%9C%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20Unzap_2020_3-4_15.pdf
26. Мельничук, І.В., Возний, В.З. (2024). Упровадження циркулярної економіки в промисловості: літературний огляд. *Бізнес Інформ*. 6. 145-152. URL: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-6-145-152>
27. Проєкт Стратегії розвитку циркулярної економіки України до 2035 року. Кабінет Міністрів України. <https://me.gov.ua/view/36b84d21-53cf-4dc4-ae45-ecf37fa71a01>
28. Хаустова В. Є., Трушкіна Н. В. Інфраструктурне забезпечення регіонального управління відходами у контексті циркулярної економіки (на прикладі Харківської області). *Проблеми економіки*. 2022. № 4. С. 118-132. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2022-4-118-132>
29. Хмілевська, А., Войтко, С. (2021). Формування індексу циркулярної економіки для порівняльного аналізу переходу країн Європи до циркулярної економіки. *Економіка та суспільство*. 32. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-32-58>
30. Шелемон, В., Поверляк, Р. (2024). Інноваційні підходи до інтеграції циркулярної економіки в процесі євроінтеграції: виклики та перспективи. *Актуальні проблеми економіки*. 4(274). 196-202. URL: [10.32752/1993-6788-2024-1-274-196-202](https://doi.org/10.32752/1993-6788-2024-1-274-196-202)

31. ЮНІДО (2024). *Оглядовий стратегічний форсайт циркулярної економіки в Україні: Фінальний звіт*. Відень, ЮНІДО. <http://www.recpc.org/circular-economy/>
32. ЮНІДО (2024). *Циркулярна економіка для промислового розвитку в Україні: дослідження стану*. Відень, ЮНІДО. URL: <http://www.recpc.org/circular-economy/>
33. Яковенко, А.О., Гришова, Р.В. (2023). Цифрові технології у розвитку моделей циркулярної економіки. *International Scientific and Practical Conference Planning and Use of Territories within the Context of Inclusive Development*. URL: https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/37575/1/MMNPK_Planning_and_use_of_territories_within_the_context_of_inclusive_development_2023-287-290.pdf
34. Akter, M.M.K., Haq, U.N., Islam, M.M., Uddin, M.A. (2022). Textile-apparel manufacturing and material waste management in the circular economy: a conceptual model to achieve sustainable development goal (SDG) 12 for Bangladesh. *Clean. Environ. Syst.*, 100070.
35. Antikainen, R., Lazarevic, D., Seppala, J. (2018). *Circular economy: Origins and future orientations*. In: Lehmann, H. (Ed.), Factor X. Eco-Efficiency in Industry and Science, vol. 32. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50079-9_7
36. Aranda-Uson, A., Portillo-Tarragona, P., Marín-Vinuesa, L.M., Scarpellini, S. (2019). Financial resources for the circular economy: a perspective from businesses. *Sustainability* 11 (888), 1–23.
37. Bag, S., Gupta, S., Kumar, S. (2021). Industry 4.0 adoption and 10R advance manufacturing capabilities for sustainable development. *Int. J. Prod. Econ.* 231, 107844. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107844>
38. Bai, C., Zhou, H., Sarkis, J. (2023). Evaluating industry 4.0 technology and sustainable development goals – a social perspective. *Int. J. Prod. Res.* 1–21. URL: <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2164375>
39. Bass F. (2004). Comments on «A New Product Growth for Model Consumer Durables»: The Bass Model. *Management Science*. №50(12). P.1833-1840.

URL:

<https://web.archive.org/web/20160922213127/http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.460.1976&rep=rep1&type=pdf>

40. Bastein, T., Roelofs, E., Rietfeld, E., Hoogendorn, A. (2013). Opportunities for a Circular Economy in the Netherlands. *The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO)*, Delft.

41. Behl, A., Singh, R., Pereira, V., Laker, B., (2023). Analysis of industry 4.0 and circular economy enablers: a step towards resilient sustainable operations management. *Technol. Forecast. Soc. Change* 189, 122363. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122363>

42. Bharadwaj, A., El Sawy, O.A., Pavlou, P.A., Venkatraman, N. (2013). Digital business strategy: toward a next generation of insights. *MIS Q.* 471–482.

43. Boulding, K.E., (1966). The economics of the coming spaceship earth. In: Daly, H.E. (Ed.), *Environmental Quality Issues in a Growing Economy*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.

44. Bouton S., Hannon E., Rogers M., Swartz S., Johnson R., Gold A., Staples M. (2016). The Circular economy: Moving from Theory to Practice. McKinsey center for business and environment. <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/Sustainability/Our%20Insights/The%20circular%20economy%20Moving%20from%20theory%20to%20practice/The%20circular%20economy%20Moving%20from%20theory%20to%20practice.ashx>

45. Brundtland G.H. (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford.

46. BSI GROUP (2017). *Framework for Implementing the Principles of the Circular Economy in Organizations* – Guide. BSI Standards Publication, UK.

47. Cagno, E., Accordini, D., Neri, A., Negri, E., Macchi, M. (2024). Digital solutions for workplace safety: an empirical study on their adoption in Italian metalworking SMEs. *Saf. Sci.* 177, 106598. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106598>

48. Cagno, E., Neri, A., Negri, M., Bassani, C.A., Lampertico, T. (2021). The role of digital technologies in operationalizing the circular economy transition: a systematic literature review. *Appl. Sci.* 11. URL: <https://doi.org/10.3390/app11083328>
49. Cammarano, A., Varriale, V., Michelino, F., Caputo, M. (2023). A framework for investigating the adoption of key technologies: presentation of the methodology and explorative analysis of emerging practices. *IEEE Trans. Eng. Manag.* 71, 3843–3866. URL: <https://doi.org/10.1109/TEM.2023.3240213>
50. Carvalho, M., Cencione, D. (2017). Circular Economy, benefits and good practices. Available in: https://www.cittametropolitana.bo.it/progetti_europei/Engine/RAServeFile.php/f/Pubblicazioni/ebook_Circular_Economy.pdf
51. Castillo-Díaz, F.J., Belmonte-Urena, L.J., Dianez-Martínez, F., Camacho-Ferre, F. (2024). Challenges and perspectives of the circular economy in the European Union: a comparative analysis of the member states. *Ecol. Econ.* 224. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108294>
52. Cezarino, L.O., Liboni, L.B., Oliveira Stefanelli, N., Oliveira, B.G., Stocco, L.C. (2021). Diving into emerging economies bottleneck: industry 4.0 and implications for circular economy. *Manag. Decis.* 59, 1841–1862.
53. Chiarini, A., Belvedere, V., Grando, A. (2020). Industry 4.0 strategies and technological developments. An exploratory research from italian manufacturing companies. *Prod. Plan. Control*, 31, 1385–1398. URL: <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1710304>
54. Dantas, T., de Souza, E.D., Destro, I.R., Hammes, G., Rodriguez, C., Soares, S. (2021). How the combination of circular economy and industry 4.0 can contribute towards achieving the sustainable development goals. *Sustain. Prod. Consum.* 26, 213–227. URL: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.005>
55. Del Giudice, M., Chierici, R., Mazzucchelli, A., Fiano, F. (2020). Supply chain management in the era of circular economy: the moderating effect of big data. *Int. J. Logist. Manag.* 32, 337–356. URL: <https://doi.org/10.1108/IJLM-03-2020-0119>

56. DHL (2023). *DHL Express and Environmental Sustainability*. Available in: <https://www.dhl.com/discover/en-nz/logistics-advice/sustainability-and-green-logistics/dhl-express-and-environmental-sustainability>
57. DiMaria, E., DeMarchi, V., Galeazzo, A. (2022). Industry 4.0 technologies and circular economy: the mediating role of supply chain integration. *Bus. Strateg. Environ.*, 1–14. URL: <https://doi.org/10.1002/bse.2940>
58. Diofasi-Kovacs, O., Nagy, J. (2023). Beyond CO2 emissions – The role of digitalization in multi-dimensional environmental performance measurement. *Environ. Sustain. Indic.* 18, 100252. URL: <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100252>
59. *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives*. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/2024-02-18>
60. Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S.J., Papadopoulos, T., Luo, Z., Wamba, S.F., Roubaud, D. (2017). Can big data and predictive analytics improve social and environmental sustainability? *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 0–1. URL: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.06.020>
61. Dwivedi, A., Moktadir, M.A., Chiappetta Jabbour, C.J., de Carvalho, D.E. (2022). Integrating the circular economy and industry 4.0 for sustainable development: implications for responsible footwear production in a big data-driven world. *Technol. Forecast. Soc. Change* 175. URL: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121335>
62. EC (European Commission) (2019). *Report, Environmental Implementation Review 2019 the EU Environmental Implementation Review 2019, Country Report - Romania*.
63. EC (European Commission). (2018). *Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the Implementation of EU Waste Legislation, Including the Early Warning Report for Member States at Risk of Missing the 2020 Preparation for Re-use/recycling Target on Municipal Waste* (Brussels). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52018DC0656>

64. El Far, O.A., Chang, C.-K., Leong, H.Y., Peter, A.P., Chew, K.W., Show, P.L. (2021). Prospects of industry 5.0 in algae: customization of production and new advance technology for clean bioenergy generation. *Energ. Conver. Manage.* X10, 100048. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2020.100048>
65. Ellen MacArthur Foundation, (2013). Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/TCE_Ellen-MacArthur_Foundation_9-Dec-2015.pdf.
66. Ellström, D., Holtström, J., Berg, E., Josefsson, C. (2022). Dynamic capabilities for digital transformation. *J. Strateg. Manag.* 15, 272–286. URL: <https://doi.org/10.1108/JSMA-04-2021-0089>
67. European Commission, (2014). *Towards a Circular Economy: A Zero Waste Programme for Europe*. (COM/2014/0398).
68. European Commission, (2015). *Closing the Loop - an EU Action Plan for the Circular Economy* (COM/2015/0614).
69. European Commission, (2020). *A new Circular Economy Action Plan. For a Cleaner and More Competitive Europe* (COM/2020/98).
70. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, 2021. *Industry 5.0: towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. Publication Office of the European Union. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/468a892a-5097-11eb-b59f-01aa75ed71a1/>
71. European Commission. (2022). *Digital Economy and Society Index (DESI) 2022*.
72. *Farm to Fork strategy*. URL: https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en
73. Figge, F., Thorpe, A.S., Manzhynski, S. (2021). Between you and I: a portfolio theory of the circular economy. *Ecol. Econ.* 190, 107190.

74. Frank, A.G., Dalenogare, L.S., Ayala, N.F. (2019). Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. *Int. J. Prod. Econ.* 210, 15–26. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
75. Frosch, R.A., Gallopoulos, N.E., (1989). Strategies for manufacturing. *Sci. Am.* 261 (3), 144e152. <https://www.jstor.org/stable/24987406>.
76. Gagliardi, L., Marin, G., Miriello, C. (2014). The Greener the Better: Environmental Friendly Technological Change and Job Creation in Italy, *IEFE Working Paper Series*. №60. Bocconi University, Milan.
77. Gardiner, R., Hajek, P. (2020). Municipal waste generation, R&D intensity, and economic growth nexus – A case of EU regions. *Waste Manag.* 114, 124–135. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.06.038>
78. Gebhardt, M., Kopyto, M., Birkel, H., Hartmann, E. (2022). Industry 4.0 technologies as enablers of collaboration in circular supply chains: a systematic literature review. *Int. J. Prod. Res.* 60, 6967–6995. URL: <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1999521>
79. Geerken, T., Manoochehri, S., Di Francesco, E. (2022). *Circular Economy Policy Innovation and Good Practice in Member States*. European Topic Centre on Circular Economy and Resource Use. https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-ce/products/draft-report-for-dg-env_final.pdf
80. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M.P., Hultink, E.J., (2017). The circular economy e a newsustainability paradigm? *J. Clean. Prod.* 143, 757e768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>.
81. Global Reporting Initiative, United Nations Global Compact, World Business Council for Sustainable Development, (2015). *SDG compass: the guide for business action on the SDGs*. http://sdgcompass.org/wp-content/uploads/2015/12/019104_SDG_Compass_Guide_2015.pdf.
82. Guarnieri, P., Bianchini, A., Rossi, J., Camara e Silva, L., Trojan, F., Lizot, M., Vieira, B. (2023). Transitioning towards a circular economy under a multicriteria and the new institutional theory perspective: a comparison between Italy and Brazil. *J. Clean. Prod.* 409, 137094.

83. Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D., Heinz, M. (2015). How circular is the global economy? An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005. *J. Ind. Ecol.* 19 (5), 765–777.

84. Halog, A., Anieke, S. (2021). A review of circular economy studies in developed countries and its potential adoption in developing countries. *Circ. Econom. Sustain.* 1, 209–230.

85. Hanelt, A., Bohnsack, R., Marz, D., Antunes Marante, C. (2021). A systematic review of the literature on digital transformation: insights and implications for strategy and organizational change. *J. Manag. Stud.* 58, 1159–1197. URL: <https://doi.org/10.1111/joms.12639>

86. Hasan, A., Trianni, A. (2023). Boosting the adoption of industrial energy efficiency measures through industry 4.0 technologies to improve operational performance. *J. Clean. Prod.* 425, 138597. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138597>

87. Hondroyannis, G., Sardianou, E., Nikou, V., Evangelinos, K., Nikolaou, I. (2024). Circular economy and macroeconomic performance: evidence across 28 European countries. *Ecol. Econ.* 215, 108002. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.108002>

88. Hong Nham, N.T., Ha, L.T. (2022). Making the circular economy digital or the digital economy circular? Empirical evidence from the European region. *Technol. Soc.* 70, 102023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102023>

89. ILO (International Labour Organization), 2018. *World Employment Social Output, Greening with Jobs* (Geneva).

90. Kircherr, J., Hekkert, M., Bour, R., Huibrechtse-Truijens, A., Kostense-Smit, E., Muller, J. (2017). Breaking the barriers to the circular economy. *Deloitte*. URL: https://www.uu.nl/sites/default/files/breaking_the_barriers_to_the_circular_economy_white_paper_web.pdf

91. Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M. (2017). Resources , Conservation & Recycling Conceptualizing the circular economy : an analysis of 114 definitions. *Resources*. 127, 221e232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
92. Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A., Birkie, S.E., (2018). Circular economy as an essentially contested concept. *J. Clean. Prod.* 175, 544e552. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.111>.
93. Kuo, Y., Yang, T., Huang, G.-W. (2008). The use of a grey-based Taguchi method for optimizing multi-response simulation problems. *Eng. Optim.* 40(6), 517e528. URL: <https://doi.org/10.1080/03052150701857645>
94. Lacy, P., Rutqvist, J. (2015). *Waste to Wealth the Circular Economy Advantage*. Palgrave Macmillan, UK.
95. Liang, J., Wang, Y., Zhang, Z.-H., Sun, Y. (2019). Energy efficient production planning and scheduling problem with processing technology selection. *Comput. Ind. Eng.* 132, 260–270. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.04.042>
96. Liao, Y., Deschamps, F., de Loures, E., Ramos, L. (2017). Past, present and future of industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *Int. J. Prod. Res.* 55, 3609–3629. URL: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>
97. Lieder, M., Rashid, A., (2016). Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *J. Clean. Prod.* 115, 36e51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>.
98. Liu, Q., Li, H-m., Zuo, X-l., Zhang, F-f., Wang, L., (2009). A survey and analysis on public awareness and performance for promoting circular economy in China: a case study from Tianjin. *J. Clean. Prod.* 17 (2), 265e270. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.06.003>.
99. Liu, Q., Trevisan, A.H., Yang, M., Mascarenhas, J. (2022). A framework of digital technologies for the circular economy: digital functions and mechanisms. *Bus. Strateg. Environ.*, 1–22. URL: <https://doi.org/10.1002/bse.3015>
100. Liu, S., Yang, Y., Forrest, J. (2016). *Grey Data Analysis: Methods, Models and Applications*. Springer Science & Business Media, Singapore.

101. Lu, Y. (2017). Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues. *J. Ind. Inf. Integr.* 6, 1–10. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
102. Ma, S., Ding, W., Liu, Y., Zhang, Y., Ren, S., Kong, X., Leng, J. (2024). Industry 4.0 and cleaner production: a comprehensive review of sustainable and intelligent manufacturing for energy-intensive manufacturing industries. *J. Clean. Prod.* 467, 142879. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142879>
103. Maddikunta, P.K.R., Pham, Q.V.B.P., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T.R., Ruby, R., Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: a survey on enabling technologies and potential applications. *J. Ind. Inf. Integr.* 26, 100257 URL: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257>
104. Maksymiv Y., Yakubiv V., Hryhoruk I., Kravtsiv V. (2021). Development of Circular Economy Concept: Historical Background. *Journal of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University*. Vol. 8, No 3. pp. 120-129. DOI: <https://doi.org/10.15330/jpnu.8.3.120-129>
105. Marco-Fondevila, M., Benito-Bentue, D., Scarpellini, S. (2023). Old financial instruments in “new” circular models: applied environmental accounting in the banking sector for reporting in a circular economy. *Spanish Account. Rev.* 26, 34–45.
106. Mitrovic, D., Veselinov, M., (2018). Measuring countries competitiveness in circular economy - composite index approach. In: Kocovic, J., Selimovic, J., Boricic, B., Kascelan, V., Rajic, V. (Eds.), *Quantitative Models in Economics*. University of Belgrade, Faculty of Economics Publishing Centre, Beograd.
107. Morgan, J., Mitchell, P. (2015). *Opportunities to Tackle Britain's Labour Market Challenges through Growth in the Circular Economy*. Green Alliance, London, UK.
108. Murray, A., Skene, K., Haynes, K. (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *J. Bus. Ethics*, 140, 369–380.

109. Neri, A., Cagno, E., Susur, E., Uruena, A., Nuur, C., Kumar, V., Franchi, S., Sorrentino, C. (2024). The relationship between digital technologies and the circular economy: a systematic literature review and a research agenda. *R&D Manag.* URL: <https://doi.org/10.1111/radm.12715>
110. Neri, A., Negri, M., Cagno, E., Franzo, S., Kumar, V., Lampertico, T., Bassani, C.A. (2023). The role of digital technologies in supporting the implementation of circular economy practices by industrial small and medium enterprises. *Bus. Strategy Environ.* 32, 4693–4718. URL: <https://doi.org/10.1002/bse.3388>
111. Oghazi, P., Mostaghel, R., Hultman, M., (2024). International industrial manufacturers: mastering the era of digital innovation and circular economy. *Technol. Forecast. Soc. Change* 201, 123160. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.123160>
112. Okorie, O., Salonitis, K., Charnley, F., Moreno, M., Turner, C., Tiwari, A. (2018). Digitisation and the circular economy: a review of current research and future trends. *Energies* 11, 3009. URL: <https://doi.org/10.3390/en11113009>
113. Oliveira, F.R. de, França, S.L.B., Rangel, L.A.D. (2018). Challenges and opportunities in a circular economy for a local productive arrangement of furniture in Brazil. *Resour. Conserv. Recycl.* 135, 202–209.
114. Olsen, T.L., Tomlin, B. (2020). Industry 4.0: opportunities and challenges for operations management. *Manuf. Serv. Oper. Manag.* 22, 1–222. URL: <https://doi.org/10.1287/msom.2019.0796>
115. Pauliuk, S., (2018). Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001:2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations. *Resour. Conserv. Recycl.* 129, 81–9.
116. Praveen, K. at all. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration.* 26. 100257. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257>
117. Queiroz, M.M., Pereira, S.C.F., Telles, R., Machado, M.C. (2021). Industry 4.0 and digital supply chain capabilities. *Benchmarking An Int. J.* 28, 1761–1782. URL: <https://doi.org/10.1108/BIJ-12-2018-0435>

118. Reike, D., Vermeulen, W.J.V., Witjes, S., (2018). The circular economy: new or refurbished as CE 3.0? exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. *Resour. Conserv. Recycl.* 135, 246e264. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>.
119. Rizos, V., Behrens, A., Van der Gaast, W., Hofman, E., Ioannou, A., Kafyeke, T., Flamos, A., Rinaldi, R., Papadelis, S., Hirschnitz-Garbers, M., Topi, C. (2016). Implementation of circular economy business models by small and medium-sized enterprises (SMEs): barriers and enablers. *Sustainability*. 8(1212), 1e18. <https://doi.org/10.3390/su811121>
120. Rockstrom, J., and oth. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature* 461 (7263), 472. <https://doi.org/10.1038/461472a>.
121. Rodríguez-Espíndola, O., Chowdhury, S., Dey, P.K., Albores, P., Emrouznejad, A. (2022). Analysis of the adoption of emergent technologies for risk management in the era of digital manufacturing. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 178, 121562. URL: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121562>
122. Romer, P.M. (1986). Increasing returns and long-run growth. *J. Polit. Econ.* 94(5), 1002e1037.
123. Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., Terzi, S. (2020). Assessing relations between circular economy and Industry 4.0: a systematic literature review. *Int. J. Prod. Res.* 58, 1662–1687. URL: <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1680896>
124. Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., Harnisch, M. (2015). Industry 4.0 - the Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. *Business & Information Systems Engineering*. 6, 239-242. URL: <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
125. Rusch, M., Schöggel, J.-P., Baumgartner, R.J. (2022). Application of digital technologies for sustainable product management in a circular economy – a review. *Bus. Strateg. Environ.* URL: <https://doi.org/10.31235/osf.io/twgks>

126. Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *Int. J. Prod. Res.* 57, 2117–2135. URL: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261>
127. Sawe, F.B., Kumar, A., Garza-Reyes, J.A., Agrawal, R. (2021). Assessing people-driven factors for circular economy practices in small and medium-sized enterprise supply chains: business strategies and environmental perspectives. *Bus. Strat. Environ.* 30 (7), 2951–2965.
128. Scarpellini, S., Gimeno, J.A., Portillo-Tarragona, P., Llera-Sastresa, E. (2021). Financial resources for the investments in renewable self-consumption in a circular economy framework. *Sustainability* 13 (12), 6838.
129. Schoggl, J.P., Rusch, M., Stumpf, L., Baumgartner, R.J. (2023). Implementation of digital technologies for a circular economy and sustainability management in the manufacturing sector. *Sustain. Prod. Consum.* 35, 401–420. URL: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.11.012>
130. Schoggl, J.P., Stumpf, L., Baumgartner, R.J. (2024). The role of interorganizational collaboration and digital technologies in the implementation of circular economy practices - Empirical evidence from manufacturing firms. *Bus. Strategy Environ.* 33, 2225–2249. URL: <https://doi.org/10.1002/bse.3593>
131. Schroder, P., Anggraeni, K., Weber, U. (2019). The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals. *J. Indus. Ecol.* 23, 77–95. <https://doi.org/10.1111/jiec.12732>
132. Shahzad, U., Ferraz, D., Dogan, B., Rebelatto, D.A. (2020). Export product diversification and CO2 emissions: contextual evidences from developing and developed economies. *J. Clean. Prod.* 276, 124146.
133. Sharma, Y.K., Mangla, S.K., Patil, P.P., Liu, S. (2019). When challenges impede the process: for circular economy-driven sustainability practices in food supply chain. *Manag. Decis.* 57 (4), 995–1017.
134. Sjodin, D., Parida, V., Kohtamaki, M., (2023). Artificial intelligence enabling circular business model innovation in digital servitization: conceptualizing

dynamic capabilities, AI capacities, business models and effects. *Technol. Forecast. Soc. Change* 197. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122903>

135. Smol, M., et al. (2018). Public awareness of circular economy in southern Poland: case of the Malopolska region. *J. Clean. Prod.* 197 (1), 1035e1045. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.100>

136. Steliac, N., Steliac, D. (2019). What is the progress of EU circular economies? *Ecoforum*. 8(2), 1e9.

137. Suarez-Eiroa, B., Fernandez, E., Mendez, G. (2021). Integration of the circular economy paradigm under the just and safe operating space narrative: twelve operational principles based on circularity, sustainability and resilience. *J. Clean. Prod.* 322, 129071.

138. Sui, X., Jiao, S., Wang, Y., Wang, H. (2024). Digital transformation and manufacturing company competitiveness. *Financ. Res. Lett.* 59, 104683. URL: <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.104683>

139. Teh, D., Khan, T., Corbitt, B., Ong, C.E. (2020). Sustainability strategy and blockchain-enabled life cycle assessment: a focus on materials industry. *Environ. Syst. Decis.* URL: <https://doi.org/10.1007/s10669-020-09761-4>

140. Trica, C.L., Banacu, C.S., Busu, M. (2019). Environmental factors and sustainability of the circular economy model at the European Union level. *Sustainability*. 11(4), 1e16. <https://doi.org/10.3390/su11041114>

141. Tsai, W.-H., Lee, H.-L., Yang, C.-H., Huang, C.-C. (2016). Input-output analysis for sustainability by using DEA method: a comparison study between European and Asian countries. *Sustainability*. 8(12), 1e17. <https://doi.org/10.3390/su8121230>

142. Unilever (2018). *Fast Tracking Discovery at the Materials Innovation Factory*. Available in: Unilever. <https://www.unilever.com/news/news-search/2018/fast-tracking-discovery-at-the-materials-innovation-factory/>

143. United Nations (2024). *2024 Theme: MSMEs and the SDGs*. <https://www.un.org/en/observances/micro-small-medium-businesses-day>

144. United Nations (2015). *Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development*.
<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>
145. Varriale, V., Cammarano, A., Michelino, F., Caputo, M. (2024). The role of digital technologies in production systems for achieving sustainable development goals. *Sustain. Prod. Consum.* 47, 87–104. URL: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.03.035>
146. Vuța, M., Vuța, M., Enciu, A., Cioaca, S.I. (2018). Assessment of the circular economy's impact in the EU economic growth. *Amfiteatru Economic*. 20 (48), 248e261. URL: <https://doi.org/10.24818/EA/2018/48/248>
147. WCED (1987). Report of the World commission on environment and development. *Our Common Future*, 17, 1e91.
148. Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., Perona, M. (2021). The applications of industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *Int. J. Prod. Res.* 59, 1922–1954. URL: <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1824085>

ДОДАТКИ

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Леськів В.В. Роль цифрових технологій у розвитку циркулярної економіки. *Наукові перспективи*. 2025. № 5(59). С.836-850. (0,63 д.а.).

DOI: [https://doi.org/10.52058/2708-7530-2025-5\(59\)-836-850](https://doi.org/10.52058/2708-7530-2025-5(59)-836-850)

URL: <http://perspectives.pp.ua/index.php/np/article/view/24643/24617>

2. Буртняк І.В., Леськів В.В. Практики переходу від лінійної до циркулярної економіки: досвід країн з різним рівнем розвитку. *Грааль науки*. 2025. № 53. С. 112-119. *Особистий внесок (0,2 д.а.): проведено історичний аналіз практик переходу різних країн: Китаю, країн ЄС, Латинської Америки (0,33 д.а.).*

DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.20.06.2025.011>

URL: <https://archive.journal-grail.science/index.php/2710-3056/issue/view/20.06.2025/41>

3. Леськів В.В. Комплексний аналіз розвитку циркулярної економіки в Україні та ЄС. *Сталий розвиток економіки*. 2025. № 4(55). С.276-285. (0,42 д.а.).

DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-55-38>

URL:

<https://economdevelopment.in.ua/index.php/journal/article/view/1421/1371>

4. Леськів В.В. Оцінка впливу цифрових технологій на впровадження практик циркулярної економіки. *Бізнес Інформ*. 2025. №10. С. 334-345. (0,46 д.а.).

DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2025-10-334-345>

URL: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2025-10_0-pages-334_345.pdf

5. Леськів В.В. Часова оцінка досяжності цілей розвитку циркулярної економіки в Україні. *Економіка та суспільство*. 2026. №84. (0,67 д.а.).

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-84-117>

URL:

<https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/7733/7710>

Матеріали наукових конференцій

6. Буртняк І.В., Леськів В.В. Цифрові технології як інструмент розвитку циркулярної економіки. *International scientific-practical conference «Sustainable development of the economy, legal systems, and public governance in the context of global challenges»*: conference proceedings (Angers, France, May 28, 2025). Angers, France: Scholarly Publisher ICSSH, 2025. Р. 20-24. *Особистий внесок (0,12 д.а.):* проведено класифікацію цифрових технологій, релевантних для переходу до циркулярних моделей (0,21 д.а.) URL: <https://www.economics.in.ua/2025/05/28.html>

7. Буртняк І.В., Леськів В.В. Оцінка досягнень циркулярної економіки за допомогою реляційного аналізу Грея. *Матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції форуму молодих економістів-кібернетиків «Моделювання економіки: проблеми, тенденції, досвід»*. (Львів, 21-22 листопада 2025 р.) *Особистий внесок (0,1 д.а.):* запропоновано методику аналізу Грея для інтегрованої оцінки розвитку циркулярної економіки (0,22 д.а.). URL: https://econom.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2025/12/2025_Zbirnyk-OK-NEW-1.pdf

8. Буртняк І.В., Леськів В.В. Маркетингова оцінка розвитку ринку оффлайн освіти в Україні. *XIV Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми моделювання соціально-економічних систем»* (Харків, 7 квітня 2023 р.). *Особистий внесок (0,08 д.а.):* запропоновано методику оцінки розвитку ринку оффлайн освіти (0,2 д.а.). URL: <https://mpsesm.org/book/2023/pages/sections/section05/page08.html>

9. Леськів В.В. Тренди онлайн- та офлайн- освіти в Україні: прогрес і виклики. *Матеріали IX Міжнародної науково-методичної конференції «Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці»*. (Чернівці, 24-25 квітня 2025 р.). С.100-103. (0,17 д.а.). URL: <https://drive.google.com/file/d/1BZgCXeBLUATBjBthJDZqEzkZ2yZmWU2B/view>



Вих. № 2026-11/4
вд 07.04.2026 р

ТОВ «Софтджорн-Україна»
76018, Україна, м.Івано-Франківськ,
вул. Берегова 32/74
тел. (0342) 75-44-76
ЄДРПОУ 33427498
р/р UA76305299000026001035504294
в ПАТ КБ «Приватбанк»
МФО 306299
ІПН 334274909156
Свідоцтво 100261205

ДОВІДКА
про впровадження результатів дисертаційної роботи
Леськів Вікторії Віталіївни
на тему «Аналіз та оцінка перспектив розвитку
циркулярної економіки в Україні»

Видана аспірантці спеціальності 051 Економіка Карпатського національного університету імені Василя Стефаника Леськів Вікторії Віталіївни про те, що наукові результати її дисертаційної роботи, зокрема, в частині аналізу та оцінки ролі цифрових технологій у розвитку циркулярної економіки використано в діяльності міжнародної ІТ-компанії SoftJourn-Україна.

Цифрова трансформація в Україні у воєнний та післявоєнний періоди зумовлена необхідністю модернізації державного управління, фінансових послуг і промислових секторів за допомогою передових технологій, зокрема, таких як Індустрія 4.0 і блокчейн, розвиток FinTech. Запропонований в роботі підхід щодо інтеграції цифрових технологій у циркулярну економіку є важливим кроком для покращення стійкості та ефективності використання ресурсів компаніями. Цифрові технології (IoT, AI, Big Data, Blockchain) є основою переходу компаній до циркулярної економіки, забезпечуючи перехід від лінійної моделі до замкнутих циклів. Вони дозволяють оптимізувати використання ресурсів, відстежувати життєвий цикл обладнання, зменшувати кількість електронних відходів та підвищувати енергоефективність, тим самим знижуючи операційні ризики та витрати.

Запропонована модель визначення часових горизонтів досяжності цілей розвитку циркулярної економіки з врахуванням впливу цифрових технологій сприятиме створенню передових рішень, які є практичними та ефективними для клієнтів міжнародної ІТ-компанії SoftJourn-Україна та забезпечить трансформацію через інновації. Ці технології підтримують компанії з точки зору вертикальної інтеграції, автоматизації віртуалізації, відстеження, гнучкості та управління енергією. Таким чином, очікується, що вони дозволять і покращать продуктивність, безпеку та аспекти, пов'язані з навколишнім середовищем.



ТОВ «Софтджорн-Україна»
 76018, Україна, м.Івано-Франківськ,
 вул. Берегова 32/74
 тел. (0342) 75-44-76
 ЄДРПОУ 33427498
 р/р UA763052990000026001035504294
 в ПАТ КБ «Приватбанк»
 МФО 306299
 ІПН 334274909156
 Свідоцтво 100261205

В цілому результати дисертаційної роботи Леськів Вікторії Віталіївни на тему «Аналіз та оцінка перспектив розвитку циркулярної економіки в Україні» на здобуття освітнього рівня доктора філософії з спеціальності 051 Економіка, зважаючи на їх практичну значущість в розвитку циркулярної економіки, заслуговують високої оцінки.

Довідка видана для подання у спеціалізовану вчену раду за місцем захисту Леськів В.В. дисертаційної роботи.

Директор



Сергій Фіцак



Міністерство освіти і науки України
КАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНИКА

вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, Україна, 76018; код згідно з ЄДРПОУ 02125266
тел. (+380-342) 75-23-51; факс (+380-342) 53-15-74; e-mail office@cnu.edu.ua; сайт https://cnu.edu.ua

29.04.2026 № 03.04-29/07 На № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Леськів Вікторії Віталіївни

на тему «Аналіз та оцінка перспектив розвитку

циркулярної економіки в Україні»

спеціальність 051 «Економіка»

У дисертаційній роботі аспірантки кафедри економічної кібернетики Карпатського національного університету імені Василя Стефаника Леськів Вікторії Віталіївни, представлений на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 051 Економіка, розроблено теоретико-методичні засади та прикладні рекомендації щодо аналізу та перспектив розвитку циркулярної економіки України з урахуванням міжнародних тенденцій, зовнішніх та внутрішніх загроз та новітніх можливостей цифрових технологій.

В дослідженні адаптовано систему індикаторів Європейського Союзу до українських реалій і запропоновано застосування реляційного коефіцієнта Грея як інструменту об'єктивного аналізу в умовах неповноти даних, результатом використання яких стала прогнозна оцінка та визначення часової досяжності цілей розвитку циркулярної економіки в Україні.

Основні результати дисертаційної роботи впроваджено в освітній процес Карпатського національного університету імені Василя Стефаника при викладанні навчальних дисциплін «Економіка сталого розвитку»,

«Циркулярна економіка», «Прогнозування соціальних та економічних процесів» для студентів спеціальності С1 Економіка та міжнародні економічні відносини на економічному факультеті.

Отримані наукові результати використовуються під час підготовки здобувачів вищої освіти, у науково-дослідній роботі кафедри економічної кібернетики.

Проректор з науково-педагогічної роботи
і міжнародної діяльності
Карпатського національного університету
імені Василя Стефаника

кандидат хімічних наук, доцент



Лілія ТУРОВСЬКА

Завідувач кафедри економічної кібернетики
доктор економічних наук, професор

Леся ДМИТРИШИН

Аналіз публікацій за об'єктом дослідження в Scopus

Назва статті	Автор	Замикання петлі	Вимірювання	СВМ	Співпраця	Бар'єри	Використання/ користувач	Стійкість		
								Економічний	Соціальний	Екологічний-ментальний
Розробка основ циклічної стратегії для виробничих компаній для підтримки циклічної економіки, орієнтованої на інновації	Бломсма та ін.	3	1	2	3	1	1	1	1	1
Кейс-стаді, що аналізує потенціал для підвищення ефективності використання матеріалів у виробничих ланцюгах поставок, враховуючи аспекти циклічної економіки	Браун та ін.	3	3	3	3	1	1	3	1	3
Наукові проблеми для сценарію сталого споживання та виробництва: циклічне повторне використання матеріалів для модернізації та перепрофілювання компонентів	Бріссо і Зволінський	3	1	1	1	3	3	1	3	3
Парадоксальна напруга та корпоративна стійкість: акцент на бізнес-кейсах економіки замкнутого циклу	Дадді та ін.	1	1	3	3	3	3	3	3	3

Назва статті	Автор	Замикання петлі	Вимірювання	CBM	Співпраця	Бар'єри	Використання/користувач	Стійкість		
								Економічний	Соціальний	Екологічний
Інноваційна бізнес-модель для ресурсоефективності, циркулярності та чистого виробництва: про що говорять 143 кейси	Діас Лопес та ін.	3	3	3	3	3	3	3	1	3
Циркулярна трансформація бізнес-моделі: дорожня карта для існуючих фірм	Фрішамма р та ін.	1	1	3	3	3	3	3	3	3
Набір інструментів для вимірювання циркулярності для виробничих малих і середніх підприємств	Гарза-Рейес та ін.	1	3	1	1	1	1	2	1	2
Бар'єри для інновацій циклічної бізнес-моделі: кілька кейсів	Гульдман і Хюльгаард	1	1	3	3	3	3	1	1	3
Технологічні елементи циркулярної економіки та принципи замкнутого циклу потоку матеріалів на основі 6R у сталому виробництві	Джавахір і Бредлі	3	3	1	1	1	1	3	2	3
Методологічний підхід до розробки варіантів циркулярної економіки в бізнесі	Йоргенсен і Реммен	3	1	3	1	3	3	1	1	2
Чи є подовження терміну служби пасивних довговічних продуктів неவிбагливим плодом циркулярної економіки? Кілька прикладів	Кадура та ін.	3	3	3	2	2	1	3	1	3

Назва статті	Автор	Замикання петлі	Вимірювання	CBM	Співпраця	Бар'єри	Використання/користувач	Стійкість		
								Економічний	Соціальний	Екологічний
Структура для стійких ціннісних пропозицій у системах продукт-послуга	Крістенсен і Реммен	1	1	3	3	3	2	3	3	3
Співпраця як засіб економіки замкнутого циклу: приклад країни, що розвивається	Мішра та ін.	1	1	3	3	1	1	1	1	2
Можливості для перерозподіленого виробництва та цифрового інтелекту як чинників циркулярної економіки	Морено та ін.	1	1	3	1	1	1	1	1	3
Оркестрування промислової екосистеми в циркулярній економіці: двоетапна модель трансформації для великих виробничих компаній	Паріда та ін.	3	1	3	3	1	2	2	1	3
«Оновлювана PSS»: роз'яснення нової концепції сталого споживання/виробництва на основі можливості оновлення	Пайлот та ін.	3	1	3	3	3	3	3	1	3
Конфігурація нових бізнес-моделей для економіки замкнутого циклу за допомогою систем продуктів і послуг	Пероні та ін.	3	1	3	3	2	1	3	3	3
Точка зору зацікавлених сторін у рамках сертифікації B corr для циклічного підходу	Попоні та ін.	3	3	3	3	1	3	1	2	3

Назва статті	Автор	Замикання петлі	Вимірювання	CBM	Співпраця	Бар'єри	Використання/користувач	Стійкість		
								Економічний	Соціальний	Екологічний
Закриття глобальних матеріальних циклів: початкове розуміння проблем на рівні фірми	Просман та ін.	3	1	1	3	3	1	1	1	1
Індикатори циклічної економіки для організацій, які розглядають стійкість і бізнес-моделі: пластикові, текстильні та електронні корпуси	Россі та ін.	3	3	3	3	1	3	3	3	3
Метамодель міжорганізаційної співпраці для переходу до циркулярної економіки	Руггері та ін.	3	1	2	3	2	3	1	1	3
Ефективність матеріалів у виробництві: шведський досвід щодо потенціалу, перешкод і стратегій	Шахбазі та ін.	3	1	1	1	3	1	1	1	3
Покращення продуктивності стійких ланцюгів постачання за рахунок операційної досконалості: підхід до циклічної економіки	Сенем та ін.	1	1	2	3	3	1	2	2	3
Вивчення проблем впровадження циклічного бізнесу у виробничих компаніях: емпіричне дослідження постачальника послуг з оплатою за використання	Суза-Зомер та ін.	1	1	3	3	3	3	1	2	3

Назва статті	Автор	Замикання петлі	Вимірювання	CBM	Співпраця	Бар'єри	Використання/користувач	Стійкість		
								Економічний	Соціальний	Екологічний
У пошуках стандартів для підтримки циркулярності в політиці продукту: системний підхід	Теккіо та ін.	3	1	1	1	1	1	1	1	3
Вивчення бар'єрів для впровадження різних циклічних бізнес-моделей	Вермунт та ін.	3	1	3	3	3	1	1	1	3
Роль виробництва в досягненні циркулярної економіки: сталева справа	Вонг та ін.	3	1	1	1	1	1	1	1	3
Перехід до циркулярної економіки на рівні фірми: ідентифікація бар'єрів і визначення пріоритетів у ланцюжку створення вартості	Вернінг і Спінлер	1	1	3	3	3	1	1	1	1
Бізнес-моделі систем продукт-сервіс для циклічних ланцюгів поставок	Ян та ін.	1	1	3	3	1	2	1	1	3

Додаток Б
Таблиця Б1

Характеристика індикаторів циркулярної економіки відповідно до
бази даних Євростату і Державної служби статистики України (розроблено на основі [10,14])

Категорія	Підкатегорія	Позначення	Статистична характеристика	Одиниці вимірювання
Виробництво та споживання	Матеріальний слід	П1.1	Показник кількісно визначає попит на видобуток матеріалів (біомаса, металеві руди, неметалеві корисні копалини та викопні енергетичні матеріали/носії), що виникає внаслідок споживання та інвестицій з боку домогосподарств, урядів та підприємств ЄС. Показник споживання сировини (ПСС) – це міра матеріального сліду. Він відображає кількість матеріалу в еквіваленті сировини (ЕСМ), необхідного (або обсяг видобутку, як всередині країни, так і за кордоном, необхідний прямо та опосередковано) для виробництва продукції, що споживається в географічній референтній області. Він розраховується як витрати сировини (ВМС) мінус експорт у ЕСМ (розрахований на рівні агрегованого продукту, за матеріалом). Показник ПСС дає уявлення про кількість та тип матеріалів, необхідних для задоволення попиту ЄС на продукцію	Відсотків до попереднього року
	Продуктивність ресурсів	П1.2	Показник визначається як валовий внутрішній продукт (ВВП), поділений на внутрішнє матеріальне споживання (ВМС). ВМС вимірює загальну кількість матеріалів, безпосередньо використовуваних економікою. Вона визначається як річна кількість сировини, видобутої з внутрішньої території місцевої	Відсотків до попереднього року

Категорія	Підкатегорія	Позначення	Статистична характеристика	Одиниці вимірювання
			економіки, плюс весь фізичний імпорт мінус весь фізичний експорт. Важливо зазначити, що термін «споживання», як він використовується в ВМС, означає видиме споживання, а не кінцеве споживання. ВМС не включає потоки, пов'язані з імпортом та експортом сировини та продукції, що походять з-за меж місцевої економіки.	
	Утворення відходів на душу населення	П1.3	Цей показник визначається як загальна кількість відходів, що утворюються в країні, включаючи основні мінеральні відходи (всі види діяльності NACE плюс домогосподарства), поділена на середню чисельність населення країни.	Кг на особу
	Утворення відходів, за винятком основних мінеральних відходів, на одиницю ВВП	П1.4	Показник визначається як кількість усіх відходів, що утворюються в країні (в одиниці маси), за винятком основних мінеральних відходів, на одиницю ВВП (у євро, ланцюгові обсяги (2010)). Співвідношення виражається в кг на тисячу євро.	Кг на тисячу євро
	Утворення побутових відходів на душу населення	П1.5	Цей показник вимірює відходи, зібрані муніципальними органами влади або від їхнього імені та утилізовані через систему управління відходами. Він значною мірою складається з відходів, що утворюються домогосподарствами, хоча можуть бути включені й аналогічні відходи з таких джерел, як торгівля, офіси та державні установи.	Кг на особу
	Харчові відходи	П1.6	Показник визначається як кількість харчових відходів, що утворюються за рік, поділена на середню чисельність населення країни. Харчові відходи вимірюються як свіжа маса вздовж усього ланцюга створення вартості харчових продуктів, включаючи виробничі майданчики, переробку та виробництво, роздрібну торгівлю та дистрибуцію, ресторани та	Кг на особу

Категорія	Підкатегорія	Позначення	Статистична характеристика	Одиниці вимірювання
			громадське харчування, а також домогосподарства.	
	Утворення відходів пакування на душу населення	П1.7	«Пакування» в цьому контексті означає всі вироби, виготовлені з будь-яких матеріалів будь-якої природи, що використовуються для зберігання, захисту, обробки, доставки та представлення товарів, від сировини до перероблених товарів, від виробника до користувача або споживача. «Неповернені» предмети, що використовуються для тих самих цілей, також вважаються упаковкою. «Відходи пакування» означають будь-яку речовину або предмет, від яких власник позбавляється або має намір або зобов'язаний позбутися.	Кг на особу
	Утворення відходів пластикового пакування на душу населення	П1.8	Цей показник включає відходи пластикового пакування.	Кг на особу
Управління відходами	Коефіцієнт переробки побутових відходів	П2.1	Цей показник вимірює частку перероблених побутових відходів у загальному обсязі утворення побутових відходів. Переробка включає переробку матеріалів, компостування та анаеробне розкладання. Співвідношення виражається у відсотках (%), оскільки обидва терміни вимірюються в одній одиниці, а саме в тонах.	Відсоток
	Коефіцієнт переробки всіх відходів, за винятком основних мінеральних відходів	П2.2	Індикатор розраховується як кількість перероблених відходів (RCV_R), поділена на загальну кількість оброблених відходів, за винятком основних мінеральних відходів (TRT), помножена на 100. Він виражається у відсотках (%), оскільки обидва терміни вимірюються в одній одиниці, а саме в тоннах.	Відсоток

Категорія	Підкатегорія	Позначення	Статистична характеристика	Одиниці вимірювання
	Рівень переробки пакувальних відходів за типом упаковки	П2.3	Показник визначається як частка перероблених відходів упаковки у всіх утворених відходах упаковки. Відходи упаковки охоплюють відходи, що використовувалися для зберігання, захисту, обробки, доставки та представлення товарів, від сировини до перероблених товарів, від виробника до користувача або споживача, за винятком виробничих залишків. Відходи упаковки поділяються на «паперову та картонну упаковку», «пластикову упаковку», «дерев'яну упаковку», «металеву упаковку» та «скляну упаковку». Співвідношення виражається у відсотках (%), оскільки обидва терміни вимірюються в одній одиниці, а саме в тоннах.	Відсоток
	Рівень переробки відходів електричного та електронного обладнання (ВЕЕО), зібраних окремо	П2.4	Показник розраховується шляхом ділення ваги відходів електричного та електронного обладнання (ВЕЕО), що надходять на об'єкт переробки/підготовки до повторного використання, на вагу всіх роздільно зібраних ВЕЕО (обидва показники в одиницях маси). Відходи електричного та електронного обладнання (ВЕЕО) - це використані, пошкоджені або застарілі електричні та електронні прилади, які більше не придатні для використання за призначенням. До них належать, наприклад, старі комп'ютери, телевізори, холодильники, пральні машини, мобільні телефони, лампочки та батарейки. Показник виражається у відсотках (%), оскільки обидва терміни вимірюються в одній одиниці.	Відсоток
Вторинна сировина	Коефіцієнт використання	ПЗ.1	Цей показник вимірює частку матеріалів, що переробляються та повертаються в економіку, що	Відсоток від загального використання матеріалів

Категорія	Підкатегорія	Позначення	Статистична характеристика	Одиниці вимірювання
	циркулярних матеріалів		дозволяє заощадити на видобутку первинної сировини, у загальному використанні матеріалів. Циркулярне використання матеріалів, також відоме як коефіцієнт циркулярності, визначається як відношення циклічного використання матеріалів до загального використання матеріалів. Загальне використання матеріалів вимірюється шляхом підсумовування сукупного внутрішнього споживання матеріалів (ВМС) та циклічного використання матеріалів. ВМС визначається в рахунках потоків матеріалів в масштабах всієї економіки.	
	Внесок перероблених матеріалів у попит на сировину – коефіцієнти переробки наприкінці терміну служби	ПЗ.2	Цей показник вимірює, для певної сировини, яка частка її вхідних даних у виробничу систему надходить в результаті переробки «старого брухту», тобто брухту від продуктів, що вийшли з експлуатації. «Коефіцієнт переробки вхідних даних відходів, що вийшли з експлуатації» (EOL-RIR) не враховує брухт, що утворюється в результаті виробничих процесів («новий брухт»).	Відсоток
	Торгівля сировиною, що підлягає вторинній переробці	ПЗ.3	Цей показник вимірює кількість відходів та брухту, що підлягають переробці, а також іншої вторинної сировини (побічних продуктів), що перевозяться між державами-членами ЄС (всередині ЄС) та через кордони ЄС (за межами ЄС). Індикатор включає такі змінні: • Торгівля окремими сировинними матеріалами, що підлягають переробці, всередині ЄС (вимірюється як імпорт з країн ЄС). • Імпорт з країн, що не входять до ЄС, та експорт до країн, що не входять до ЄС, вибраних	Вартість торгівлі в тисячах євро. Обсяг торгівлі в тоннах (маса нетто).

Категорія	Підкатегорія	Позначення	Статистична характеристика	Одиниці вимірювання
			видів сировини, що підлягає переробці (щодо торгівлі з країнами поза ЄС). Цей показник включає такі вибрані типи матеріалів: • Пластмаси, включаючи гуму • Папір та картон • Метал - чорний • Дорогоцінний метал • Мідь, алюміній та нікель Загальна сума включає повний перелік продуктів, а не лише вибрані матеріали, показані в таблиці.	
	Ціни на вторинну сировину, що підлягає переробці	ПЗ.4	Обсяг поняття «сировина, придатна для вторинної переробки» визначається та приблизно розраховується з точки зору відповідних кодів продукції, вибраних зі списку кодів Комбінованої номенклатури (CN-кодів), що використовуються в статистиці міжнародної торгівлі товарами (ITGS). Індикатор ціни на вторинну сировину – переробка включає такі вибрані види матеріалів: • Скло • Папір та картон • Пластмаси Ціновий показник підсумовує всі значення (у євро) та обсяги (у тоннах) усіх відповідних кодів міжнародної торгівлі товарами. Значення, поділене на обсяг, дає конкретний ціновий показник (у євро/тоннах).	Євро за тонну
Конкурентоспроможність та інновації	Приватні інвестиції та валова додана вартість, пов'язані з	П4.1	Індикатор включає «Приватні інвестиції», «Кількість зайнятих осіб» та «Валова додана вартість». Євростат ініціював проект з розробки методологічного підходу, який дозволяє виводити	Приватні інвестиції та валова додана вартість виражаються в мільйонах євро та у

Категорія	Підкатегорія	Позначення	Статистична характеристика	Одиниці вимірювання
	секторами циркулярної економіки		ключові економічні змінні щодо економічної діяльності, пов'язаної з циркулярною економікою. По суті, підхід можна підсумувати наступним чином: 1. Розробка концептуальної основи. Відправною точкою служить відповідне та широко визнане загальне визначення предмета екологічної політики, засноване на міжнародному органі; визначено межі сфери застосування; встановлено критерії для розмежування пов'язаної економічної діяльності за допомогою класифікації секторів за цілями (наприклад, рамка 10R для циркулярної економіки). 2. Зіставлення відповідних видів діяльності та зіставлення з інтегрованою системою економічної класифікації. Спираючись на існуючі переліки товарів та послуг. Цей перелік містить перелік визначених видів економічної діяльності, включаючи відповідні коди NACE, CPA та PRODCOM, а також відповідну процедуру оцінки для кожного коду. 3. Визначення меж та компіляція даних. На основі наведеної процедури складання даних було розраховано такі змінні: • Кількість осіб, зайнятих в еквіваленті повної зайнятості (FTE) • Валова додана вартість у мільйонах євро (за факторною вартістю) • Валові інвестиції в матеріальні блага, млн євро	відсотках від валового внутрішнього продукту (ВВП).

Категорія	Підкатегорія	Позначення	Статистична характеристика	Одиниці вимірювання
	Особи, зайняті в секторах циркулярної економіки	П4.2	Цей показник вимірює «Кількість зайнятих осіб» у таких трьох секторах: сектор переробки, сектор ремонту та повторного використання, а також сектор оренди та лізингу. Робочі місця виражаються в кількості зайнятих осіб та у відсотках від загальної зайнятості. Кількість зайнятих осіб визначається як загальна кількість осіб, які працюють в одиниці спостереження, тобто на фірмі (включаючи працюючих власників, партнерів, які регулярно працюють в одиниці, та неоплачуваних членів сім'ї, що працюють), а також осіб, які працюють поза одиницею, належать до неї та отримують від неї оплату, наприклад, торгових представників, персонал доставки, бригади з ремонту та технічного обслуговування. Вона не включає робочу силу, надану одиниці іншими підприємствами, осіб, які виконують ремонтні та технічні роботи в одиниці спостереження від імені інших підприємств, а також осіб, які проходять обов'язкову військову службу.	Робочі місця виражаються в кількості осіб, зайнятих в еквіваленті повної зайнятості (FTE), та у відсотках від загальної зайнятості.
	Патенти, пов'язані з переробкою та вторинною сировиною	П4.3	Цей показник вимірює кількість патентів, пов'язаних з переробкою та вторинною сировиною. Віднесення до переробки та вторинної сировини здійснювалося з використанням відповідних кодів у Кооперативній класифікації патентів (CPC). Термін «патенти» стосується патентних сімейств, які включають усі документи, що стосуються окремого винаходу (наприклад, заявки до кількох органів влади), що запобігає багаторазовому підрахунку. Частина сімейства	Кількість патентів. Кількість патентів на мільйон жителів.

Категорія	Підкатегорія	Позначення	Статистична характеристика	Одиниці вимірювання
			призначається кожному заявнику та відповідній технології.	
Глобальна стійкість та стабільність	Споживчий слід	П5.1	Індикатор сліду споживання оцінює вплив споживання ЄС та держав-членів на навколишнє середовище шляхом поєднання даних про інтенсивність споживання та вплив репрезентативних продуктів на навколишнє середовище. Споживчий слід – це набір із 16 показників на основі LCA (також доступних у вигляді єдиної оцінки), метою яких є кількісна оцінка впливу споживання на навколишнє середовище на рівні ЄС та держав-членів. Він базується на поєднанні: i) викидів у повітря, ґрунт та воду, а також ресурсів, що використовуються протягом життєвого циклу приблизно 160 репрезентативних продуктів, що належать до 5 сфер споживання (харчування, мобільність, житло, побутові товари та побутова техніка); ii) інтенсивності споживання цих продуктів; iii) методу оцінки впливу екологічного сліду (ЕС), який перетворює викиди та споживання ресурсів на потенційний вплив на навколишнє середовище. На особу: повідомляє загальне значення на душу населення в метриках категорій впливу методу екологічного сліду. Єдиний зважений бал розраховується як сума охарактеризованого значення (абсолютного) кожної категорії впливу (i), поділена на коефіцієнт нормалізації, що кількісно визначає глобальний вплив, та помножена на набір вагових коефіцієнтів EF.	• Помножене на планетарний кордон • Індекс (2010=100%) • На особу. Одиниця виміру залежить від категорії впливу.

Категорія	Підкатегорія	Позначення	Статистична характеристика	Одиниці вимірювання
			Індекс (база = 2010): повідомляє про споживчий слід порівняно з 2010 роком як базовим роком. Індекс заданої категорії впливу (i) для відповідного року (j) розраховується як відношення між абсолютним значенням для цього року, поділеним на еталонне значення у 2010 році. Планетарні кордони: повідомляє про кількість разів порушення планетарного кордону для цієї категорії впливу, країни та року. Планетарні межі для заданої категорії впливу (i) для відповідного року (j) розраховуються як відношення між абсолютним значенням для цього року, поділеним на Планетарний кордон на душу населення (як у 2010 році) Щодо однوزваженої оцінки, для вираження загального порушення планетарних меж з використанням набору вагових коефіцієнтів EF виконується середньозважене значення.	
	Викиди парникових газів від виробничої діяльності	П5.2	Цей показник включає викиди парникових газів від усіх видів виробничої діяльності, включаючи виробництво як товарів, так і послуг. Він не включає викиди домогосподарств для опалення, транспорту та інших цілей. Парниковими газами є: вуглекислий газ (CO₂), оксид азоту (N₂O), метан (CH₄) та фторовані гази (гідрофторвуглеці (HFC), перфторвуглеці (PFC), гексафторид сірки (SF₆) та трифторид натрію (NF₃)). Зменшення викидів парникових газів означає більший внесок у пом'якшення наслідків зміни клімату.	Кг еквіваленту CO ₂ на особу
	Залежність від імпорту матеріалів	П5.3	Цей показник показує співвідношення імпорту (IMP) до прямих матеріальних витрат (DMI) у	Відсоток

Категорія	Підкатегорія	Позначення	Статистична характеристика	Одиниці вимірювання
			відсотках. Термін «залежність від імпорту матеріалів» показує ступінь, до якої економіка залежить від імпорту для задоволення своїх матеріальних потреб. Залежність від імпорту матеріалів не може бути від'ємною або вищою за 100%. Значення, що дорівнюють 100%, вказують на відсутність внутрішнього видобутку протягом звітного року.	
	Самозабезпечення ЄС сировиною	П5.4	Показник самозабезпечення (СС) вимірює, наскільки ЄС незалежний від решти світу щодо кількох видів сировини. Показник було розраховано на основі фактичних річних кількісних даних про внутрішнє виробництво, експорт та імпорт за формулою: Самозабезпечення = 1 - (чиста) Залежність від імпорту, де Залежність від імпорту (ЗІ) визначається в методології ЄС щодо критично важливих сировинних матеріалів як Чистий імпорт / (Чистий імпорт + Внутрішнє виробництво). Розрахунки показника самозабезпеченості були проведені на перших двох етапах ланцюжка створення вартості: видобуток (Е) та переробка (Р) для більшості матеріалів. Значення показника самозабезпечення можуть коливатися від 0 до 100%, у тому ж інтервалі, що й імпортна залежність, оскільки будь-яке значення поза цим діапазоном не може бути інтерпретовано (немає значення негативної самозабезпеченості, а також не має значення самозабезпечення понад 100% у конкретному матеріалі).	Відсоток

Розраховані значення коефіцієнта відношення Грея (GRC) для $y^*(k) = \overline{y_m(k)}_{\text{ЕС}}$ (власна розробка)

Позначення	Показник	Територіальна одиниця	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Середнє значення
П1.1	Попит на видобуток матеріалів	Україна	0,48	0,46	0,51	0,52	0,82	0,72	0,52	0,59	0,49	0,56	0,58	0,52	1,00	0,57	0,49	0,59
		ЄС	1,00	0,38	0,84	0,68	0,55	0,72	0,55	0,52	0,53	0,52	0,83	0,46	0,60	0,86		0,65
П1.2	Продуктивність ресурсів	Україна	0,60	0,53	0,49	0,56	0,44	0,70	0,84	0,59	0,65	0,74	0,56	1,00	0,93	0,46		0,65
		ЄС	0,54	0,38	0,34	0,84	0,71	0,98	0,89	0,66	0,63	0,89	0,48	1,00	0,53	0,76		0,69
П1.3	Утворення відходів	Україна	0,82	0,68	0,66	0,66	0,72	0,60	0,54	1,00	0,87	0,54	0,46	0,39	0,35	0,36		0,62
		ЄС	0,87	1,00	0,78	0,84	0,92	0,88	0,84	0,54	0,40	0,93	0,36	0,48	0,74			0,74
П1.4	Утворення відходів, за винятком основних мінеральних відходів	Україна		0,65	0,94	1,00	0,70	0,78	0,87	0,70	0,63	0,57	0,53	0,50	0,44	0,43		0,67
		ЄС	0,50	0,55	0,60	0,60	0,60	0,75	1,00	0,88	0,77	0,77	0,77	0,47	0,34			0,66
П1.5	Утворення побутових відходів	Україна		0,48	0,44	0,36	0,75	0,91	0,84	1,00	0,67	0,67	0,45					0,66
		ЄС	0,90	0,95	0,57	0,45	0,45	0,48	0,74	1,00	1,00	0,82	0,47	0,34	0,56	0,64		0,67
П1.6	Харчові відходи	Україна		0,50	0,51	0,96	0,99	0,80	0,94	1,00	0,78	0,80	0,52	0,40	0,34	0,46		0,69
		ЄС											0,67	1,00	1,00			0,89
П1.7	Утворення відходів пакування	Україна		0,47	0,89	0,55	0,99	0,44	0,54	1,00	0,97	0,95	0,66	0,72	0,36	0,48		0,69
		ЄС	0,41	0,47	0,43	0,46	0,59	0,75	1,00	0,69	0,72	0,56	0,55	0,34	0,38			0,57
П1.8	Утворення відходів пластикового пакування	Україна		0,66	0,58	0,68	0,71	0,73	0,82	0,78	0,77	0,81	0,72	0,89	1,00	0,75		0,76
		ЄС	0,41	0,43	0,44	0,47	0,58	0,76	1,00	0,76	0,66	0,52	0,48	0,36	0,37			0,56
П2.1	Коефіцієнт переробки побутових відходів	Україна		0,41	0,71	0,33	0,41	0,96	1,00	0,86	0,63	0,49	0,38					0,62
		ЄС				0,34	0,46	0,64	0,86	1,00	0,99	0,75	0,50	0,41	0,47			0,64
П2.2	Коефіцієнт переробки відходів, за винятком мінеральних відходів	Україна		0,46	0,38	0,35	0,68	0,84	1,00	0,61	0,56	0,51	0,47	0,44	0,44	0,60		0,56
		ЄС	0,43	0,43	0,43	0,50	0,60	0,75	1,00	0,78	0,62	0,44	0,34	0,44	0,62			0,57

Позначення	Показник	Територіальна одиниця	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Середнє значення
П2.3	Рівень переробки пакувальних відходів за типом упаковки	Україна		0,39	0,70	0,55	0,60	0,62	1,00	0,60	0,51	0,51	0,57	0,57	0,72	0,70		0,62
		ЄС	0,44	0,48	0,85	1,00	0,52	0,50	0,35	0,36	0,90	0,65	0,44	0,44	0,92			0,60
П2.4	Рівень переробки відходів електричного та електронного обладнання	Україна		0,82	0,70	0,59	1,00	0,89	0,57	0,96	0,66	0,50	0,34	0,47	0,72	0,41		0,66
		ЄС				0,88	1,00	0,54	0,44	0,47	0,87	0,69	0,66	0,81	0,52			0,69
П3.1	Коефіцієнт використання циркулярних матеріалів	Україна					0,91	0,99	1,00	0,63	0,57	0,58	0,47					0,74
		ЄС	0,51	0,34	0,73	1,00	0,85	1,00	0,72	0,63	0,56	1,00	1,00	0,85	0,63	0,46		0,73
П4.1	Приватні інвестиції, пов'язані з секторами циркулярної економіки	Україна										0,58	1,22	1,00	0,41	0,48		0,74
		ЄС					0,45	0,74	0,74	1,00	1,00	0,53	1,00	1,00	1,00	1,00		0,85
П4.2	Особи, зайняті в секторах циркулярної економіки	Україна			0,53	0,57	1,00	0,89	0,77	0,71	0,72	0,80	0,65	0,63				0,73
		ЄС					0,47	0,50	0,64	0,94	1,00	0,64	0,69	0,39	1,00	0,83		0,71
П5.2	Викиди парникових газів від виробничої діяльності	Україна	0,47	0,42	0,43	0,45	1,00	0,54	0,62	0,46	0,44	0,44	0,36	0,38	1,08	1,08		0,58
		ЄС	0,46	0,51	0,58	0,72	0,98	0,89	0,93	0,82	1,00	0,84	0,45	0,60	0,56	0,40		0,70

Таблиця В2

Розраховані значення коефіцієнта відношення Грея (GRC) для $y^*(k) = 1$ (власна розробка)

Позначення	Показник	Територіальна одиниця	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Середнє значення
П1.1	Попит на видобуток матеріалів	Україна	0,35	0,33	0,37	0,37	0,53	0,48	0,37	0,41	0,36	0,39	0,41	0,37	1,00	0,40	0,35	0,43
		ЄС	0,84	0,33	1,00	0,53	0,45	0,55	0,45	0,43	0,44	0,43	0,61	0,39	0,48	0,63		0,54
П1.2	Продуктивність ресурсів	Україна	0,36	0,34	0,33	0,35	1,00	0,39	0,42	0,70	0,38	0,60	0,35	0,44	0,43	0,91		0,50
		ЄС	0,62	0,33	1,00	0,51	0,43	0,48	0,50	0,42	0,41	0,46	0,37	0,47	0,63	0,52		0,51
П1.3	Утворення відходів	Україна	0,45	0,42	0,42	0,42	0,55	0,60	0,64	0,49	0,51	0,38	0,36	0,33	1,00	0,97		0,54
		ЄС	0,51	0,47	0,44	0,45	0,46	0,45	0,45	0,38	0,33	0,50	1,00	0,71	0,55			0,52
П1.4	Утворення відходів, за винятком основних мінеральних відходів	Україна		0,33	0,39	0,40	0,57	0,53	0,50	0,57	0,62	0,68	0,73	0,79	0,96	1,00		0,62
		ЄС	0,33	0,35	0,36	0,36	0,36	0,39	0,43	0,45	0,47	0,47	0,47	0,64	1,00			0,47
П1.5	Утворення побутових відходів	Україна		1,00	0,37	0,33	0,66	0,52	0,51	0,54	0,46	0,46	0,38					0,52
		ЄС	0,53	0,58	0,77	1,00	1,00	0,93	0,65	0,57	0,57	0,51	0,40	0,33	0,43	0,46		0,62
П1.6	Харчові відходи	Україна		0,33	0,33	0,42	0,43	0,46	0,42	0,43	0,47	0,46	0,59	0,76	1,00	0,66		0,52
		ЄС											1,00	0,33	0,33			0,56
П1.7	Утворення відходів пакування	Україна		0,91	0,51	0,77	0,56	1,00	0,42	0,56	0,53	0,57	0,68	0,64	0,33	0,88		0,64
		ЄС	1,00	0,85	0,96	0,87	0,71	0,61	0,54	0,47	0,48	0,43	0,43	0,33	0,36			0,62
П1.8	Утворення відходів пластикового пакування	Україна		1,00	0,33	0,97	0,91	0,89	0,78	0,82	0,83	0,79	0,90	0,73	0,67	0,85		0,80
		ЄС	1,00	0,93	0,90	0,83	0,70	0,60	0,54	0,47	0,44	0,40	0,39	0,33	0,34			0,61
П2.1	Коефіцієнт переробки побутових відходів	Україна		1,00	0,48	0,33	0,37	0,53	0,54	0,57	0,46	0,41	0,36					0,51
		ЄС				0,33	0,39	0,46	0,51	0,54	0,55	0,61	0,79	1,00	0,84			0,60
П2.2	Коефіцієнт переробки відходів, за винятком мінеральних відходів	Україна		0,69	0,88	1,00	0,40	0,43	0,46	0,38	0,37	0,36	0,35	0,33	0,34	0,38		0,49
		ЄС	0,33	0,33	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,50	0,56	0,71	1,00	0,71	0,56			0,51
П2.3	Рівень переробки пакувальних відходів за	Україна		1,00	0,56	0,67	0,36	0,60	0,43	0,36	0,33	0,33	0,35	0,35	0,39	0,56		0,48
		ЄС	0,33	0,35	0,43	0,45	0,62	0,64	1,00	0,95	0,47	0,39	0,33	0,33	0,44			0,52

Позначення	Показник	Територіальна одиниця	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Середнє значення
	типом упаковки																	
П2.4	Рівень переробки відходів електричного та електронного обладнання	Україна		0,44	0,42	0,39	0,46	0,45	0,59	0,48	0,41	0,65	1,00	0,69	0,53	0,33		0,53
		ЄС				0,54	0,43	0,34	1,00	0,90	0,41	0,38	0,64	0,40	0,33			0,54
П3.1	Коефіцієнт використання циркулярних матеріалів	Україна					0,48	0,50	0,50	1,00	0,38	0,38	0,33					0,51
		ЄС	0,42	0,33	0,50	0,57	0,53	0,57	0,67	0,73	0,80	0,57	0,57	0,53	0,73	1,00		0,61
П4.1	Приватні інвестиції, пов'язані з секторами циркулярної економіки	Україна										0,80	0,33	0,57	0,33	1,00		0,61
		ЄС					0,33	0,43	0,43	0,60	0,60	1,00	0,60	0,60	0,60	0,60		0,58
П4.2	Особи, зайняті в секторах циркулярної економіки	Україна			1,00	0,89	0,55	0,39	0,36	0,35	0,35	0,37	0,34	0,33				0,49
		ЄС					0,33	0,34	0,38	0,44	0,49	0,60	0,57	1,00	0,45	0,52		0,51
П5.2	Викиди парникових газів від виробничої діяльності	Україна	0,35	0,33	0,34	0,34	0,46	0,64	0,59	0,73	0,77	0,76	1,00	0,90	0,33	0,33		0,56
		ЄС	0,33	0,35	0,37	0,40	0,45	0,43	0,44	0,42	0,45	0,53	0,83	0,64	0,67	1,00		0,52

Значення описової статистики (власна розробка)

	Mean	Standard	Median	Mode	Standard	Sample Va	Kurtosis	Skewness	Range	Minimum	Maximum	Sum	Count
Фіксований доступ	87,30	0,72	86,90	85,50	4,72	22,27	2,15	0,54	25,70	74,30	100,00	3754,10	43
Мобільний додаток	4,51	0,70	2,90	0,00	4,61	21,21	1,33	1,44	17,10	0,00	17,10	193,80	43
Мають вебсайт	48,22	2,33	48,10	41,90	15,31	234,40	0,08	0,00	68,10	18,70	86,80	2073,30	43
Використовують с	35,92	2,07	32,40	#Н/Д	13,60	185,07	0,97	1,15	59,40	15,60	75,00	1544,70	43
Програмне забезпе	19,63	1,21	17,90	17,10	7,91	62,62	5,70	2,27	38,50	11,50	50,00	844,00	43
Програмне забезпе	11,47	1,44	8,60	7,30	9,46	89,53	10,85	2,77	55,90	0,00	55,90	493,20	43
Програмне забезпе	5,72	0,60	4,70	1,70	3,96	15,67	0,94	1,13	17,30	0,00	17,30	245,80	43
Обмін даними в еле	21,78	1,44	20,70	27,80	9,44	89,13	4,69	1,47	55,10	3,20	58,30	936,70	43
Аналіз "великих дан	19,30	1,21	17,60	22,70	7,95	63,28	1,66	1,13	37,60	6,50	44,10	829,70	43
Купують послуги х	18,39	1,40	16,30	12,60	9,18	84,23	13,00	2,97	56,70	6,50	63,20	790,60	43
Використовують м	4,73	0,30	4,40	4,60	1,94	3,77	3,16	0,81	11,60	0,00	11,60	203,30	43
Частка підприємств	15,26	0,80	14,20	15,00	5,25	27,58	0,51	1,02	21,40	8,80	30,20	656,30	43
Частка підприємств	10,03	0,83	8,60	12,90	5,42	29,35	2,95	1,74	23,50	4,30	27,80	431,20	43

Таблиця В2

Результати побудови Моделі 1: залежна змінна - цифрові технології для зменшення споживання енергії (власна розробка)

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,64							
R Square	0,40							
Adjusted R	0,19							
Standard Error	4,72							
Observations	43,00							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	11,00	469,15	42,65	1,92	0,08			
Residual	31,00	689,41	22,24					
Total	42,00	1158,56						
<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	-7,76	19,11	-0,41	0,69	-46,73	31,22	-46,73	31,22
Фіксовані	0,17	0,22	0,76	0,45	-0,28	0,62	-0,28	0,62
Мобільні	0,47	0,31	1,53	0,14	-0,16	1,10	-0,16	1,10
Мають ве	0,08	0,10	0,80	0,43	-0,12	0,28	-0,12	0,28
Використ	0,06	0,14	0,39	0,70	-0,24	0,35	-0,24	0,35
Програмн	0,41	0,17	2,36	0,02	0,06	0,77	0,06	0,77
Програмн	-0,20	0,35	-0,59	0,56	-0,91	0,50	-0,91	0,50
Програмн	0,10	0,39	0,25	0,81	-0,71	0,90	-0,71	0,90
Обмін да	-0,18	0,14	-1,27	0,21	-0,46	0,11	-0,46	0,11
Аналіз "в	-0,10	0,25	-0,42	0,68	-0,60	0,40	-0,60	0,40
Купують п	0,08	0,39	0,21	0,84	-0,71	0,88	-0,71	0,88
Використ	-0,32	0,84	-0,38	0,70	-2,03	1,39	-2,03	1,39

Таблиця В3

Результати побудови Моделі 2: залежна змінна - цифрові технології для зменшення кількості матеріалів, що використовуються, або збільшення використання вторинної сировини (власна розробка)

SUMMARY OUTPUT							
Regression Statistics							
Multiple R	0,83						
R Square	0,69						
Adjusted R Square	0,58						
Standard Error	3,53						
Observations	43,00						
ANOVA							
	df	SS	MS	F	Significance F		
Regression	11,00	846,98	77,00	6,19	0,00		
Residual	31,00	385,74	12,44				
Total	42,00	1232,73					
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Upper 95,0%
Intercept	-40,32	14,29	-2,82	0,01	-69,47	-11,17	-11,17
Фіксовані	0,47	0,17	2,82	0,01	0,13	0,81	0,81
Мобільні	0,24	0,23	1,06	0,30	-0,23	0,71	0,71
Мають ве	0,01	0,07	0,09	0,93	-0,14	0,16	0,16
Використ	0,07	0,11	0,63	0,53	-0,15	0,28	0,28
Програмн	0,60	0,13	4,58	0,00	0,33	0,86	0,86
Програмн	-0,39	0,26	-1,49	0,15	-0,91	0,14	0,14
Програмн	-0,45	0,29	-1,52	0,14	-1,05	0,15	0,15
Обмін да	-0,07	0,10	-0,66	0,52	-0,28	0,14	0,14
Аналіз "в	-0,27	0,18	-1,45	0,16	-0,64	0,11	0,11
Купують п	0,43	0,29	1,47	0,15	-0,17	1,02	1,02
Використ	-0,07	0,63	-0,11	0,92	-1,34	1,21	1,21