

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МАРІУПОЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕКОНОМІКО-ПРАВОВИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА
ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

До захисту допустити:
Завідувач кафедри
Мітюшкіна Х.С.
«__» _____ 2026р.

**«ЦИРКУЛЯРНА ЕКОНОМІКА ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ
ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ»**

Кваліфікаційна робота
здобувача вищої освіти першого
(бакалаврського) рівня
освітньо-професійної програми
«Екологія та охорона навколишнього
середовища»
Іващенко Вікторії Андріївни
Науковий керівник:
Іванова В. В., к.е.н., доцент,
доцент кафедри РПОНС
Рецензент:
Кундельська Т. В. старший науковий
співробітник природного
заповідника «Горгани», к.т.н. зі
спеціальності «Екологічна безпека»

Кваліфікаційна робота захищена
з оцінкою _____
Секретар ЕК _____
«__» _____ 20__ р.

Київ – 2026

Анотація

Іващенко В. А. Циркулярна економіка як інструмент підвищення ефективності використання ресурсів

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за ОПП «Екологія та охорона навколишнього середовища». – Маріупольський державний університет, 2026.

Актуальність теми дослідження зумовлена вичерпанням потенціалу традиційної лінійної моделі господарювання «видобуток – виробництво – споживання – переробка», яка супроводжується надмірним споживанням первинної сировини, низьким рівнем повторного використання матеріалів та зростанням екологічного навантаження. Для України проблема набуває особливої гостроти через високу ресурсоемність виробництва, значні обсяги утворення відходів і недостатній рівень їх переробки, а також через необхідність гармонізації національного законодавства з екологічними стандартами Європейського Союзу та формування ефективної моделі ресурсокористування.

Мета роботи полягає у дослідженні концепції циркулярної економіки як інструменту підвищення ефективності використання ресурсів, проведенні практичного аналізу ресурсних потоків та обґрунтуванні напрямів трансформації водного сектора міста Києва до циркулярної моделі розвитку.

Об'єктом дослідження є процеси використання ресурсів у системі національної економіки в умовах переходу до циркулярної моделі розвитку. Предметом дослідження є ефективність використання водних ресурсів у міській водогосподарській системі Києва та можливості її підвищення на основі принципів циркулярної економіки.

У першому розділі розкрито сутність, принципи та еволюцію концепції циркулярної економіки, схарактеризовано основні моделі замкненого ресурсокористування (3R, 5R, 9R, сервісна економіка, зворотна логістика, промисловий симбіоз), а також проаналізовано нормативно-

правове забезпечення та міжнародний досвід країн ЄС, насамперед Нідерландів, Німеччини та Фінляндії.

У другому розділі оцінено сучасний стан використання ресурсів у національній економіці України, визначено рівень її ресурсоемності та стан нормативного регулювання у сфері управління відходами, а також систематизовано методи оцінювання ефективності ресурсокористування на засадах циркулярності — аналіз матеріальних потоків (MFA), оцінку життєвого циклу продукції (LCA) та індекс циркулярності (CI).

У третьому розділі за методологією MFA проаналізовано водні потоки міста Києва за 2024 рік, розраховано індекс циркулярності водної системи, здійснено сценарне моделювання та аналіз чутливості, за результатами яких обґрунтовано механізм та інструменти впровадження принципів циркулярної економіки у водогосподарську систему міста.

Наукова новизна результатів полягає в адаптації методології аналізу матеріальних потоків до оцінювання водогосподарської системи великого міста України та в обґрунтуванні кількісних параметрів її циркулярної трансформації: встановлено, що за загального забору води 591,876 млн м³, використання свіжої води 534,987 млн м³ та втрат у мережах 49,917 млн м³ потенціал повторного використання очищених стічних вод становить 126,5 млн м³ на рік, а індекс циркулярності може зрости з поточного значення 0,24 до 0,45 за умов реалізації комплексу циркулярних заходів. Аналіз чутливості довів, що визначальний вплив на рівень циркулярності справляє розвиток систем повторного використання очищених стічних вод, а також скорочення втрат у мережах водопостачання та модернізація очисних споруд. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання під час формування міських програм водокористування, удосконалення державного регулювання у сфері ресурсозбереження, а також у навчальному процесі та подальших наукових дослідженнях.

Ключові слова: циркулярна економіка, ресурсоефективність, аналіз матеріальних потоків (MFA), індекс циркулярності, водні ресурси, управління відходами, сталий розвиток.

Abstract

Ivashchenko V. A. *Circular economy as a tool for improving resource use efficiency.*

Qualification paper for obtaining the Bachelor's degree in the educational programme "Ecology, Environmental Protection and Balanced Nature Management". – Mariupol State University, 2026.

The relevance of the research topic stems from the exhausted potential of the traditional linear economic model "extraction – production – consumption – disposal", which is accompanied by excessive consumption of primary raw materials, a low level of material reuse and growing environmental pressure. For Ukraine, the problem is particularly acute due to the high resource intensity of production, substantial volumes of waste generation and insufficient levels of its processing, as well as the need to harmonise national legislation with the environmental standards of the European Union and to establish an effective model of resource management.

The aim of the paper is to examine the concept of the circular economy as a tool for improving resource use efficiency, to carry out a practical analysis of resource flows and to substantiate the directions for transforming the water sector of the city of Kyiv towards a circular development model.

The object of the research is the processes of resource use within the system of the national economy under the conditions of transition to a circular development model.

The subject of the research is the efficiency of water resource use in the urban water management system of Kyiv and the opportunities for its improvement based on the principles of the circular economy.

The first chapter reveals the essence, principles and evolution of the circular economy concept, characterises the main models of closed-loop resource use (3R, 5R, 9R, the service economy, reverse logistics, industrial symbiosis), and analyses

the regulatory framework and the international experience of EU countries, primarily the Netherlands, Germany and Finland.

The second chapter assesses the current state of resource use in the national economy of Ukraine, determines its level of resource intensity and the state of regulation in the field of waste management, and systematises the methods of evaluating resource use efficiency on circular principles — Material Flow Analysis (MFA), Life Cycle Assessment (LCA) and the Circularity Index (CI).

The third chapter applies the MFA methodology to analyse the water flows of the city of Kyiv for 2024, calculates the circularity index of the urban water system, performs scenario modelling and sensitivity analysis, and on this basis substantiates the mechanism and instruments for implementing circular economy principles in the city's water management system.

The scientific novelty of the results lies in adapting the material flow analysis methodology to the assessment of the water management system of a large Ukrainian city and in substantiating the quantitative parameters of its circular transformation: it has been established that, with a total water withdrawal of 591.876 million m³, freshwater use of 534.987 million m³ and network losses of 49.917 million m³, the potential for reusing treated wastewater amounts to 126.5 million m³ per year, while the circularity index may rise from its current value of 0.24 to 0.45 provided that a set of circular measures is implemented. The sensitivity analysis has proved that the decisive influence on the level of circularity is exerted by the development of treated wastewater reuse systems, as well as by the reduction of losses in water supply networks and the modernisation of treatment facilities. The practical significance of the obtained results lies in the possibility of their use in the design of municipal water use programmes, in improving state regulation in the field of resource conservation, and in the educational process and further scientific research.

Key words: circular economy, resource efficiency, material flow analysis (MFA), circularity index, water resources, waste management, sustainable development.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ.....	8
1.1. Сутність, принципи та еволюція концепції циркулярної економіки.....	8
1.2. Моделі та підходи до формування циркулярної економіки.....	15
1.3. Нормативно-правове забезпечення та міжнародний досвід розвитку циркулярної економіки.....	21
Висновки до розділу 1.....	32
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ У КОНТЕКСТІ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ.....	34
2.1. Оцінка сучасного стану використання ресурсів у національній економіці.....	34
2.2. Методи оцінювання ефективності ресурсокористування на засадах циркулярності.....	41
2.3. Міжнародні показники та досвід оцінювання ефективності ресурсокористування.....	50
Висновки до розділу 2.....	53
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ ТА НАПРЯМИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ.....	55
3.1. Аналіз ресурсних потоків об'єкта дослідження на основі моделі матеріального балансу (MFA).....	55
3.2. Розрахунок індексу циркулярності та оцінка ефективності використання ресурсів.....	65

3.3. Напрями впровадження циркулярної економіки у водному секторі міста Києва.....	72
Висновки до розділу 3.....	79
ВИСНОВКИ.....	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	86

ВСТУП

У сучасних умовах глобалізації та загострення екологічних проблем питання ефективного використання природних ресурсів набуває особливої актуальності. Стрімке зростання обсягів виробництва і споживання, виснаження природних ресурсів, накопичення відходів та погіршення стану навколишнього середовища свідчать про обмеженість традиційної лінійної моделі економіки, яка базується на принципі «видобуток–виробництво–споживання–переробка». Така модель господарювання супроводжується надмірним споживанням сировини, низьким рівнем повторного використання матеріалів та значним екологічним навантаженням.

У зв'язку з цим у світовій економічній практиці все більшого поширення набуває концепція циркулярної економіки, яка орієнтована на формування замкнених циклів використання ресурсів, мінімізацію відходів та підвищення рівня ресурсоефективності. Циркулярна економіка розглядається як одна з ключових моделей забезпечення сталого розвитку, оскільки передбачає раціональне використання природних ресурсів, розвиток систем переробки та повторного використання продукції, впровадження екодизайну та інноваційних бізнес-моделей.

Особливого значення розвиток циркулярної економіки набуває для України, економіка якої характеризується високою ресурсоемністю виробництва, значними обсягами відходів та недостатнім рівнем їх переробки. У сучасних умовах інтеграції України до європейського економічного простору питання впровадження принципів циркулярної економіки стає важливим напрямом державної політики у сфері ресурсозбереження, екологічної безпеки та сталого розвитку. Актуальність теми дослідження також зумовлена необхідністю гармонізації національного законодавства з екологічними стандартами Європейського

Союзу, розвитку системи управління відходами та формування ефективної моделі ресурсокористування.

Проблематика розвитку циркулярної економіки та ефективності використання ресурсів знайшла відображення у працях багатьох вітчизняних і зарубіжних науковців. Теоретичні та практичні аспекти циркулярної економіки досліджували Ellen MacArthur Foundation, Г. Черевко, Є.В. Мішенин, І.І. Коблянська, Т.А. Ковтун, І. Зварич, Н. Трушкіна, І.М. Миценко, І.В. Хаджинов та інші. У наукових працях розглядаються питання сутності циркулярної економіки, моделей замкненого ресурсокористування, розвитку циркулярних бізнес-моделей, систем управління відходами та міжнародного досвіду впровадження принципів ресурсоефективності. Водночас недостатньо дослідженими залишаються питання оцінювання ефективності використання ресурсів у контексті циркулярної економіки в Україні, а також адаптації міжнародного досвіду до сучасних умов функціонування національної економіки.

Об'єктом дослідження є процеси використання ресурсів у системі національної економіки в умовах переходу до циркулярної моделі розвитку.

Предметом дослідження є ефективність використання водних ресурсів у міській водогосподарській системі Києва та можливості її підвищення на основі принципів циркулярної економіки

Мета кваліфікаційної роботи полягає у дослідженні концепції циркулярної економіки як інструменту підвищення ефективності використання ресурсів, проведенні практичного аналізу ресурсних потоків та обґрунтуванні напрямів трансформації водного сектора міста Києва до циркулярної моделі розвитку

Для досягнення поставленої мети у роботі визначено такі завдання:

1. дослідити сутність, принципи та еволюцію концепції циркулярної економіки;
2. охарактеризувати основні моделі та підходи до формування циркулярної економіки;

3. проаналізувати нормативно-правове забезпечення та міжнародний досвід розвитку циркулярної економіки;
4. оцінити сучасний стан використання ресурсів у національній економіці;
5. дослідити методи оцінювання ефективності ресурсокористування на засадах циркулярності;
6. проаналізувати ресурсні потоки об'єкта дослідження на основі моделі матеріального балансу (MFA);
7. здійснити аналіз ресурсних потоків об'єкта дослідження на основі моделі матеріального балансу (MFA) та оцінити ефективність використання ресурсів;
8. визначити механізм та інструменти впровадження принципів циркулярної економіки в економіку України.

Інформаційною та джерельною базою дослідження є наукові праці вітчизняних і зарубіжних учених, нормативно-правові акти України та Європейського Союзу, матеріали міжнародних організацій, статистичні дані Державної служби статистики України, аналітичні звіти Європейської Комісії, Ellen MacArthur Foundation, OECD, Eurostat, а також інші наукові та інформаційні джерела з питань циркулярної економіки та ресурсоефективності.

Методологічною основою дослідження є загальнонаукові та спеціальні методи наукового пізнання. У роботі використано методи аналізу та синтезу - для дослідження теоретичних основ циркулярної економіки; порівняльний метод - для аналізу міжнародного досвіду розвитку циркулярної економіки; статистичний та графічний методи - для оцінювання сучасного стану використання ресурсів; метод узагальнення - для формування висновків і практичних рекомендацій; системний підхід - для комплексного дослідження процесів ресурсокористування в умовах циркулярної трансформації економіки.

Практичне значення роботи полягає в узагальненні теоретичних підходів до циркулярної економіки та дослідженні особливостей ефективного використання ресурсів. Матеріали та результати дослідження можуть бути використані в навчальному процесі, при подальших наукових дослідженнях, а також для формування уявлення про можливості впровадження принципів циркулярної економіки в Україні.

Структура роботи обумовлена метою, завданнями та логікою дослідження. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 89 сторінки, з яких 79 сторінок основного тексту. Робота містить 7 рисунків, 20 таблиць та список використаних джерел із 37 найменування.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ

1.1. Сутність, принципи та еволюція концепції циркулярної економіки

Питання раціонального використання природних ресурсів, зменшення негативного впливу господарської діяльності на навколишнє середовище та забезпечення сталого економічного розвитку набувають дедалі більшої актуальності. Стрімке зростання обсягів виробництва і споживання, виснаження природних ресурсів, збільшення кількості відходів та загострення екологічних проблем свідчать про кризу традиційної моделі господарювання. Саме тому в останні десятиліття у науковому середовищі та практиці державного управління все більшого поширення набуває концепція циркулярної економіки (Circular Economy), яка розглядається як одна з ключових моделей забезпечення довгострокового сталого розвитку [1,с.12-20].

Концепція циркулярної економіки сформувалася як альтернатива традиційній лінійній економічній моделі, яка функціонує за принципом «take – make – dispose» («видобуток–виробництво–споживання–переробка»). Така модель тривалий час забезпечувала економічне зростання, однак в умовах сучасних глобальних викликів стала економічно та екологічно неефективною. Лінійна модель ґрунтується на постійному споживанні первинних ресурсів і супроводжується значними обсягами відходів, що призводить до забруднення навколишнього середовища, зміни клімату та ресурсної кризи.

Як зазначають Є.В. Мішенин та І.І. Коблянська, сучасна економічна система потребує переходу до нової моделі розвитку, орієнтованої на

ресурсозбереження, екологізацію виробництва та створення замкнених циклів використання матеріалів [2, с.339-343]. У цьому контексті циркулярна економіка розглядається як система, у межах якої ресурси, матеріали та продукція максимально довго залишаються в економічному обороті, а утворення відходів мінімізується.

Одним із найбільш поширених є визначення Ellen MacArthur Foundation, відповідно до якого циркулярна економіка є відновлювальною та регенеративною економічною системою, яка спрямована на збереження цінності продукції, матеріалів і ресурсів протягом максимально тривалого часу та мінімізацію утворення відходів. Метою такої системи є відокремлення економічного розвитку від надмірного споживання природних ресурсів. Європейська Комісія (European Commission) у рамках оновленого моніторингового фреймворку циркулярної економіки (2023) трактує циркулярну економіку як модель виробництва та споживання, яка передбачає спільне використання, повторне застосування, ремонт, відновлення, модернізацію та переробку продукції й матеріалів з метою продовження їх життєвого циклу та скорочення кількості відходів. У межах такої системи відходи розглядаються не як кінцевий результат виробництва, а як вторинний ресурс для нового виробничого циклу (табл. 1.1).

Попри значну кількість наукових підходів, більшість визначень циркулярної економіки зосереджені переважно на екологічному аспекті та повторному використанні ресурсів. Однак такі трактування недостатньо враховують економічні стимули, поведінкові фактори споживачів та інституційні умови впровадження циркулярних моделей. Це створює розрив між теоретичними концепціями та реальними механізмами їх практичної реалізації.

Аналіз наведених підходів дає змогу зробити висновок, що більшість науковців розглядають циркулярну економіку як модель господарювання, спрямовану на забезпечення замкненого циклу використання ресурсів, зниження рівня відходів та підвищення ефективності виробничих процесів.

Таблиця 1.1

Наукові підходи до визначення сутності циркулярної економіки

Автор/джерело	Сутність визначення
Ellen MacArthur Foundation	Циркулярна економіка – це відновлювальна та регенеративна система, у якій ресурси та матеріали максимально довго залишаються в економічному обігу.
Європейська Комісія (ЄС)	Модель виробництва та споживання, яка базується на повторному використанні, ремонті, відновленні та переробці продукції й матеріалів.
Мішенин Є.В., Коблянська І.І.	Економічна система, що передбачає створення замкнених циклів ресурсокористування та мінімізацію негативного впливу на довкілля [2].
Трушкіна Н.	Концепція економічного розвитку, спрямована на підвищення ефективності використання ресурсів та формування безвідходного виробництва [1].
Черевко Г.	Сучасна модель господарювання, що забезпечує поєднання економічного розвитку та екологічної безпеки шляхом повторного використання ресурсів [3].
Татомир І.Л., Квасній Л.Г.	Інноваційна система господарювання, заснована на принципах ресурсозбереження, цифровізації та екологізації економіки [4].

Джерело: складено автором на основі [1-4]

Необхідність переходу до циркулярної економіки зумовлена низкою проблем, які виникли внаслідок функціонування лінійної моделі економіки. По-перше, відбувається стрімке виснаження природних ресурсів. За умов постійного економічного зростання потреба у сировині та енергії невідпинно збільшується, що створює загрозу дефіциту ресурсів у майбутньому. По-друге, значні обсяги відходів призводять до забруднення атмосфери, водних ресурсів та ґрунтів. По-третє, лінійна модель характеризується низьким рівнем ефективності використання ресурсів, оскільки значна частина матеріалів після одноразового використання втрачає свою економічну цінність.

Саме тому циркулярна економіка орієнтована на формування замкнених виробничих циклів, у межах яких продукція, матеріали та ресурси повторно використовуються, ремонтуються, модернізуються або переробляються. Важливим елементом цієї концепції є зменшення

залежності економіки від первинної сировини та формування системи вторинного ресурсокористування.

Основу циркулярної економіки становлять принципи 3R, 5R та 9R, які відображають рівень розвитку концепції та глибину трансформації економічної системи.

Найпростішою моделлю є концепція 3R, яка включає три ключові принципи:

- Reduce (скорочення) – мінімізація споживання ресурсів та утворення відходів;
- Reuse (повторне використання) – повторне використання продукції або її компонентів;
- Recycle (переробка) – перетворення відходів у вторинну сировину.

Концепція 3R стала основою формування сучасної політики управління відходами та ресурсозбереження. Водночас подальший розвиток циркулярної економіки зумовив розширення цієї моделі.

Модель 5R доповнює попередню систему такими елементами:

- Recover (відновлення) – вилучення енергії або ресурсів із відходів;
- Repair (ремонт) – відновлення продукції для продовження строку її експлуатації.

Подальший розвиток концепції циркулярної економіки зумовив появу моделі 6R, яка доповнює систему 5R принципом Rot (компостування). Цей принцип передбачає біологічне розкладання органічних відходів з метою їх повернення до природного циклу у вигляді поживних речовин для ґрунту. На відміну від моделі 5R, концепція 6R більшою мірою враховує особливості управління органічними відходами та роль біологічних ресурсів у забезпеченні циркулярності економіки. Включення компостування до системи принципів циркулярної економіки є важливим кроком до формування замкнених біологічних циклів, у межах яких органічні матеріали не втрачають свої цінності після використання, а повертаються до природного середовища.

Найбільш комплексною є модель 9R, яка охоплює повний цикл управління ресурсами:

1. Refuse – відмова від надмірного споживання;
2. Rethink – переосмислення моделей виробництва та споживання;
3. Reduce – скорочення використання ресурсів;
4. Reuse – повторне використання;
5. Repair – ремонт продукції;
6. Refurbish – оновлення та модернізація;
7. Remanufacture – повторне виробництво;
8. Repurpose – зміна функціонального призначення продукції;
9. Recycle – переробка матеріалів.

Принципи 9R демонструють, що сучасна циркулярна економіка виходить далеко за межі звичайної переробки відходів. Основна увага приділяється продовженню життєвого циклу продукції, оптимізації споживання ресурсів та мінімізації потреби у використанні первинної сировини.

З метою узагальнення основних підходів до реалізації принципів циркулярної економіки доцільно здійснити порівняння найбільш поширених моделей за рівнем охоплення життєвого циклу продукції, їх ключовими характеристиками, перевагами та обмеженнями (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Порівняльна характеристика моделей циркулярної економіки

Модель	Сутність	Переваги	Обмеження
3R	Reduce, Reuse, Recycle	Простота впровадження, базовий рівень циркулярності	Не охоплює ремонт, модернізацію, повторне виробництво
5R	+ Recover, Repair	Подовження життєвого циклу продукції	Не враховує цифровізацію та інноваційні бізнес-моделі
9R	Повний спектр дій від Refuse до Recycle	Найбільш комплексна модель, охоплює всі стадії циклу	Вимагає високого рівня технологій та інфраструктури

Джерело: сформовано автором

Порівняння моделей показує, що сучасні економіки рухаються від базових підходів (3R) до системних моделей (9R), які охоплюють не лише переробку, а й переосмислення виробництва, цифровізацію, та інноваційні бізнес-моделі.

Важливим інструментом реалізації принципів циркулярної економіки є формування замкнених ланцюгів поставок. За визначенням І.І. Галак, замкнений ланцюг поставок передбачає інтеграцію процесів виробництва, споживання, повернення продукції та повторної переробки ресурсів у єдину систему, що забезпечує підвищення ефективності використання матеріалів та мінімізацію екологічних втрат [5, с. 166-169].

Історія становлення концепції циркулярної економіки пов'язана з розвитком екологічних та ресурсозберігаючих теорій другої половини XX століття. Передумовами її формування стали концепції «zero waste» («нуль відходів»), промислової екології, біоекономіки, зеленої економіки та сталого розвитку. Концепція «zero waste» виникла як реакція на стрімке зростання кількості відходів та передбачала повну відмову від їх утворення шляхом оптимізації виробничих процесів і зміни моделей споживання. Згодом ці підходи трансформувалися у більш комплексну систему циркулярної економіки, яка охоплює всі етапи життєвого циклу продукції.

На думку Г. Черевка, еволюція концепції циркулярної економіки відбувалася поступово – від окремих екологічних ініціатив до формування глобальної моделі економічного розвитку, орієнтованої на забезпечення сталого використання ресурсів [3, с.51-58]. Особливого значення циркулярна економіка набула у країнах Європейського Союзу.

Важливим етапом розвитку концепції стало прийняття у 2015 році Європейською Комісією Плану дій щодо циркулярної економіки (Circular Economy Action Plan). Документ передбачав комплекс заходів щодо: підвищення рівня переробки відходів; розвитку екодизайну; підтримки вторинного використання ресурсів; стимулювання інноваційних бізнес-

моделей; скорочення використання одноразової продукції; формування ринку вторинної сировини.

У 2020 році Європейський Союз ухвалив новий План дій у межах Європейського зеленого курсу (European Green Deal), що підтвердило стратегічне значення циркулярної економіки для економічної політики ЄС.

Сьогодні принципи циркулярної економіки активно впроваджуються у діяльність провідних європейських компаній. Як зазначають І.М. Миценко та І.В. Хаджинов, сучасні циркулярні бізнес-моделі орієнтовані на повторне використання матеріалів, сервісне обслуговування продукції, модернізацію товарів та мінімізацію ресурсомісткості виробництва [6, с.25-38]. Такий підхід сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємств, скороченню виробничих витрат та зниженню негативного впливу на навколишнє середовище.

Для наочного відображення відмінностей між традиційною та циркулярною моделями господарювання доцільно подати схему функціонування економічних систем (табл.1.3).

Таблиця 1.3

Порівняльна характеристика лінійної та циркулярної економіки

Лінійна економіка	Циркулярна економіка
Видобуток ресурсів	Раціональне використання ресурсів
Масове виробництво	Екодизайн та ресурсоефективне виробництво
Короткий життєвий цикл продукції	Продовження життєвого циклу товарів
Одноразове споживання	Повторне використання та ремонт
Значні обсяги відходів	Мінімізація відходів
Утилізація продукції	Переробка та повторне виробництво
Високе екологічне навантаження	Екологічна безпека та сталість

Джерело: складено автором на основі [6; 4]

Отже, циркулярна економіка є сучасною моделлю господарювання, яка забезпечує ефективне використання ресурсів, мінімізацію відходів та формування замкнених виробничих циклів. Її впровадження сприяє підвищенню екологічної безпеки, розвитку інноваційних бізнес-моделей та

досягненню цілей сталого розвитку. В умовах глобальних екологічних та економічних викликів циркулярна економіка стає одним із ключових напрямів трансформації сучасної економічної системи.

1.2. Моделі та підходи до формування циркулярної економіки

Концепція циркулярної економіки розглядається як один із найбільших перспективних напрямів трансформації світової економічної системи в умовах глобальних екологічних та економічних викликів. Зростання обсягів споживання ресурсів, погіршення стану навколишнього середовища, накопичення відходів та посилення ресурсної залежності держав обумовлюють необхідність переходу до нових моделей господарювання, які базуються на принципах раціонального використання ресурсів, повторного використання матеріалів та мінімізації відходів. Саме тому особливого значення набувають моделі та підходи до формування циркулярної економіки, які забезпечують створення замкнених виробничих циклів і сприяють досягненню цілей сталого розвитку.

На думку Т.А. Ковтун, циркулярна економіка є системою господарювання, що передбачає комплексне переосмислення процесів виробництва та споживання через впровадження ресурсоефективних технологій, інноваційних бізнес-моделей та механізмів повторного використання ресурсів [7]. У свою чергу І. Зварич зазначає, що глобальна циркулярна економіка виступає інструментом формування нового екологічно стійкого суспільства, у якому економічне зростання не супроводжується надмірним виснаженням природних ресурсів [8, с.148-155].

Однією з ключових характеристик циркулярної економіки є функціонування двох взаємопов'язаних циклів - технічного та біологічного. Саме ці цикли формують основу сучасних моделей циркулярної економіки та забезпечують можливість багаторазового використання ресурсів.

Технічний цикл охоплює матеріали та продукцію, які не можуть безпечно повернутися до природного середовища, але здатні тривалий час циркулювати в економічній системі. До таких ресурсів належать пластик, метал, електроніка, промислове обладнання, автомобільні компоненти та інші технічні матеріали. Основною метою технічного циклу є максимальне збереження економічної цінності продукції через її ремонт, модернізацію, повторне використання, ремануфактуринг та переробку [9].

У межах технічного циклу після завершення первинного використання продукція не утилізується, а повертається в економічний обіг через спеціальні механізми зворотної логістики. Це дозволяє значно скоротити потребу у використанні первинної сировини, знизити витрати виробництва та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище.

Біологічний цикл, своєю чергою, пов'язаний із використанням органічних ресурсів, які можуть безпечно повертатися до природних екосистем. До таких ресурсів належать органічні відходи, деревина, натуральний текстиль, сільськогосподарська продукція та біологічна сировина. У межах біологічного циклу матеріали після використання підлягають компостуванню, біологічній переробці або відновленню природного середовища [10, с.117-134].

Варто зазначити, що ефективне функціонування технічного та біологічного циклів забезпечує формування замкненої системи використання ресурсів, у межах якої мінімізується утворення відходів та підвищується рівень ресурсоефективності економіки.

На основі аналізу наукових підходів доцільно виокремити три основні групи моделей циркулярної економіки: ресурсно-орієнтовані, технологічно-орієнтовані та системно-орієнтовані. До ресурсно-орієнтованих моделей належать концепції 3R, 5R та 6R, які спрямовані насамперед на скорочення обсягів відходів і підвищення ефективності використання ресурсів. Технологічно-орієнтовані моделі охоплюють підходи, пов'язані з ремонтом, модернізацією, ремануфактурингом та промисловим симбіозом, що

забезпечують продовження життєвого циклу продукції та збереження її економічної цінності. Системно-орієнтовані моделі передбачають комплексну трансформацію процесів виробництва і споживання через впровадження замкнених ланцюгів поставок, екодизайну, цифрових платформ та інших інструментів управління ресурсними потоками. Така класифікація дозволяє більш чітко систематизувати існуючі підходи до формування циркулярної економіки та визначити найбільш перспективні напрями їх впровадження в Україні з урахуванням сучасного рівня розвитку технологій, інфраструктури та економічних умов.

Однією з найбільш відомих моделей циркулярної економіки є «метеликова діаграма» (Butterfly Diagram), розроблена Ellen MacArthur Foundation і демонструє взаємозв'язок технічного та біологічного циклів і вважається базовою концептуальною схемою циркулярної економіки [9].

«Метеликова діаграма» стала основою для формування сучасної політики циркулярної економіки в країнах Європейського Союзу та активно використовується при розробці моделей управління ресурсами й екологічних стратегій підприємств (рис. 1.1).

Ліва частина діаграми відображає біологічний цикл, у межах якого органічні матеріали після використання повертаються до природного середовища через компостування або біологічне відновлення. Права частина схеми демонструє технічний цикл, де продукція після використання проходить етапи ремонту, повторного використання, модернізації, ремануфактурингу та переробки.

При цьому найбільша економічна цінність зберігається саме на етапах ремонту та повторного використання продукції, тоді як переробка є менш ефективним способом збереження ресурсів через часткову втрату матеріалів та енергії.

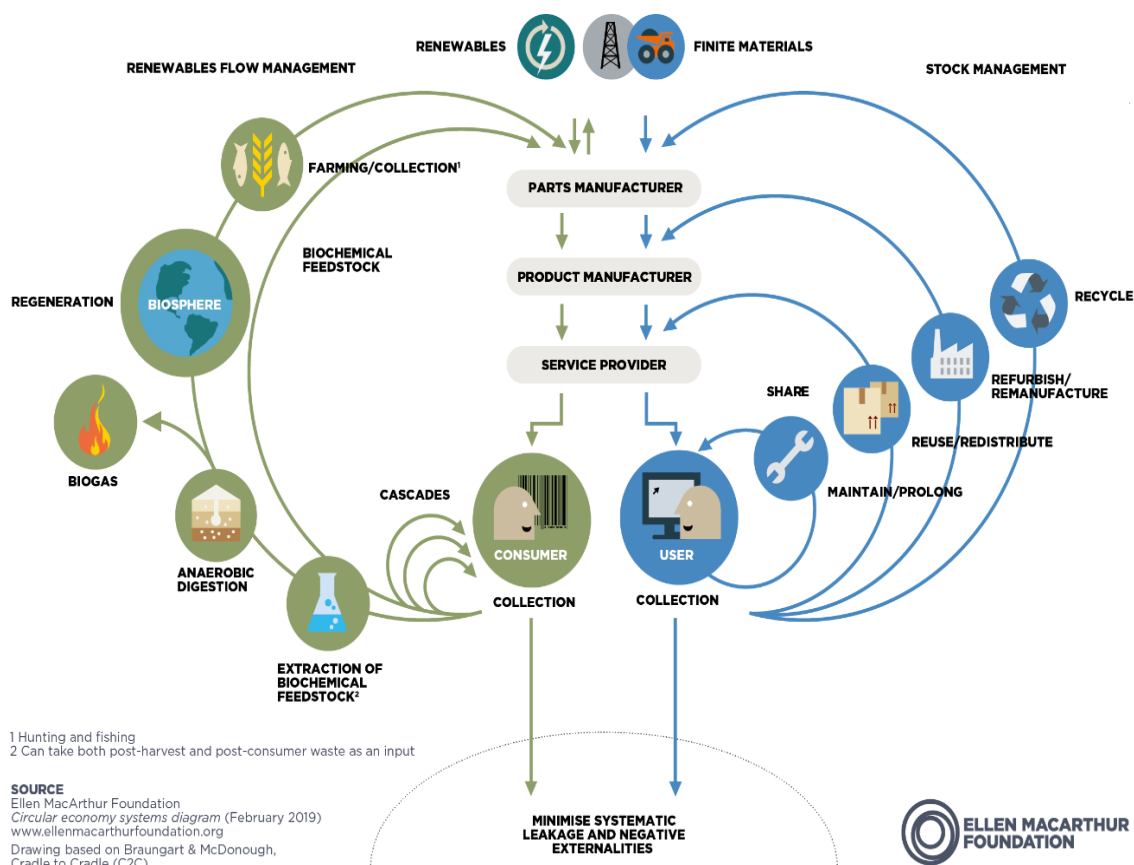


Рис. 1.1 «Метеликова діаграма» (Butterfly Diagram) розроблена Ellen MacArthur Foundation [11]

Важливе місце у структурі циркулярної економіки займають моделі повторного використання продукції, ремонту та сервісної економіки. Їх основною метою є продовження життєвого циклу товарів і зменшення потреби у виробництві нової продукції.

Модель повторного використання (reuse model) передбачає багаторазове використання продукції без суттєвої зміни її характеристик. Повторне використання дозволяє значно скоротити обсяги відходів та зменшити споживання природних ресурсів. Прикладами такої моделі є використання багаторазової тари, повторне застосування будівельних матеріалів або продаж уживаної техніки [12].

Модель ремонту (repair model) базується на відновленні функціональності продукції для продовження строку її експлуатації. У сучасних умовах ця модель набуває особливої актуальності у сфері

електроніки та побутової техніки, оскільки дозволяє зменшити кількість електронних відходів і скоротити потребу у виробництві нових товарів.

Сервісна економіка (service economy) є важливим напрямом розвитку циркулярної економіки та передбачає перехід від володіння продукцією до користування послугами. У межах такої моделі споживач отримує доступ до функцій товару без необхідності його придбання. Наприклад, оренда автомобілів, прокат обладнання або підписка на програмне забезпечення дозволяють оптимізувати використання ресурсів та скоротити обсяги виробництва [10, с.117-134].

Сучасна циркулярна економіка також передбачає розвиток інноваційних бізнес-моделей, які забезпечують функціонування замкнених виробничих циклів та підвищують ефективність використання ресурсів.

Однією з найбільш поширених циркулярних бізнес-моделей є Product-as-a-Service (PaaS) - «продукт як послуга». Її сутність полягає в тому, що виробник зберігає право власності на продукцію, а споживач сплачує лише за користування нею. За таких умов компанія зацікавлена у виробництві довговічної, ремонтпридатної та ресурсоефективної продукції, оскільки саме вона відповідає за її технічне обслуговування та переробки.

Іншою важливою моделлю є sharing economy - економіка спільного користування. Вона передбачає спільне використання товарів або послуг кількома користувачами. Найбільш поширеними прикладами є сервіси каршерингу, платформи короткострокової оренди житла та онлайн-сервіси обміну товарами [8, с.148-155].

Важливу роль у системі циркулярної економіки відіграє reverse logistics - зворотна логістика. Вона охоплює процеси повернення використаної продукції, матеріалів або відходів від споживача до виробника з метою повторного використання, ремонту, модернізації чи переробки. Розвиток системи зворотної логістики забезпечує формування замкнених ланцюгів постачання та сприяє скороченню втрат ресурсів [7].

Важливим напрямом формування циркулярної економіки є впровадження інновацій. Саме інноваційні технології забезпечують можливість ефективної переробки відходів, автоматизації процесів сортування, створення нових матеріалів та розвитку цифрових платформ для циркулярного бізнесу

Основні моделі циркулярної економіки та їх переваги наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

Моделі циркулярної економіки та їх переваги

Модель циркулярної економіки	Характеристика	Основні переваги
Повторне використання (Reuse)	Повторне застосування продукції без переробки	Скорочення обсягів відходів та економія ресурсів
Ремонт та модернізація (Repair, Refurbish)	Відновлення функціональності продукції	Подовження життєвого циклу товарів
Product-as-a-Service	Надання продукції як послуги	Зменшення ресурсомісткості виробництва
Sharing economy	Спільне використання товарів і послуг	Підвищення ефективності використання ресурсів
Reverse logistics	Повернення ресурсів у виробничий цикл	Мінімізація втрат матеріалів
Переробка (Recycling)	Використання відходів як вторинної сировини	Зниження екологічного навантаження
Промисловий симбіоз	Використання відходів одного підприємства як ресурсів іншого	Формування замкнених виробничих циклів

Джерело: сформовано автором на основі [7; 12; 10].

Як зазначає Т.А. Ковтун, інновації виступають ключовим фактором реалізації принципів циркулярної економіки та досягнення цілей сталого розвитку [7].

Особливого значення у системі циркулярної економіки набуває екодизайн. Його сутність полягає у проектуванні продукції з урахуванням можливості її ремонту, модернізації, повторного використання та переробки. Екодизайн також передбачає використання екологічно

безпечних матеріалів і зниження енергоспоживання продукції протягом усього життєвого циклу [9].

Ще одним важливим підходом до формування циркулярної економіки є розвиток промислових симбіозів. Промисловий симбіоз передбачає співпрацю між підприємствами, у межах якої відходи або побічні продукти одного виробництва використовуються як ресурси для іншого підприємства. Такий підхід дозволяє мінімізувати втрати ресурсів, скоротити витрати виробництва та підвищити екологічну ефективність економіки.

Таким чином, моделі та підходи до формування циркулярної економіки охоплюють широкий спектр механізмів повторного використання ресурсів, інноваційних бізнес-моделей та екологічно орієнтованих технологій. Їх впровадження сприяє підвищенню ресурсоефективності, мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище та забезпечує перехід до сучасної моделі сталого економічного розвитку.

1.3. Нормативно-правове забезпечення та міжнародний досвід розвитку циркулярної економіки

Розвиток циркулярної економіки у світі супроводжується активним формуванням нормативно-правової бази, спрямованої на забезпечення ефективного використання ресурсів, мінімізацію відходів та досягнення цілей сталого розвитку. У сучасних умовах державна політика у сфері циркулярної економіки виступає одним із ключових інструментів трансформації економічної системи, оскільки саме нормативно-правове забезпечення формує умови для впровадження ресурсоефективних технологій, розвитку екологічно орієнтованого виробництва та стимулювання циркулярних бізнес-моделей.

Особливого розвитку концепція циркулярної економіки набула в країнах Європейського Союзу, які сьогодні виступають світовими лідерами у сфері реалізації політики ресурсоефективності та екологічної модернізації економіки. Європейський Союз розглядає циркулярну економіку як стратегічний напрям забезпечення конкурентоспроможності, екологічної безпеки та досягнення кліматичної нейтральності.

Одним із найважливіших нормативно-правових документів Європейського Союзу у сфері розвитку циркулярної економіки є Circular Economy Action Plan (План дій щодо циркулярної економіки) [13], представлений Європейською Комісією у 2015 році. У 2020 році документ був оновлений у межах реалізації Європейського зеленого курсу та став одним із ключових інструментів екологічної й економічної трансформації ЄС. Основною метою Плану дій є перехід від традиційної лінійної моделі господарювання до циркулярної економіки, у межах якої ресурси, матеріали та продукція максимально довго залишаються в економічному обігу, а утворення відходів мінімізується [14].

Прийняття цього документа стало відповіддю Європейського Союзу на сучасні глобальні виклики, пов'язані зі стрімким виснаженням природних ресурсів, збільшенням обсягів відходів та погіршенням екологічної ситуації. Circular Economy Action Plan орієнтований не лише на вдосконалення системи управління відходами, а й на комплексну трансформацію всієї економічної системи, включаючи виробництво, споживання, логістику та ресурсокористування.

Особлива увага у Плані дій приділяється впровадженню принципів екодизайну, які передбачають створення продукції з урахуванням можливості її ремонту, модернізації, повторного використання та переробки. Європейський Союз розглядає екодизайн як один із ключових механізмів підвищення ресурсоефективності та продовження життєвого циклу товарів. Важливим напрямом також є стимулювання повторного

використання матеріалів та розвиток ринку вторинної сировини, що дозволяє скоротити залежність економіки від первинних ресурсів.

У межах Circular Economy Action Plan значна увага приділяється підвищенню рівня переробки відходів та скороченню використання одноразової продукції, особливо пластикових виробів. Європейська Комісія наголошує на необхідності поступового переходу до моделей відповідального споживання та розвитку циркулярних бізнес-моделей, які базуються на принципах повторного використання, ремонту, сервісної економіки та зворотної логістики. Документ також передбачає підтримку інноваційних технологій і цифрових рішень, здатних забезпечити ефективне функціонування замкнених виробничих циклів.

Особливе місце у Плані дій займають найбільш ресурсомісткі галузі економіки, які створюють значні обсяги відходів та мають суттєвий вплив на навколишнє середовище. До таких секторів належать електроніка, текстильна промисловість, виробництво пластмас, будівництво та харчова галузь. Саме у цих сферах Європейський Союз планує впроваджувати нові стандарти виробництва, підвищувати рівень переробки матеріалів та стимулювати розвиток циркулярних технологій.

Важливим елементом сучасної екологічної політики Європейського Союзу є також European Green Deal (Європейський зелений курс) [15], представлений у 2019 році. Цей документ визначає стратегічний напрям розвитку ЄС та передбачає досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року. У межах Green Deal циркулярна економіка розглядається як один із ключових інструментів забезпечення сталого розвитку, зменшення викидів парникових газів та підвищення ресурсоефективності економіки.

Європейський зелений курс передбачає масштабну трансформацію економічної системи ЄС шляхом декарбонізації виробництва, переходу до відновлюваних джерел енергії та скорочення рівня забруднення навколишнього середовища. Значна увага приділяється підтримці екологічних інновацій, розвитку циркулярного виробництва та

стимулюванню сталого споживання. У межах Green Deal передбачається створення нової моделі економічного розвитку, яка поєднуватиме економічне зростання з екологічною безпекою та раціональним використанням ресурсів.

Крім того, Європейський зелений курс спрямований на модернізацію промисловості, підвищення енергоефективності та розвиток екологічно безпечних технологій. Особливу роль у реалізації цієї політики відіграє саме циркулярна економіка, оскільки вона забезпечує можливість зменшення споживання первинної сировини та формування замкнених виробничих циклів.

У процесі формування нормативно-правової бази циркулярної економіки важливе значення має також Waste Framework Directive (Рамкова директива ЄС про відходи) [16], яка визначає основні принципи управління відходами у країнах Європейського Союзу. Директива формує загальну правову основу для поводження з відходами та встановлює так звану ієрархію управління відходами, яка є базовим принципом функціонування циркулярної економіки.

Відповідно до цієї ієрархії, пріоритетним напрямом є запобігання утворенню відходів, оскільки саме скорочення обсягів споживання та мінімізація утворення сміття розглядаються як найбільш ефективний спосіб зниження екологічного навантаження. Якщо утворення відходів уникнути неможливо, наступним пріоритетом є повторне використання продукції та матеріалів. Далі важливе значення надається переробці відходів та іншому відновленню ресурсів, включаючи виробництво енергії з відходів. Найменш бажаним способом поводження з відходами вважається їх переробки або захоронення.

Особливістю Waste Framework Directive є також впровадження принципу розширеної відповідальності виробника. Відповідно до цього підходу, виробники несуть відповідальність за весь життєвий цикл продукції, включаючи етапи її збирання, утилізації та переробки після

завершення використання. Такий механізм стимулює підприємства до створення більш екологічної, довговічної та придатної до переробки продукції.

Таким чином, нормативно-правова база Європейського Союзу у сфері циркулярної економіки спрямована на комплексну трансформацію економічної системи відповідно до принципів сталого розвитку, ресурсоефективності та екологічної безпеки. Основні нормативно-правові акти ЄС у сфері циркулярної економіки наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

Основні нормативно-правові документи ЄС у сфері циркулярної економіки

Документ	Рік ухвалення	Основна мета
Circular Economy Action Plan	2015, оновлено 2020	Формування замкнених циклів використання ресурсів
European Green Deal	2019	Досягнення кліматичної нейтральності ЄС до 2050 року
Waste Framework Directive	2008	Встановлення принципів управління відходами
Directive on Single-Use Plastics	2019	Скорочення використання одноразового пластику
EU Ecodesign Directive	2009	Впровадження екодизайну продукції
Packaging and Packaging Waste Directive	1994, оновлено 2025	Зменшення обсягів пакувальних відходів

Джерело: сформовано автором на основі нормативних документів ЄС [16, 17, 14, 18]

Особливий інтерес у контексті розвитку циркулярної економіки становить міжнародний досвід країн Європейського Союзу, які сьогодні виступають світовими лідерами у впровадженні принципів ресурсоефективності, безвідходного виробництва та сталого споживання. Практика провідних європейських держав демонструє, що ефективне функціонування циркулярної економіки можливе лише за умови комплексного поєднання державної політики, нормативно-правового

регулювання, підтримки інновацій та активної участі бізнесу. Найбільш показовим у цьому аспекті є досвід Нідерландів, Німеччини та Фінляндії, які реалізують масштабні національні програми переходу до циркулярної моделі розвитку.

В Україні розвиток циркулярної економіки перебуває на етапі становлення. Протягом останніх років державна політика у сфері управління відходами та ресурсоефективності поступово наближається до європейських стандартів, однак рівень практичного впровадження принципів циркулярної економіки залишається недостатнім.

Важливим етапом формування сучасної екологічної політики України стало ухвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року, затвердженої у 2017 році. Даний документ став основою для реформування системи поводження з відходами та визначив стратегічні напрями наближення українського законодавства до екологічних стандартів Європейського Союзу. Прийняття Стратегії було зумовлене необхідністю вирішення гострих екологічних проблем, пов'язаних зі значними обсягами накопичення відходів, низьким рівнем їх переробки та недостатнім розвитком інфраструктури управління відходами.

Основною метою Національної стратегії є створення сучасної системи управління відходами, яка відповідатиме європейським вимогам та забезпечуватиме поступовий перехід до принципів циркулярної економіки. Документ передбачає комплексну трансформацію системи поводження з відходами шляхом скорочення обсягів їх захоронення, розвитку роздільного збирання та підвищення рівня переробки. Особлива увага приділяється впровадженню принципу розширеної відповідальності виробника, який передбачає відповідальність підприємств за весь життєвий цикл продукції, включаючи її знищення після використання.

У межах реалізації Стратегії також передбачено розвиток сучасної інфраструктури управління відходами, створення систем сортування, будівництво сміттєпереробних комплексів та впровадження сучасних

технологій переробки вторинної сировини. Крім того, важливим напрямом є формування екологічної культури населення та популяризація відповідального споживання. Суттєвим кроком у розвитку національного законодавства у сфері циркулярної економіки стало ухвалення у 2022 році Закону України «Про управління відходами». Прийняття цього нормативно-правового акта стало важливим етапом гармонізації українського законодавства з європейськими екологічними стандартами та імплементації положень директив ЄС у сфері поводження з відходами.

Закон визначає правові, організаційні та економічні засади управління відходами в Україні та формує основу для створення сучасної системи ресурсоефективного господарювання. Одним із ключових положень документа є впровадження ієрархії поводження з відходами, відповідно до якої пріоритет надається запобіганню утворенню відходів, повторному використанню продукції, переробці та відновленню ресурсів, а захоронення відходів розглядається як найменш бажаний спосіб поводження з ними.

Закон також передбачає розвиток системи роздільного збирання побутових відходів, стимулювання переробки вторинної сировини та створення умов для функціонування сучасної інфраструктури управління відходами. Важливим елементом є запровадження цифрового обліку відходів, що дозволить забезпечити контроль за рухом відходів та підвищити прозорість системи управління ресурсами.

Особливого значення у Законі набуває механізм розширеної відповідальності виробника, який є одним із базових принципів циркулярної економіки. Відповідно до цього механізму, виробники зобов'язані забезпечувати організацію збору, переробки та утилізації продукції після завершення її використання. Такий підхід стимулює підприємства до виробництва більш екологічної, довговічної та придатної до переробки продукції.

Попри позитивні зміни у сфері нормативно-правового регулювання, система розвитку циркулярної економіки в Україні все ще характеризується

низкою суттєвих проблем і прогалин. Однією з головних проблем залишається недостатній рівень розвитку інфраструктури переробки відходів. У багатьох регіонах країни відсутні сучасні сміттєпереробні комплекси, сортувальні станції та підприємства з повторного використання ресурсів, що суттєво обмежує можливості практичної реалізації принципів циркулярної економіки.

Серйозною проблемою також є низький рівень екологічної свідомості населення та недостатня популяризація культури відповідального споживання. Значна частина побутових відходів в Україні досі не сортується, що ускладнює процес їх подальшої переробки та повторного використання. Крім того, залишається недостатнім рівень державної підтримки циркулярного бізнесу та екологічних інновацій. Важливим стримувальним фактором є також обмежене фінансування екологічних проєктів і недостатній рівень інвестицій у сферу ресурсоефективних технологій. У багатьох випадках підприємства не мають достатніх економічних стимулів для впровадження екодизайну, модернізації виробництва та розвитку систем повторного використання матеріалів.

Однією з ключових проблем залишається недостатній розвиток системи роздільного збирання та переробки відходів, особливо на місцевому рівні. Наявна інфраструктура не забезпечує ефективного сортування побутових відходів, що обмежує можливості їх повторного використання та переробки. Водночас в Україні вже здійснюються кроки щодо формування сучасної системи управління відходами відповідно до європейських підходів. Зокрема, у 2024 році було схвалено Національний план управління відходами до 2033 року (НПУВ), який визначає стратегічні напрями розвитку сфери управління відходами та передбачає створення необхідної інфраструктури, розвиток роздільного збирання, переробки та повторного використання ресурсів. Крім того, триває розроблення регіональних планів управління відходами (РПУВ), що мають забезпечити реалізацію державної політики з урахуванням особливостей окремих

регіонів. Разом із тим, попри позитивні зрушення у сфері управління відходами, залишається актуальною потреба у формуванні комплексної політики розвитку циркулярної економіки, яка б охоплювала не лише поводження з відходами, а й питання ресурсоефективності, екодизайну, розвитку циркулярних бізнес-моделей та стимулювання інновацій.

Для України важливим завданням залишається подальша гармонізація законодавства з нормами Європейського Союзу, модернізація інфраструктури управління відходами, стимулювання циркулярних бізнес-моделей та формування ефективної системи ресурсоефективного господарювання відповідно до принципів сталого розвитку. Аналіз міжнародного досвіду свідчить, що успішне впровадження принципів циркулярної економіки залежить від комплексного поєднання державної підтримки, економічних стимулів, розвитку інфраструктури переробки та цифровізації ресурсних потоків. Водночас в Україні розвиток циркулярної економіки стримується недостатнім рівнем розвитку відповідної інфраструктури, обмеженим доступом до інноваційних технологій, недостатньою інтеграцією принципів циркулярності в економічну політику та низькою екологічною свідомістю населення. Тому важливими напрямками подальшого розвитку є гармонізація національного законодавства з європейськими нормами, модернізація системи управління відходами та створення умов для розвитку циркулярних бізнес-моделей і підвищення ефективності використання ресурсів.

Висновки до розділу 1

У першому розділі досліджено теоретичні та методологічні основи циркулярної економіки. Встановлено, що циркулярна економіка є сучасною моделлю господарювання, спрямованою на ефективне використання ресурсів, мінімізацію відходів та формування замкнених виробничих циклів. Розглянуто основні принципи та моделі циркулярної економіки, які

базуються на повторному використанні, ремонті, відновленні та переробці ресурсів.

Визначено, що важливими інструментами реалізації циркулярної економіки є екодизайн, зворотна логістика, промисловий симбіоз та інноваційні бізнес-моделі. Аналіз міжнародного досвіду показав, що успішний розвиток циркулярної економіки потребує ефективного нормативно-правового регулювання, державної підтримки та розвитку сучасної інфраструктури.

З'ясовано, що в Україні сформовано нормативні передумови для впровадження принципів циркулярної економіки, однак її розвиток стримується недостатнім рівнем переробки відходів, обмеженим фінансуванням та недосконалістю інфраструктури. Отже, подальший розвиток циркулярної економіки є важливою умовою підвищення ресурсоефективності, екологічної безпеки та забезпечення сталого розвитку країни.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ У КОНТЕКСТІ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ

2.1. Оцінка сучасного стану використання ресурсів у національній економіці

Сучасний стан використання природних ресурсів у національній економіці України формується під впливом структурної сировинної залежності, високої ресурсоемності виробництва та поступового, але все ще недостатнього впровадження принципів циркулярної економіки. Економічна модель значною мірою залишається орієнтованою на первинні ресурси та галузі з низьким рівнем доданої вартості, що посилює навантаження на природне середовище та обмежує потенціал сталого розвитку. У результаті економічне зростання часто супроводжується пропорційним збільшенням споживання матеріальних ресурсів, що є характерною ознакою високої матеріаломісткості.

Для оцінки рівня ресурсної ефективності та відповідності принципам циркулярної економіки важливим є аналіз не лише абсолютних обсягів утворення й оброблення відходів, а й відносних показників, які характеризують результативність системи управління відходами. Такі показники дають змогу оцінити частку відходів, що повертаються до господарського обігу, використовуються для отримання енергії або остаточно видаляються шляхом захоронення.

На основі статистичних даних щодо утворення та поводження з відходами в Київській області за 2020–2024 роки було розраховано основні індикатори ефективності: коефіцієнт переробки (Recycling Rate), коефіцієнт захоронення (Landfilling Rate) та коефіцієнт відновлення (Recovery Rate).

Результати розрахунків разом із вихідними статистичними даними наведено в табл. 2.1.

Застосування зазначених показників дозволяє комплексно оцінити тенденції розвитку системи управління відходами в регіоні, визначити рівень впровадження циркулярних практик та виявити основні проблеми у сфері ресурсокористування.

Таблиця 2.1

**Утворення, оброблення відходів та показники ефективності
поводження з відходами в Київській області у 2020–2024 рр.
(тис. тонн, %)**

Рік	Обсяг утворених відходів, тис. т	Відновлено (перероблено), тис. т	Спалено, тис. т	Видалено на полігони, тис. т	Коефіцієнт переробки (RR), %	Коефіцієнт захоронення (LR), %	Коефіцієнт відновлення (RcR), %
2020	498,4	73,1	16,5	259,6	14,7	52,1	18,0
2021	456,2	60,4	14,1	265,3	13,2	58,2	16,3
2022	246,2	47,0	17,7	251,4	19,1	102,1	26,3
2023	306,7	66,2	22,7	282,1	21,6	92,0	29,0
2024	477,2	108,4	18,2	294,3	22,7	61,7	26,5

Джерело: розраховано автором на основі даних відділу статистики м.Києва [19]

Примітка: Коефіцієнт переробки (RR) розраховано як відношення обсягу перероблених відходів до загального обсягу утворених відходів; коефіцієнт захоронення (LR) - як відношення обсягу відходів, видалених на полігони, до обсягу утворених відходів; коефіцієнт відновлення (RcR) - як відношення суми перероблених та спалених відходів до загального обсягу утворених відходів.

Аналіз наведених даних свідчить про відсутність стабільної тенденції у динаміці утворення відходів. Після суттєвого зниження у 2022 році спостерігається подальше зростання у 2023–2024 роках, що може пояснюватися як відновленням окремих секторів економіки, так і нерівномірністю промислового виробництва в умовах кризових факторів.

Водночас обсяги відходів, що спрямовуються на полігони, залишаються стабільно високими, що свідчить про домінування лінійної моделі «виробництво–споживання–захоронення».

Позитивним, хоча й повільним, є зростання обсягів відновлення відходів. Якщо у 2020 році рівень переробки становив близько 14,7%, то у 2024 році він зріс до понад 22%.

Для зіставлення регіональних показників із європейськими орієнтирами доцільно порівняти рівень переробки відходів у Київській області з середніми значеннями по Європейському Союзу. За даними Eurostat, середній рівень переробки муніципальних відходів у країнах ЄС у 2023–2024 роках становив близько 48–49% від загального обсягу утворених відходів, тоді як у Київській області цей показник у 2024 році становить орієнтовно 22,7%. Таким чином, регіональний рівень переробки відходів є більш ніж удвічі нижчим за середній показник ЄС, що свідчить про значний потенціал для розвитку інфраструктури сортування, переробки та повторного використання матеріалів [20].

Це вказує на поступове розширення практик повторного використання ресурсів, однак загальний рівень залишається низьким у порівнянні з країнами ЄС, де переробка є ключовим елементом ресурсної політики (рис. 2.1).

Графічне відображення дозволяє чітко простежити дисбаланс між утворенням та переробкою відходів, а також домінування полігонного захоронення як основного способу знищення.

Для наочнішого відображення тенденцій зміни показників ефективності поводження з відходами в Київській області доцільно проаналізувати їх динаміку у графічному вигляді. На рис. 2.2 представлено зміну коефіцієнта переробки, коефіцієнта захоронення та коефіцієнта відновлення відходів протягом 2020–2024 років.

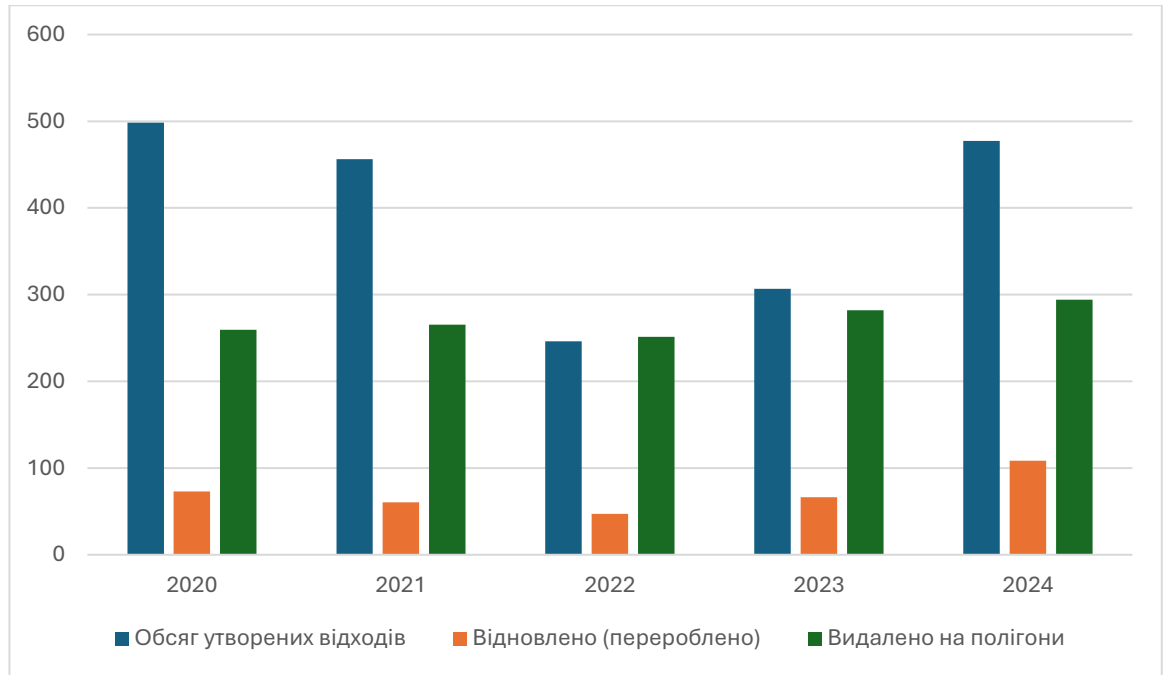


Рис. 2.1 Динаміка утворення, відновлення та захоронення відходів в Київській області за 2020–2024 роки (тис. тонн)

Аналіз графічних даних дозволяє більш чітко простежити основні тенденції розвитку системи управління відходами в регіоні, оцінити рівень впровадження принципів циркулярної економіки та визначити напрями підвищення ефективності використання ресурсів.

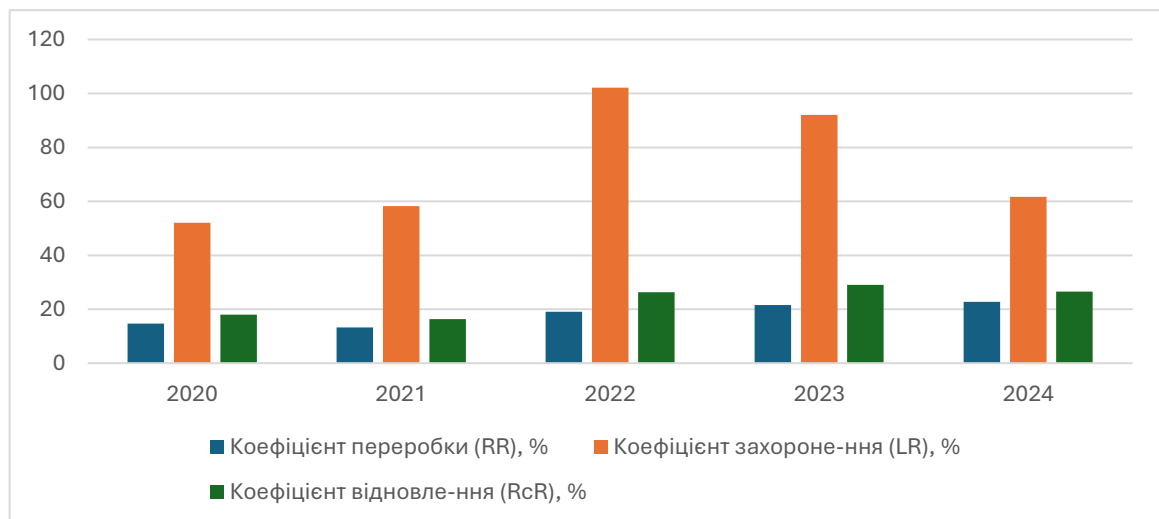


Рис. 2.2 Динаміка показників ефективності поводження з відходами в Київській області у 2020–2024 рр., %

Для поглибленої оцінки ефективності поводження з відходами розраховували базові коефіцієнти ресурсної ефективності для Київської області за 2020–2024 роки. Коефіцієнт переробки (Recycling Rate, RR) визначається як відношення обсягу перероблених (відновлених) відходів до загального обсягу утворених відходів:

$$RR = \frac{\text{Відновлено (перероблено), тис. т}}{\text{Обсяг утворених відходів, тис. т}}$$

Коефіцієнт захоронення (Landfilling Rate, LR) визначається як:

$$LR = \frac{\text{Видалено на полігони, тис. т}}{\text{Обсяг утворених відходів, тис. т}}$$

Для комплексної оцінки доцільно також використовувати коефіцієнт відновлення (Recovery Rate, $RecR$), який враховує як переробку, так і спалювання з отриманням енергії:

$$RecR = \frac{\text{Відновлено (перероблено) + Спалено, тис. т}}{\text{Обсяг утворених відходів, тис. т}}$$

Джерело: методики [21–24]

Як видно з рис. 2.1, протягом 2020–2024 років у Київській області спостерігалися неоднозначні тенденції у сфері поводження з відходами. Найбільш позитивною є динаміка коефіцієнта переробки, значення якого зросло з 14,7 % у 2020 році до 22,7 % у 2024 році. Це свідчить про поступове збільшення обсягів відходів, що повертаються до господарського обігу як вторинні ресурси, та певне поширення практик циркулярної економіки в регіоні.

Аналогічну тенденцію демонструє коефіцієнт відновлення відходів, який зріс з 18,0 % до 26,5 %. Підвищення цього показника вказує на збільшення частки відходів, що використовуються повторно або залучаються до виробництва енергії. Найвище значення коефіцієнта

відновлення було зафіксовано у 2023 році – 29,0 %, після чого у 2024 році спостерігалось його незначне зниження.

Водночас результати аналізу свідчать про збереження високої залежності регіону від полігонного захоронення відходів. Коефіцієнт захоронення у більшості років перевищував 50 %, а у 2024 році становив 61,7 %. Особливо високі значення показника спостерігалися у 2022–2023 роках, коли обсяги відходів, спрямованих на полігони, майже дорівнювали або навіть перевищували обсяги новоутворених відходів. Це може бути пов'язано із захороненням накопичених раніше відходів або особливостями статистичного обліку в умовах воєнного стану.

Рівень переробки відходів залишається ключовою проблемою системи управління ресурсами. Основними бар'єрами виступають слабка інфраструктура сортування, недостатня кількість сучасних переробних підприємств, а також низький рівень інвестицій у сферу відходів.

Окремо слід відзначити проблему матеріального сліду економіки (material footprint), який характеризує загальний обсяг природних ресурсів, необхідних для забезпечення внутрішнього споживання. Для України цей показник традиційно є високим через значну частку енерго- та матеріаломістких галузей, зокрема металургії, гірничодобувної промисловості та первинної обробки сировини. Це означає, що економіка залишається залежною від значних обсягів первинних ресурсів, що підвищує її вразливість до зовнішніх цінових коливань і ускладнює досягнення цілей сталого розвитку.

Матеріальний слід (Material Footprint, MF) вимірюється у тоннах первинних матеріалів на одну особу на рік (т/особу*рік) і включає як внутрішнє видобування ресурсів, так і імпортовані матеріали, необхідні для задоволення кінцевого споживання. За оцінками міжнародних досліджень, середній матеріальний слід України у докризовий період становив орієнтовно 12–14 т/особу·рік, що співставно із середніми значеннями для ЄС (близько 14 т/особу·рік), але при цьому структура споживання суттєво

відрізняється: в Україні домінують сировинні та енергоємні галузі (металургія, гірничодобувна промисловість), тоді як у країнах ЄС більшу частку займає кінцеве споживання домогосподарств та сектор послуг. Високий матеріальний слід за умов низького рівня переробки відходів свідчить про те, що значна частина ресурсів втрачає економічну цінність після одноразового використання, що суперечить принципам циркулярної економіки.

Аналіз проблем використання ресурсів дозволяє виділити кілька системних викликів. По-перше, це низький рівень переробки та повторного використання матеріалів, що призводить до надмірного навантаження на полігони та накопичення відходів. По-друге, недостатній розвиток інфраструктури поводження з відходами, яка не відповідає сучасним вимогам циркулярної економіки. По-третє, висока ресурсоємність виробництва, що зумовлена структурними особливостями економіки та повільним впровадженням інноваційних технологій. Для комплексної оцінки внутрішніх і зовнішніх факторів, що впливають на процес переходу до циркулярної економіки, доцільно провести SWOT-аналіз регіональної системи ресурсокористування (табл. 2.2).

Таким чином, сучасний стан використання ресурсів в Україні, зокрема в Київській області, можна охарактеризувати як перехідний: з одного боку, спостерігаються певні позитивні зрушення у сфері переробки відходів, з іншого - зберігається домінування лінійної моделі економіки та висока залежність від первинних ресурсів. Це вимагає комплексної політики, спрямованої на розвиток інфраструктури переробки, стимулювання

Таблиця 2.2

SWOT-аналіз системи ресурсокористування Київської області в контексті переходу до циркулярної економіки

Сильні сторони (Strengths, S)	Слабкі сторони (Weaknesses, W)
Наявність базової інфраструктури переробки відходів.	Домінування полігонного захоронення відходів.
Поступове зростання частки відновлених та перероблених відходів.	Низький рівень роздільного збирання відходів.
Наявність потенціалу для розвитку циркулярних технологій та ресурсоефективних виробництв.	Обмежені інвестиції у створення та модернізацію переробних потужностей.
Близькість до найбільшого споживчого ринку країни та розвиненої логістичної мережі.	Відсутність системного моніторингу матеріальних потоків та ресурсокористування.
Можливості (Opportunities, O)	Загрози (Threats, T)
Імплементация європейських стандартів управління відходами та ресурсами.	Зростання обсягів утворення відходів у процесі економічного відновлення регіону.
Розвиток інфраструктури сортування, переробки та повторного використання ресурсів.	Екологічні ризики, пов'язані з перевантаженням полігонів та накопиченням відходів.
Впровадження механізмів розширеної відповідальності виробника.	Підвищення вартості первинних природних ресурсів та енергоносіїв.
Залучення внутрішніх та міжнародних інвестицій у циркулярні бізнес-моделі.	Ризик економічних обмежень у разі невідповідності європейським екологічним вимогам.
Розвиток цифрових систем обліку та контролю ресурсних потоків.	Недостатні темпи модернізації інфраструктури управління відходами.

2.2. Методи оцінювання ефективності ресурсокористування на засадах циркулярності

Оцінювання ефективності використання ресурсів у межах циркулярної економіки є важливим аналітичним інструментом, що дозволяє не лише визначити ступінь раціонального використання матеріалів, але й виявити потенційні резерви для їх повторного залучення в економічний обіг. В умовах трансформації економічних систем до більш сталих моделей найбільш поширеними методами є аналіз матеріальних потоків (Material Flow Analysis, MFA), оцінка життєвого циклу продукції (Life Cycle Assessment, LCA) та індексні підходи до вимірювання циркулярності [25].

У контексті циркулярної економіки методи оцінювання ресурсокористування виконують не лише діагностичну, але й стратегічну функцію. Вони дозволяють кількісно визначити рівень замкненості матеріальних потоків, виявити втрати ресурсів на різних етапах життєвого циклу продукції та оцінити потенціал повторного використання матеріалів. На відміну від традиційних підходів, що фокусуються на обсягах видобутку та споживання, циркулярні методики враховують повний життєвий цикл ресурсів, включаючи стадії повернення, переробки та повторного залучення в економічний обіг.

Аналіз матеріальних потоків (MFA) є системним методологічним підходом, що використовується для кількісного відстеження руху матеріальних ресурсів у межах певної економічної системи - від рівня підприємства до національної економіки. Сутність MFA полягає у побудові балансової моделі, яка відображає всі входи матеріалів у систему, їх внутрішнє переміщення, трансформацію та виходи у вигляді продукції або відходів.

Практичне застосування аналізу матеріальних потоків (Material Flow Analysis, MFA) ґрунтується на принципі матеріального балансу, відповідно до якого обсяг матеріалів, що надходять до економічної системи, має дорівнювати сумі матеріалів, які залишають систему, та матеріалів, що накопичуються в ній. Такий підхід дає можливість комплексно оцінити рух ресурсів у межах певної території, визначити ефективність їх використання та виявити втрати на різних етапах виробничого й споживчого циклу.

На регіональному рівні MFA дозволяє відстежувати надходження природних ресурсів, сировини та вторинних матеріалів, їх трансформацію в процесі господарської діяльності та подальший розподіл між кінцевою продукцією, відходами, викидами і накопиченими матеріальними запасами. Особливу увагу при цьому приділяють таким показникам, як Domestic Material Input (DMI), що характеризує загальний обсяг матеріалів, які надходять до економічної системи регіону, Domestic Processed Output

(DPO), який відображає матеріальні потоки, що залишають систему у вигляді відходів, викидів або експорту, а також Net Additions to Stock (NAS), що показує приріст матеріальних запасів у будівлях, спорудах, транспортній та виробничій інфраструктурі.

Використання методології MFA у дослідженні ресурсокористування Київської області дає можливість оцінити ступінь замкненості матеріальних циклів та ефективність впровадження принципів циркулярної економіки. Одним із ключових індикаторів у цьому контексті є частка відходів, що повертаються до господарського обігу шляхом перероблення та повторного використання. За статистичними даними, у 2024 році в Київській області було утворено 477,2 тис. т відходів, з яких 108,4 тис. т було відновлено (перероблено). Відповідно, частка матеріалів, що повернулися в економічний обіг, становила 22,7 %.

Отримане значення свідчить про те, що менше чверті утворених відходів повторно залучаються до економічної діяльності як вторинні ресурси. Водночас понад 77 % матеріальних потоків не повертаються до виробничого циклу та втрачаються через захоронення на полігонах, спалювання або інші форми остаточного видалення. Така структура матеріальних потоків є характерною для переважно лінійної моделі економіки, у межах якої ресурси після використання здебільшого перетворюються на відходи, а не стають основою для нового виробничого циклу.

Отже, результати аналізу свідчать про наявність певного прогресу у сфері перероблення відходів у Київській області, однак рівень циркулярності матеріальних потоків залишається недостатнім. Підвищення ефективності ресурсокористування потребує розвитку інфраструктури сортування та перероблення відходів, впровадження сучасних технологій відновлення матеріалів, розширення ринку вторинної сировини та стимулювання підприємств до використання ресурсозберігаючих

виробничих моделей. Саме такі заходи можуть забезпечити поступовий перехід від лінійної до циркулярної моделі економічного розвитку регіону.

З методологічної точки зору MFA розглядається як початкова стадія оцінювання циркулярних економічних систем, оскільки саме він дозволяє ідентифікувати матеріальні втрати, неефективні потоки та потенціал вторинного використання ресурсів. У рамках циркулярної економіки цей метод є ключовим для формування «карти матеріальних потоків», яка дозволяє візуалізувати рух ресурсів у системі та визначити критичні точки їх втрат.

Основне призначення MFA полягає у:

1. оцінюванні матеріального балансу економічних систем;
2. виявленні надлишкових або неефективних потоків ресурсів;
3. формуванні стратегій управління відходами;
4. підтримці прийняття рішень у сфері ресурсної політики.

У практичному вимірі MFA широко використовується для аналізу потоків металів, будівельних матеріалів, енергетичних ресурсів, а також для оцінювання ефективності регіональних систем поводження з відходами.

Особливістю MFA є його ітеративний характер, який передбачає постійне уточнення даних та моделювання потоків у динаміці, що дозволяє отримувати більш точні результати при довгостроковому аналізі економічних систем [25].

Оцінка життєвого циклу (LCA) є комплексним інструментом екологічного аналізу, який дозволяє оцінити вплив продукції, процесу або послуги на довкілля протягом усього життєвого циклу - від видобутку сировини до утилізації або повторного використання [26].

У межах LCA екологічний вплив оцінюється за низкою категорій, серед яких: – GWP (Global Warming Potential) - потенціал глобального потепління, кг CO₂-екв.; – AP (Acidification Potential) - потенціал кислотних дощів, кг SO₂-екв.; – EP (Eutrophication Potential) - потенціал евтрофікації,

кг PO_4^{3-} -екв.; – CED (Cumulative Energy Demand) - сукупне енергоспоживання, МДж.

Ілюстративний приклад, для пластикової упаковки LCA може показати:

- видобуток нафти - 1,8 МДж/од.;
- виробництво грануляту - 2,5 МДж/од.;
- формування виробу - 0,9 МДж/од.;
- транспортування - 0,3 МДж/од.;
- утилізація - 0,4 МДж/од.

Загальний екологічний слід:

$$CED_{total} = 1,8 + 2,5 + 0,9 + 0,3 + 0,4 = 5,9 \text{ МДж/од.}$$

Якщо ж упаковка переробляється, CED зменшується на 30–45%, що демонструє переваги циркулярних моделей над лінійними.

На відміну від MFA, який фокусується на матеріальних потоках, LCA має значно ширший екологічний вимір, оскільки враховує енергоспоживання, викиди парникових газів, забруднення водних та повітряних ресурсів, а також інші екологічні впливи на всіх етапах життєвого циклу продукту.

Методологічно LCA включає такі етапи:

1. визначення мети та меж дослідження;
2. інвентаризація потоків матеріалів та енергії;
3. оцінка впливу на довкілля;
4. інтерпретація результатів.

У практиці Європейського Союзу LCA використовується як базовий інструмент екологічного менеджменту для порівняння різних технологій виробництва, оцінки екологічності продукції та розробки політики сталого розвитку.

Важливою особливістю LCA є його здатність інтегрувати екологічні показники у процес прийняття управлінських рішень, що робить його

ключовим інструментом екологічного планування в умовах циркулярної економіки.

Індекс циркулярності є узагальненим кількісним показником, який використовується для оцінювання ступеня замкненості матеріальних потоків у межах економічної системи або підприємства. Його основне завдання полягає у вимірюванні частки вторинних матеріалів у загальному обсязі ресурсів, що використовуються в економічному процесі [27, с.75-79].

Одним із найважливіших показників оцінки ефективності використання ресурсів у контексті циркулярної економіки є рівень циркулярності економіки. Цей індикатор характеризує частку матеріальних ресурсів, які після використання повертаються до господарського обігу у вигляді вторинної сировини та повторно залучаються до виробничих процесів. Відповідно, чим вищим є показник циркулярності, тим меншою є залежність економіки від видобутку первинних природних ресурсів та тим ефективніше реалізуються принципи сталого розвитку.

Для оцінки рівня циркулярності на міжнародному рівні широко використовується показник Circularity Gap Indicator (CGI), який відображає частку матеріалів, що повертаються в економіку у вигляді вторинних ресурсів. Порівняння значень цього показника для України та країн Європейського Союзу дозволяє оцінити ступінь наближення національної економіки до циркулярної моделі розвитку.

Дані щодо рівня циркулярності економіки України та Європейського Союзу наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Порівняння рівня циркулярності економіки України та ЄС

Показник	Україна	ЄС-27
Рівень циркулярності економіки (CGI), %	3,4	11,5
Частка вторинних матеріалів у загальному споживанні ресурсів	Низька	Висока
Домінуюча модель ресурсокористування	Лінійна	Перехідна до циркулярної

Джерело: [28]

Як свідчать дані табл. 2.3, рівень циркулярності економіки України становить лише 3,4 %, тоді як середній показник для країн Європейського Союзу досягає 11,5 %. Таким чином, європейський показник перевищує український більш ніж утричі. Це свідчить про суттєве відставання України за рівнем повторного використання матеріалів та залучення вторинної сировини до виробничих процесів. Низьке значення показника циркулярності вказує на збереження переважно лінійної моделі ресурсокористування, для якої характерними є значні обсяги споживання первинних ресурсів і накопичення відходів.

Водночас навіть у країнах Європейського Союзу перехід до циркулярної економіки залишається незавершеним процесом. Незважаючи на значно вищі показники порівняно з Україною, частка вторинних матеріалів у загальному ресурсоспоживанні все ще є недостатньою для повного замикання матеріальних циклів. Це свідчить про складність трансформації існуючих виробничих та споживчих моделей навіть у найбільш розвинених країнах світу.

Загальносвітові тенденції також демонструють, що рівень циркулярності залишається відносно низьким. За оцінками міжнародних досліджень, у середньому лише близько 7,2 % матеріальних потоків повертаються в економіку у вигляді вторинних ресурсів. Відмінності між окремими країнами та регіонами значною мірою визначаються структурою національної економіки, рівнем розвитку переробної інфраструктури, обсягами використання первинних ресурсів, а також ефективністю державної політики у сфері управління відходами та ресурсозбереження.

Для більш детального аналізу доцільно розглянути рівень циркулярності в окремих країнах світу та порівняти його з показниками України і Європейського Союзу. Відповідні дані наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Порівняльна характеристика рівня циркулярності економіки в окремих країнах світу

Країна / регіон	Рівень циркулярності (CGI), %
Україна	3,4
Світ у середньому	7,2
США	7,6
Китай	10,2
ЄС-27	11,5
Австрія	12,2
Японія	19,6
Нідерланди	24,5

Джерело: [28]

Аналіз даних табл. 2.4 свідчить про значну диференціацію рівня циркулярності між країнами світу. Найвищі значення показника спостерігаються у Нідерландах та Японії, де відповідно 24,5 % і 19,6 % матеріальних ресурсів повертаються в економічний обіг. Високі показники цих країн пояснюються системним розвитком переробної інфраструктури, впровадженням екологічно орієнтованої державної політики та активним використанням механізмів ресурсоефективного виробництва.

Показники країн Європейського Союзу також перевищують середньосвітовий рівень, що свідчить про ефективність реалізації стратегій циркулярної економіки та послідовне впровадження принципів повторного використання матеріалів. Натомість Україна демонструє один із найнижчих показників серед досліджуваних країн, що підтверджує недостатній рівень розвитку секторів перероблення відходів і використання вторинних ресурсів.

Отже, міжнародні порівняння свідчать про значний потенціал підвищення рівня циркулярності економіки України. Досягнення показників, наближених до середньоєвропейських, потребує модернізації системи управління відходами, розвитку інфраструктури сортування та перероблення, стимулювання використання вторинної сировини у

виробництві, а також впровадження сучасних інструментів моніторингу матеріальних потоків відповідно до принципів циркулярної економіки

У найбільш узагальненому вигляді індекс циркулярності може бути представлений як:

$$CI = \frac{R + Re}{T}$$

де CI - індекс циркулярності, R - обсяг повторно використаних матеріалів, Re - обсяг перероблених ресурсів, T - загальний обсяг матеріального споживання.

Даний показник дозволяє оцінити рівень переходу економіки від лінійної моделі «видобуток–виробництво–споживання–знищення» до циркулярної моделі, де ресурси максимально довго залишаються в економічному обігу.

На рівні практичного застосування індекс циркулярності використовується для: порівняння підприємств за рівнем екологічної ефективності; моніторингу циркулярних трансформацій у галузях; формування державної політики сталого розвитку.

У науковій літературі циркулярні трансформації оцінюються на різних рівнях - мікро (підприємства), мезо (галузі, регіони) та макро (національна економіка). Саме комплексне використання MFA, LCA та індексу циркулярності дозволяє отримати повну картину ресурсної ефективності системи, оскільки кожен із методів охоплює різні аспекти аналізу [27] (Табл. 2.5).

Як видно з табл. 2.5, жоден із розглянутих методів не забезпечує повного охоплення всіх аспектів циркулярної економіки. Метод MFA дозволяє аналізувати матеріальні потоки та формувати ресурсні баланси, LCA оцінює екологічні наслідки протягом життєвого циклу продукції, тоді як індекс циркулярності надає узагальнену кількісну характеристику рівня замкненості ресурсних потоків. Саме тому в сучасних дослідженнях

доцільним вважається комплексне застосування зазначених підходів, що забезпечує більш повну та об'єктивну оцінку ефективності використання ресурсів і рівня впровадження принципів циркулярної економіки.

Таблиця 2.5

**Порівняльна характеристика основних методів оцінювання
циркулярності економіки**

Метод	Що вимірює	Одиниці виміру	Переваги	Обмеження
MFA (Material Flow Analysis)	Матеріальні потоки в економічній системі	т/рік; т/особу·рік	Дає змогу відстежувати рух матеріальних ресурсів на всіх етапах економічного циклу; забезпечує системний підхід до аналізу; придатний для досліджень на макро- та мезорівнях; дозволяє формувати матеріальні баланси	Потребує значного обсягу статистичних даних; складність побудови моделей матеріальних потоків; обмежене врахування екологічних наслідків
LCA (Life Cycle Assessment)	Екологічний вплив продукції або процесу протягом життєвого циклу	кг CO ₂ -екв.; кг SO ₂ -екв.; МДж та ін.	Охоплює повний життєвий цикл продукції; дозволяє оцінити екологічні наслідки на кожному етапі; підтримує прийняття екологічно обґрунтованих управлінських рішень	Висока трудомісткість проведення оцінки; складність збору вихідних даних; потребує спеціалізованого програмного забезпечення
CI (Circularity Index)	Частку вторинних матеріалів і рівень циркулярності системи	%; частка одиниці	Простота розрахунку та інтерпретації; можливість порівняння підприємств, регіонів і країн; забезпечує узагальнену оцінку ресурсної ефективності	Не враховує повний життєвий цикл продукції; залежить від вибору показників для розрахунку; спрощує складні процеси циркулярної економіки

Таким чином, аналіз матеріальних потоків, оцінка життєвого циклу та індекс циркулярності є взаємопов'язаними методами, що формують методологічну основу оцінювання циркулярної економіки. Їх комплексне застосування дозволяє забезпечити багаторівневий аналіз

ресурсокористування, поєднуючи матеріальні, екологічні та інституційні аспекти сталого розвитку.

2.3. Міжнародні показники та досвід оцінювання ефективності ресурсокористування

У сучасній практиці циркулярної економіки особливе значення має не лише впровадження ресурсоефективних підходів, але й їх кількісне вимірювання через систему міжнародних індикаторів. Саме показники дозволяють порівнювати рівень циркулярності між країнами, оцінювати ефективність політик сталого розвитку та визначати прогалини у ресурсному управлінні. У країнах Європейського Союзу сформовано комплексну систему моніторингу циркулярної економіки, яка включає як матеріальні, так і економічні індикатори розвитку [29].

Система оцінювання ЄС базується на ряді ключових показників, які відображають різні аспекти ресурсокористування та ефективності матеріальних потоків.

Circular Material Use Rate (CMUR) є одним із базових індикаторів, який показує частку вторинних матеріалів у загальному обсязі використаних ресурсів. Його зростання свідчить про зменшення залежності економіки від первинної сировини та посилення замкненості матеріальних циклів [30, с.15-20].

Resource Productivity характеризує ефективність використання ресурсів через співвідношення валового внутрішнього продукту до обсягу використаних матеріалів. Цей показник дозволяє оцінити, наскільки економічне зростання відокремлене від споживання природних ресурсів [31, с.214-223].

Material Footprint відображає загальний обсяг первинних матеріалів, необхідних для задоволення внутрішнього споживання країни, включаючи

імпортовані ресурси. Цей індикатор є важливим для оцінки глобального впливу на довкілля.

Recycling Rate визначає частку відходів, що підлягають переробці, у загальному обсязі утворених відходів, і є одним із ключових показників ефективності системи управління відходами [29].

Нідерланди є однією з найбільш розвинених країн у сфері циркулярної економіки, де стратегія « Circular Netherlands 2050» передбачає повний перехід до замкнених матеріальних циклів. Високий рівень інституційної підтримки, інновацій у сфері переробки та активне залучення бізнесу дозволили країні досягти одного з найвищих показників циркулярності і Європі [28].

Особливістю нідерландського підходу є інтеграція системи моніторингу ресурсних потоків у національну економічну політику, що забезпечує постійне вдосконалення показників GMUR та Recycling Rate.

Німеччина традиційно фокусується на підвищенні ресурсної ефективності через впровадження інноваційних технологій, розвиток промислової переробки та жорстке екологічне регулювання. Законодавча база країни, зокрема «Кризис управління відходами» та програми ресурсоефективності, забезпечують високі показники переробки відходів і зниження матеріального сліду [22].

Низький досвід демонструє, що системний підхід до управління ресурсами дозволяє поєднати економічне зростання з екологічною стійкістю.

Фінляндія активно інтегрує принципи циркулярної економіки у промисловий сектор, зокрема у деревообробну, енергетичну та хімічну промисловість. Особливу увагу приділено цифровізації процесів управління ресурсами та розвитку інноваційних бізнес-моделей, що базуються на повторному використанні матеріалів [3].

Фінський досвід показує, що цифрові інструменти та екологічний менеджмент є ключовими факторами підвищення ресурсної ефективності.

Попри наявність значного потенціалу у сфері циркулярної економік, Україна наразі перебуває на початковому етапі формування системи оцінювання ефективності ресурсокористування. Основними проблемами залишаються низький рівень переробки відходів, відсутність єдиної національної системи моніторингу матеріальних потоків та недостатня інтеграція міжнародних індикаторів у статистичну практику.

На відміну від країн ЄС, де циркулярні показники є частиною державної політики, в Україні вони здебільшого використовуються фрагментарно, або в рамках окремих досліджень. Це ускладнює комплексну оцінку ресурсної ефективності економіки та обмежує можливості стратегічного планування.

Разом із тим, Україна має значний потенціал для розвитку циркулярної економіки, зокрема через модернізацію промисловості, розвиток переробної інфраструктури та впровадження цифрових систем моніторингу ресурсів [15] (табл. 2.3)

Таблиця 2.3

**Порівняльна характеристика підходів до оцінювання
ресурсокористування [15, 28]**

Країна/регіон	Рівень розвитку системи оцінювання	Ключові особливості	Основні проблеми
Нідерланди	Високий	Інтегрована система циркулярної економіки, високий GMUR, активна державна підтримка	Висока залежність від імпорту ресурсів
Німеччина	Високий	Розвинена система переробки, сильна ресурсоефективність, інновації	Високі витрати на екологічне регулювання
Фінляндія	Середньо-високий	Цифровізація, промислова циркулярність, біоекономіка	Обмежені масштаби внутрішнього ринку
Україна	Низький	Потенціал розвитку, наявність природних ресурсів	Відсутність системи моніторингу, низький рівень переробки

Важливим елементом міжнародного досвіду є практична реалізація принципів циркулярної економіки на національному рівні. Одним із світових лідерів у цій сфері є Нідерланди, які поставили стратегічну мету досягнення повністю циркулярної економіки до 2050 року. Реалізація цієї стратегії передбачає скорочення використання первинної сировини, розвиток ринку вторинних ресурсів, підтримку екодизайну продукції та стимулювання бізнесу до впровадження замкнених виробничих циклів.

Позитивний досвід демонструє також Німеччина, де функціонує одна з найбільш розвинених систем роздільного збирання та перероблення відходів у світі. Важливу роль у її розвитку відіграє механізм розширеної відповідальності виробника, відповідно до якого виробники несуть відповідальність за збір та утилізацію продукції після завершення строку її використання. Це сприяє зростанню рівня перероблення відходів і зменшенню навантаження на довкілля.

Значний інтерес становить досвід Японії, де реалізується концепція «суспільства замкненого циклу» (Sound Material-Cycle Society). Основна увага приділяється мінімізації утворення відходів, повторному використанню матеріалів та підвищенню ресурсної продуктивності економіки. Високі показники циркулярності країни досягаються завдяки поєднанню державного регулювання, технологічних інновацій та активної участі населення у процесах сортування відходів.

Для України практичне значення мають такі інструменти міжнародного досвіду, як розвиток розширеної відповідальності виробника, впровадження цифрового моніторингу матеріальних потоків, підтримка інвестицій у переробну інфраструктуру та стимулювання використання вторинної сировини у виробництві. Адаптація зазначених підходів сприятиме підвищенню рівня ресурсної ефективності та прискоренню переходу до циркулярної моделі економічного розвитку.

Таким чином, міжнародний досвід свідчить про те, що ефективне оцінювання ресурсокористування базується на комплексному використанні

індикаторів, які дозволяють відстежувати як матеріальні потоки, так і економічну результативність. Країни ЄС демонструють високий рівень інтеграції циркулярних показників у державну політику, тоді як Україна перебуває на етапі формування відповідної системи, що створює значний простір для адаптації кращих міжнародних практик та підвищення ресурсної ефективності національної економіки.

Висновки до розділу 2

У другому розділі проведено аналіз ефективності використання ресурсів у контексті циркулярної економіки та досліджено сучасні підходи до її оцінювання. Встановлено, що система ресурсокористування в Україні, зокрема в Київській області, характеризується переважанням лінійної моделі господарювання, для якої властиві високі обсяги утворення відходів і значна залежність від полігонного захоронення.

За результатами аналізу статистичних даних визначено позитивну динаміку показників переробки та відновлення відходів у 2020–2024 роках. Коефіцієнт переробки зріс з 14,7 % до 22,7 %, а коефіцієнт відновлення – з 18,0 % до 26,5 %. Водночас рівень захоронення відходів залишається високим, що свідчить про недостатній розвиток інфраструктури перероблення та повторного використання ресурсів.

Дослідження методів оцінювання ресурсокористування показало, що найбільш поширеними інструментами аналізу циркулярності є Material Flow Analysis (MFA), Life Cycle Assessment (LCA) та Circularity Index (CI). Кожен із них дозволяє оцінити окремі аспекти ефективності використання ресурсів, а їх комплексне застосування забезпечує всебічний аналіз матеріальних потоків, екологічних наслідків і рівня замкненості ресурсних циклів.

Вивчення міжнародного досвіду засвідчило, що країни Європейського Союзу активно використовують систему показників циркулярної

економіки, серед яких Circular Material Use Rate, Resource Productivity, Material Footprint та Recycling Rate. Порівняння міжнародних індикаторів показало суттєве відставання України від європейських країн за рівнем циркулярності економіки, що обумовлює необхідність модернізації системи управління відходами, розвитку ринку вторинної сировини та впровадження сучасних ресурсоефективних технологій.

Отже, підвищення ефективності використання ресурсів в Україні потребує комплексного впровадження принципів циркулярної економіки, розвитку інфраструктури перероблення відходів, удосконалення системи моніторингу матеріальних потоків та адаптації кращих міжнародних практик управління ресурсами.

РОЗДІЛ 3

ПРАКТИЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ ТА НАПРЯМИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ

3.1. Аналіз ресурсних потоків об'єкта дослідження на основі моделі матеріального балансу (MFA)

Для проведення аналізу ресурсних потоків у межах даного дослідження об'єктом дослідження було обрано Київ. Вибір міста Києва зумовлений тим, що столиця України є одним із найбільших урбанізованих центрів держави, у якому зосереджені значні обсяги споживання природних ресурсів, енергетичних потоків та утворення відходів. Крім того, місто має розвинену систему комунальної інфраструктури та достатню кількість відкритих статистичних і екологічних даних, що дозволяє здійснити практичний аналіз ефективності використання ресурсів на основі аналізу матеріальних потоків (Material Flow Analysis - MFA).

У межах даного дослідження основна увага приділяється аналізу водних ресурсів міста Києва, оскільки саме система водокористування є одним із ключових елементів функціонування міського господарства. Водні ресурси забезпечують житлово-комунальний сектор, промисловість, енергетику та інші сфери економічної діяльності міста. Водночас значні обсяги водоспоживання, втрати води під час транспортування та утворення стічних вод створюють суттєве навантаження на навколишнє природне середовище.

Місто Київ є столицею України та одним із найдавніших міст Східної Європи. За офіційними даними, дата утворення міста датується 482 роком. Київ розташований у північній частині України на берегах річки Дніпро та

є важливим адміністративним, економічним, науковим і культурним центром держави.

Територія міста становить 836 км². Адміністративно Київ поділяється на 10 районів: Голосіївський, Дарницький, Деснянський, Дніпровський, Оболонський, Печерський, Подільський, Святошинський, Солом'янський та Шевченківський.

Чисельність постійного населення міста Києва станом на 01.01.2022 р. становила 2910,994 тис. осіб, тоді як чисельність наявного населення, в зв'язку з еміграцією під час військової агресії РФ – 2952,301 тис. осіб. Щільність населення складала 3,6 тис. осіб на 1 км². Висока концентрація населення та господарської діяльності обумовлює значні обсяги використання природних ресурсів, зокрема водних. Водночас після початку повномасштабної військової агресії російської федерації у 2022 році спостерігалось скорочення чисельності населення міста внаслідок вимушеної міграції населення за кордон та переміщення частини мешканців до більш безпечних регіонів України. Незважаючи на поступове повернення частини населення у наступні роки, демографічна ситуація залишається нестабільною, що впливає на рівень споживання ресурсів, структуру господарської діяльності та формування відходів у міській системі.

Важливим елементом природно-ресурсного потенціалу міста є річка Дніпро, яка виступає основним джерелом водопостачання Києва. Крім Дніпра, на території міста розташовані малі річки, озера, ставки та водосховища, що формують міську водну систему та виконують важливі екологічні й рекреаційні функції.

Сучасний розвиток міста супроводжується значним навантаженням на систему водокористування. Зростання потреб населення, функціонування підприємств, розвиток транспортної та будівельної інфраструктури призводять до збільшення обсягів споживання води та утворення стічних вод. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває впровадження принципів циркулярної економіки, спрямованих на

ефективніше використання ресурсів, скорочення втрат та повторне використання очищених водних ресурсів.

Розташування міста Києва на карті України наведено на рисунку 3.1.

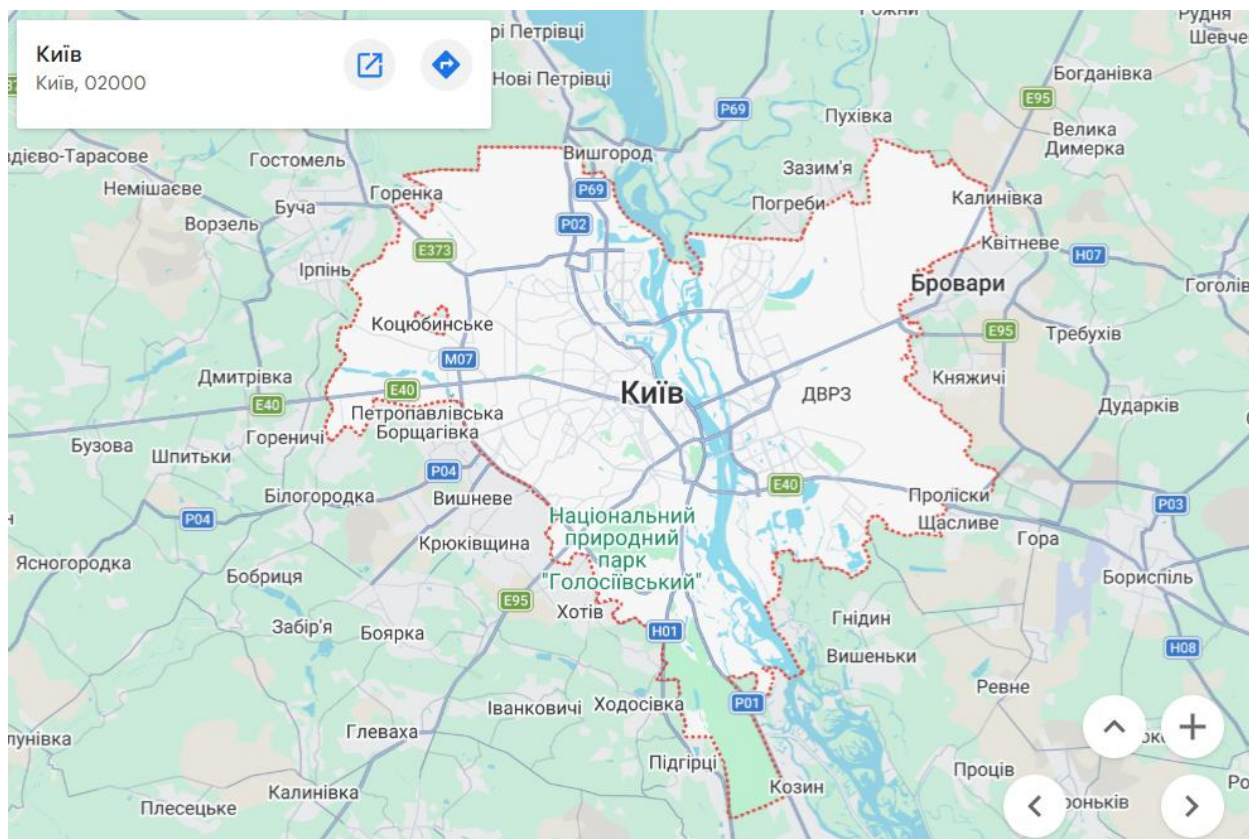


Рис. 3.1. Адміністративна карта міста Києва [32]

Для проведення аналізу ресурсних потоків у роботі використано матеріали офіційної екологічної звітності, зокрема дані «Екологічного паспорта міста Києва за 2024 рік», статистичні матеріали Державної служби статистики України.

Основними показниками аналізу є: загальний забір води; використання свіжої води; втрати води при транспортуванні; обсяги стічних вод; рівень очищення та потенціал повторного використання водних ресурсів.

Першим етапом MFA-аналізу є визначення обсягів ресурсів, що надходять у систему міського водокористування. Основним джерелом водопостачання міста Києва є поверхневі води річки Дніпро та підземні водні ресурси.

У таблиці 3.1 наведено динаміку забору та використання водних ресурсів у місті Києві протягом 2022–2024 рр.

Таблиця 3.1

Динаміка використання водних ресурсів у місті Києві у 2022–2024 рр.

Показник	2022	2023	2024	Абсолютне відхилення 2024/2022	Темп зміни, %
Загальний забір води, млн м ³	511,139	526,298	591,876	+80,737	115,8
Використання свіжої води, млн м ³	452,732	458,943	534,987	+82,255	118,2
Використання води на питні потреби, млн м ³	97,849	101,570	120,810	+22,961	123,5
Використання води на виробничі потреби, млн м ³	354,840	357,290	414,090	+59,250	116,7
Втрати води при транспортуванні, млн м ³	46,818	50,258	49,917	+3,099	106,6

Джерело: складено автором на основі даних екологічних паспортів міста Києва за 2023–2024 рр. [33–34]

Проведений аналіз свідчить про поступове збільшення обсягів водокористування у місті Києві. У 2024 році загальний забір води збільшився на 80,737 млн м³ порівняно з 2022 роком, або на 15,8 %. Одночасно спостерігається зростання використання свіжої води як у виробничому секторі, так і для забезпечення питних потреб населення.

Зростання обсягів споживання води пов'язане з високою концентрацією населення, функціонуванням комунальної інфраструктури та діяльністю підприємств міста. Водночас значні втрати води при транспортуванні свідчать про зношеність систем водопостачання та потребу в модернізації.

Зростання загального забору води на 15,8 % у 2022–2024 рр. перевищує середні темпи зростання водоспоживання у містах ЄС (3–5 % за аналогічні періоди). Це свідчить про підвищене навантаження на водні джерела та інженерну інфраструктуру Києва, а також про відсутність ефективних механізмів стримування споживання води [20].



Рис. 3.2 Динаміка забору та використання води у місті Києві у 2022–2024 рр.

Як видно з рисунка 3.2, упродовж 2022–2024 рр. у місті Києві спостерігалася тенденція до збільшення обсягів забору та використання водних ресурсів. Найбільше зростання зафіксовано у 2024 році, коли загальний забір води досяг 591,876 млн м³, що на 15,8 % більше порівняно з 2022 роком. Аналогічна тенденція спостерігається і щодо використання свіжої води, обсяги якої у 2024 році становили 534,987 млн м³.

Зростання рівня водоспоживання пояснюється високою концентрацією населення, значним навантаженням на житлово-комунальну систему міста, а також потребами виробничого сектору. Водночас суттєвими залишаються втрати води під час транспортування, що свідчить про зношеність частини інженерної інфраструктури та необхідність модернізації водопровідних мереж.

Крім того, результати аналізу демонструють, що збільшення обсягів використання водних ресурсів супроводжується підвищенням навантаження на систему водовідведення та очисні споруди міста. Це підтверджує необхідність впровадження принципів циркулярної економіки у сфері водокористування, зокрема скорочення втрат води, підвищення ефективності очищення стічних вод і розвитку систем повторного використання очищених ресурсів.

Наступним етапом MFA-аналізу є оцінка вихідних потоків, зокрема обсягів стічних вод та рівня їх очищення.

Частка очищених стічних вод визначається за формулою:

$$\text{Treatment Rate} = \frac{\text{Очищені стічні води}}{\text{Загальний обсяг стічних вод}} \times 100\%$$

Таблиця 3.2

Аналіз стічних вод у місті Києві у 2022–2024 рр. [4-6]

Показник	2022	2023	2024	Абсолютне відхилення 2024/2022	Темп зміни, %
Загальний обсяг стічних вод, млн м ³	429,5	435,2	447,8	+18,3	104,3
Очищені стічні води, млн м ³	401,7	409,5	421,6	+19,9	105,0
Недостатньо очищені стоки, млн м ³	27,8	25,7	26,2	-1,6	94,2
Частка очищених стоків, %	93,5	94,1	94,2	+0,7	100,7

Проведені розрахунки свідчать, що у місті Києві переважна частина стічних вод проходить очищення. Проте наявність недостатньо очищених стоків створює додаткове навантаження на водні екосистеми міста.

Частка очищених стічних вод у Києві (94,2 %) відповідає середньому рівню країн ЄС (93–96 %). Водночас частка недостатньо очищених стоків (5,8 %) є вищою, ніж у Гельсінкі (2,1 %) та Копенгагені (1,8 %), що свідчить про потребу модернізації технологічних ліній очищення [20].

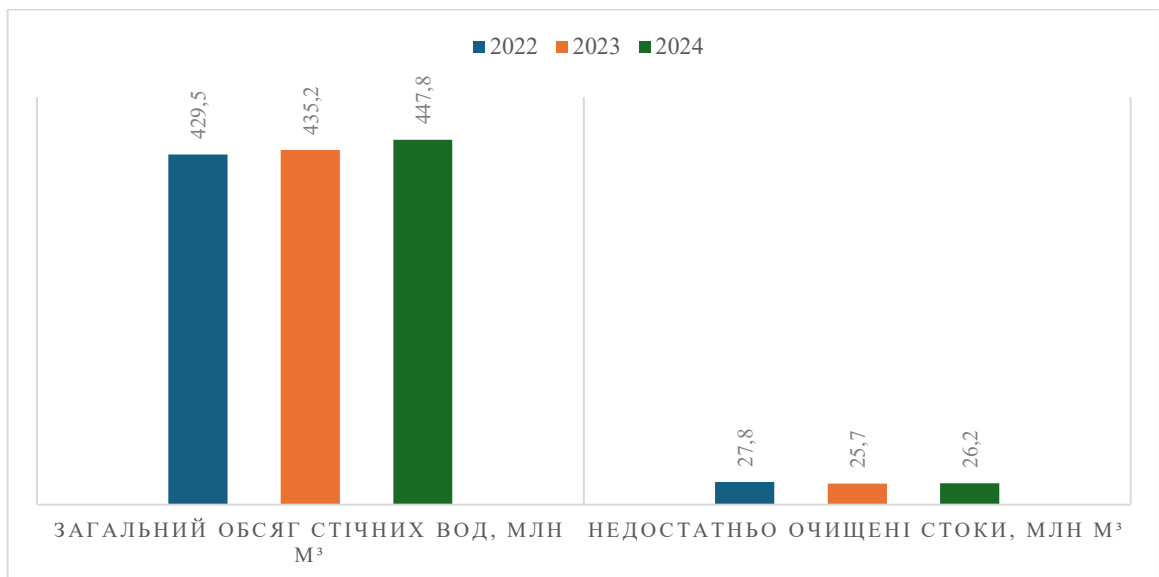


Рис. 3.3. Розподіл стічних вод міста Києва за ступенем очищення у 2024 році

Згідно з даними, наведеними на рисунку 3.3, у структурі стічних вод міста Києва у 2024 році переважну частку становили очищені стічні води. Їх обсяг склав 421,6 млн м³ обсягу стоків. Це свідчить про достатньо високий рівень функціонування системи очищення стічних вод у місті.

Водночас частина стічних вод залишається недостатньо очищеною, що створює додаткове антропогенне навантаження на водні об’єкти та негативно впливає на екологічний стан річки Дніпро й інших водойм міста.

Отримані результати підтверджують, що система водовідведення міста Києва має значний потенціал для розвитку принципів циркулярної економіки. Зокрема, високий рівень очищення стічних вод створює можливості для їх повторного використання у технічних, виробничих та комунальних процесах, що сприятиме скороченню споживання свіжих водних ресурсів та зменшенню навантаження на навколишнє природне середовище.

Одним із ключових елементів моделі MFA є визначення втрат ресурсів у системі. У випадку водних ресурсів основними втратами є втрати під час транспортування води через зношеність мереж.

Розрахунок частки втрат води за формулою

$$\text{Loss Rate} = \frac{\text{Втрати води}}{\text{Загальний забір води}} \times 100\%$$

Таблиця 3.3

Аналіз втрат води у системі водопостачання міста Києва

Показник	2022	2023	2024
Втрати води при транспортуванні, млн м³	46,818	50,258	49,917
Загальний забір води, млн м³	511,139	526,298	591,876
Частка втрат води, %	9,2	9,5	8,4

Джерело: складено автором на основі [33]

Отримані результати демонструють, що втрати води у системі водопостачання залишаються значними. Незважаючи на незначне зниження

частки втрат у 2024 році, проблема зношеності мереж і неефективності системи транспортування води залишається актуальною.

Частка втрат води у Києві (8,4–9,5 %) є вищою за середні показники міст ЄС (5–6 %) та значно перевищує рівень Сінгапуру (4 %). Це вказує на критичну зношеність мереж та необхідність впровадження системи цифрового моніторингу витоків.

Аналіз використання водних ресурсів у місті Києві свідчить про наявність значного потенціалу для впровадження принципів циркулярної економіки у сфері водокористування. Насамперед це пов'язано з можливістю повторного використання очищених стічних вод у виробничих, технічних та комунальних процесах, що дозволить зменшити навантаження на природні джерела водопостачання.

Важливим напрямом підвищення ефективності використання водних ресурсів є також скорочення втрат води під час її транспортування шляхом модернізації водопровідних мереж та впровадження сучасних технологій контролю за їх технічним станом.

Окрім цього, подальше оновлення та вдосконалення очисних споруд сприятиме підвищенню якості очищення стічних вод і розширенню можливостей для їх повторного залучення до господарського обігу.

Перспективним напрямом розвитку є впровадження замкнених циклів водокористування на підприємствах міста, що дозволить суттєво скоротити споживання свіжої води, мінімізувати утворення відходів та забезпечити більш раціональне використання ресурсів відповідно до концепції циркулярної економіки.

Оцінка потенціалу повернення ресурсів у цикл розглянемо в таблиці

3.4

Таблиця 3.4

**Оцінка потенціалу циркулярного використання водних ресурсів
у місті Києві [33-34]**

Показник	2024
Очищені стічні води, млн м ³	421,6
Потенційний обсяг повторного використання, млн м ³	126,5
Частка потенційного повторного використання, %	30,0

Розрахунок потенціалу повторного використання проводиться за формулою:

Reuse Potential

$$= \frac{\text{Потенційний обсяг повторного використання}}{\text{Очищені стічні води}} \times 100\%$$

Для комплексної оцінки ефективності використання водних ресурсів у місті Києві доцільно застосувати метод аналізу матеріальних потоків (Material Flow Analysis, MFA). Цей підхід дозволяє простежити рух водних ресурсів від моменту їх забору з природних джерел до кінцевого використання, очищення та можливого повторного залучення в господарський обіг.

Побудова моделі MFA дає можливість виявити втрати води на різних етапах водогосподарського циклу, оцінити ефективність функціонування систем водопостачання та водовідведення, а також визначити резерви підвищення ресурсної ефективності.

На основі статистичних даних щодо водокористування, втрат води та очищення стічних вод у місті Києві сформовано узагальнену модель матеріальних потоків водних ресурсів за 2024 рік (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Узагальнена модель MFA водних ресурсів міста Києва у 2024 році

Елемент MFA	Показник	Значення
Вхідні потоки	Забір води	591,876 млн м ³
Внутрішні потоки	Використання свіжої води	534,987 млн м ³
Втрати	Втрати води при транспортуванні	49,917 млн м ³
Вихідні потоки	Стічні води	447,8 млн м ³
Очищення	Очищені стічні води	421,6 млн м ³
Потенціал повернення ресурсів	Можливе повторне використання очищених стічних вод	126,5 млн м ³

Джерело: складено автором на основі даних щодо водокористування та водовідведення міста Києва за 2024 рік.

Як свідчать дані табл. 3.5, у 2024 році загальний обсяг забору води в місті Києві становив 591,876 млн м³. При цьому безпосередньо на господарські, виробничі та побутові потреби було використано 534,987 млн м³ свіжої води. Важливим аспектом аналізу є наявність значних втрат води під час транспортування, які склали 49,917 млн м³, або близько 8,4 % від загального обсягу забору води. Це свідчить про необхідність подальшої модернізації водопровідних мереж та впровадження сучасних технологій контролю витоків.

У результаті використання водних ресурсів було утворено 447,8 млн м³ стічних вод, з яких 421,6 млн м³ пройшли очищення. Частка очищених стічних вод перевищує 94 %, що свідчить про достатньо високий рівень функціонування системи водовідведення та очищення стоків. Водночас значний інтерес з позицій циркулярної економіки становить потенціал повторного використання очищених стічних вод, який оцінюється у 126,5 млн м³ на рік. Використання такого ресурсу для технічних потреб, зрошення зелених зон або промислових процесів могло б сприяти скороченню забору природної води та підвищенню рівня замкненості водних потоків у міському господарстві.

Таким чином, результати MFA-аналізу свідчать, що основними напрямками підвищення ресурсної ефективності водного господарства Києва є скорочення втрат під час транспортування води та розширення практик повторного використання очищених стічних вод відповідно до принципів циркулярної економіки.

Отже, проведений MFA-аналіз водних ресурсів міста Києва показав, що система водокористування характеризується значними обсягами споживання води та наявністю втрат у процесі транспортування. Водночас високий рівень очищення стічних вод формує потенціал для впровадження принципів циркулярної економіки шляхом повторного використання очищених водних ресурсів та скорочення ресурсних втрат.

3.2. Розрахунок індексу циркулярності та оцінка ефективності використання ресурсів

Одним із найважливіших завдань циркулярної економіки є забезпечення максимально ефективного використання природних ресурсів та скорочення обсягів відходів шляхом повторного залучення ресурсів у виробничі й господарські процеси. На відміну від традиційної лінійної моделі економіки, яка базується на принципі «взяти - використати - переробити», циркулярна економіка передбачає багаторазове використання ресурсів, мінімізацію втрат та зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище.

У межах даного дослідження оцінка ефективності використання водних ресурсів міста Київ здійснюється на основі розрахунку індексу циркулярності (Circularity Index - CI). Даний показник дозволяє визначити, яка частка ресурсів після використання може бути повернена у повторний цикл та повторно використана в системі міського водокористування.

Розрахунок CI здійснюється на основі співвідношення потенційного обсягу повторного використання до загального обсягу використаної свіжої

води. Для розрахунку індексу циркулярності використовується така формула:

$$CI = \frac{\text{Матеріали, що повертаються в цикл}}{\text{Загальний матеріальний потік}}$$

У даному випадку під ресурсами, що повертаються у цикл, розуміється потенційний обсяг очищених стічних вод, який може бути повторно використаний у технічних, виробничих та комунальних процесах. Загальний матеріальний потік представлений обсягом використання свіжої води у м. Києві. Для проведення аналізу використано дані офіційної екологічної звітності міста Києва за 2024 рік [33]. Оцінка проводилася за двома сценаріями: поточний стан системи водокористування та прогнозований сценарій після впровадження принципів циркулярної економіки.

Поточний стан характеризується значними обсягами споживання свіжої води, високим навантаженням на систему водовідведення та наявністю суттєвих втрат води при транспортуванні. Незважаючи на те, що значна частина стічних вод проходить очищення, потенціал їх повторного використання наразі використовується недостатньо. Водночас сценарій впровадження циркулярної економіки передбачає модернізацію інфраструктури, скорочення втрат у мережах та збільшення частки повторного використання очищених водних ресурсів. Результати наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Розрахунок індексу циркулярності водних ресурсів міста Києва

Показник	Поточний стан (2024 р.)	Сценарій після впровадження СЕ
Використання свіжої води, млн м³	534,987	480,000
Очищені стічні води, млн м³	421,6	430,0
Потенційний обсяг повторного використання води, млн м³	126,5	215,0
Втрати води при транспортуванні, млн м³	49,917	25,000
Частка втрат води, %	8,4	5,2
Індекс циркулярності (CI)	0,24	0,45

Джерело: розраховано автором на основі даних екологічного паспорта міста Києва за 2024 рік.[33-34]

Для оцінки рівня циркулярності водокористування в місті Києві доцільно здійснити порівняння отриманого значення індексу циркулярності водної системи (Circularity Index, CI) з аналогічними показниками провідних міст світу. Таке порівняння дозволяє визначити позицію Києва щодо впровадження принципів циркулярної економіки у сфері управління водними ресурсами та оцінити потенціал подальшого вдосконалення міської водогосподарської системи.

Для порівняльного аналізу було обрано міста, які вважаються міжнародними лідерами у сфері циркулярного водокористування та активно впроваджують технології повторного використання очищених стічних вод, ресурсозбереження та замкнених водних циклів. Результати порівняння наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Порівняння індексу циркулярності водних систем у містах світу

Місто	Індекс циркулярності (CI)
Сінгапур	0,65
Копенгаген	0,52
Гельсінкі	0,48
Амстердам	0,46
Цюрих	0,44
Токіо	0,41
Відень	0,38
Київ	0,24

Джерело: складено автором на основі міжнародних звітів щодо циркулярного водокористування та розрахунків за даними Екологічного паспорта міста Києва за 2024 рік.

Як видно з даних табл. 3.7, найвищий рівень циркулярності водних систем демонструє Сінгапур, де значення індексу CI становить 0,65. Високі показники також характерні для Копенгагена, Гельсінкі, Амстердама та Цюриха, що свідчить про широке впровадження технологій очищення та

повторного використання водних ресурсів, а також ефективне управління водогосподарською інфраструктурою. Для більшості досліджуваних європейських міст значення індексу перевищує 0,40, що відповідає високому рівню замкненості водних потоків.

Розраховане значення індексу циркулярності для міста Києва становить 0,24, що є найнижчим показником серед досліджуваних міст. Порівняно із Сінгапуром рівень циркулярності водної системи Києва є нижчим майже у 2,7 рази, а порівняно з Копенгагеном - більш ніж удвічі. Така різниця свідчить про недостатній рівень повторного використання очищених стічних вод та обмежене впровадження циркулярних підходів у системі водокористування столиці.

Водночас отримані результати вказують на значний потенціал підвищення ресурсної ефективності водного господарства Києва. Розширення практик повторного використання очищених стічних вод, модернізація очисних споруд, скорочення втрат під час транспортування води та впровадження сучасних технологій моніторингу водних потоків можуть суттєво підвищити рівень циркулярності міської водної системи та наблизити його до показників провідних світових міст.

Проведені розрахунки свідчать про те, що в сучасних умовах система водокористування міста Києва характеризується порівняно невисоким рівнем циркулярності. Значення індексу циркулярності на рівні 0,24 означає, що лише близько 24 % ресурсного потоку потенційно може бути повернуто у повторний цикл використання. Такий показник свідчить про домінування традиційної лінійної моделі використання ресурсів, за якої основна частина водних ресурсів після використання фактично вибуває із господарського обігу.

Водночас результати моделювання демонструють, що впровадження принципів циркулярної економіки дозволяє суттєво підвищити ефективність використання ресурсів. За умов модернізації очисних споруд, розвитку систем повторного використання очищених стічних вод та

скорочення втрат у мережах індекс циркулярності може зрости до 0,45. Це майже вдвічі перевищує поточний показник і свідчить про значний потенціал розвитку циркулярних підходів у сфері водокористування міста Києва.

Для більш глибокої оцінки стійкості та адаптивності системи водокористування міста Києва до впровадження циркулярних підходів доцільно провести аналіз чутливості індексу циркулярності (CI). Такий аналіз дозволяє визначити, які саме параметри системи мають найбільший вплив на зміну CI, а також оцінити потенційний ефект від їх коригування.

У межах дослідження було змодельовано три типові сценарії зміни ключових параметрів системи водокористування:

- зменшення втрат води,
- збільшення обсягу повторного використання очищених стічних вод,
- зменшення споживання свіжої води.

Інтервали зміни параметрів (1 %, 10 %, 5 % відповідно) обрано як стандартні кроки сценарного моделювання, рекомендовані методикою IWA (International Water Association, 2022) для проведення sensitivity analysis у міських водних системах.

Розмір впливу на CI визначався шляхом перерахунку індексу за базовою формулою:

$$CI = R/F$$

де R - потенційний обсяг повторного використання,

F - обсяг використаної свіжої води.

У випадку зменшення втрат води додатковий обсяг ресурсів, що не вибуває із системи, частково (30 %) вважається таким, що може бути очищений і повторно використаний, що відповідає середнім показникам міських систем за даними IWA.

Результати аналізу наведено у таблиці 3.8

Таблиця 3.8

Аналіз чутливості індексу циркулярності водних ресурсів міста Києва

Сценарій зміни параметра	Вихідні дані	Розрахунок нового значення	Новий СІ	Зміна СІ
1. Зменшення втрат води на 1%	Втрати = 49,917 млн м ³ ; 1% = 0,499 млн м ³	Додаткова вода, що не втрачена: 0,499 млн м ³ . Приймаємо, що 30% цієї води може бути очищено та повторно використано (методика IWA): $0,499 \times 0,30 = 0,15$ млн м ³ . Новий R = 126,5 + 0,15 = 126,65 млн м ³ . F без змін = 534,987 млн м ³ .	$CI = 126,65 / 534,987 \approx 0,243$	+0,02
2. Збільшення повторного використання на 10%	Базовий R = 126,5 млн м ³	Новий R = 126,5 $\times 1,10 = 139,15$ млн м ³ . F без змін = 534,987 млн м ³ .	$CI = 139,15 / 534,987 \approx 0,26$	+0,05
3. Зменшення споживання свіжої води на 5%	Базовий F = 534,987 млн м ³	Новий F = $534,987 \times 0,95 = 508,237$ млн м ³ . R без змін = 126,5 млн м ³ .	$CI = 126,5 / 508,237 \approx 0,24G$	+0,03

Примітка: Аналіз чутливості виконано автором на основі даних міста Києва за 2024 рік. Зміна СІ розрахована шляхом перерахунку індексу за формулою $CI = R/F$ після варіації одного параметра. Використання коефіцієнта 30% для додаткового повторного використання води при зменшенні втрат відповідає рекомендаціям International Water Association (IWA, 2022) для міських систем водокористування.

Важливим результатом впровадження циркулярної економіки є скорочення використання свіжої води. Згідно з проведеними розрахунками, обсяг використання свіжої води може зменшитися з 534,987 млн м³ до 480 млн м³ на рік. Це дозволить знизити навантаження на природні водні

ресурси та сприятиме більш раціональному використанню води в умовах зростання антропогенного навантаження на екосистеми міста.

Окремої уваги потребує проблема втрат води під час транспортування. На сьогодні значні обсяги водних ресурсів втрачаються через зношеність водопровідних мереж та недосконалість систем водопостачання. У результаті впровадження заходів із модернізації інженерної інфраструктури прогнозується скорочення втрат води майже вдвічі - з 49,917 млн м³ до 25 млн м³. Це дозволить не лише зменшити нераціональне використання ресурсів, але й підвищити ефективність функціонування всієї міської системи водопостачання.

Позитивний ефект від впровадження принципів циркулярної економіки проявляється також у зменшенні негативного впливу на навколишнє природне середовище. Збільшення частки повторного використання очищених стічних вод сприятиме скороченню обсягів скидання стоків у водні об'єкти та зниженню рівня забруднення річки Дніпро та інших водойм міста. Крім того, скорочення обсягів забору води та зменшення втрат у мережах дозволить знизити енергетичні витрати, пов'язані з очищенням і транспортуванням води.

На рисунку 3.4 наведено порівняння індексу циркулярності системи водокористування міста Києва у поточному стані та після впровадження принципів циркулярної економіки.

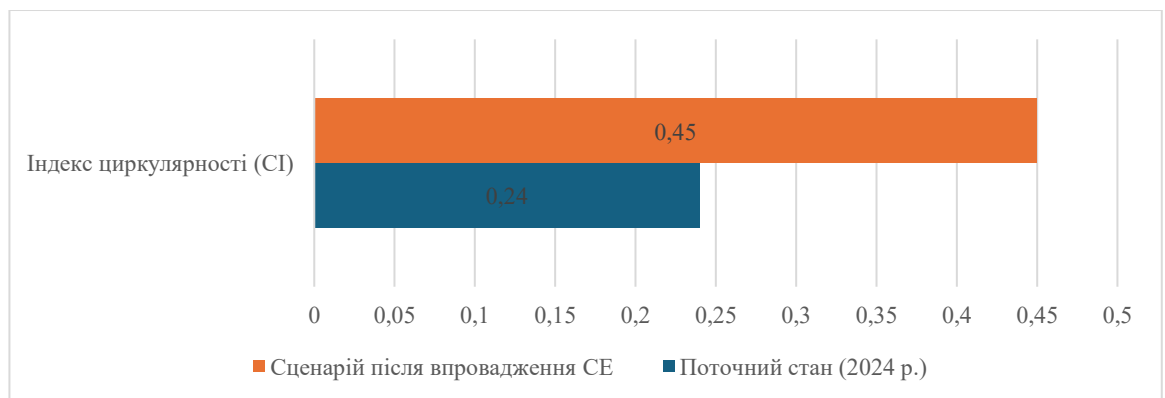


Рис. 3.4. Порівняння індексу циркулярності системи водокористування міста Києва

Представлена діаграма наочно демонструє суттєве зростання рівня циркулярності системи водокористування після впровадження СЕ-підходів. Якщо в поточному стані значення індексу циркулярності становить лише 0,24, то після реалізації заходів із модернізації системи водокористування показник може зрости до 0,45. Це свідчить про підвищення рівня повторного використання ресурсів та скорочення залежності міста від використання свіжої води.

Отже, проведений аналіз показав, що впровадження принципів циркулярної економіки у сфері водокористування міста Києва має значний потенціал та може забезпечити суттєве підвищення ефективності використання ресурсів. Основними перевагами впровадження циркулярних підходів є скорочення споживання свіжої води, зменшення втрат ресурсів, підвищення рівня повторного використання очищених стічних вод та зниження негативного впливу на навколишнє природне середовище. У перспективі реалізація таких заходів сприятиме формуванню більш стійкої та ресурсоефективної системи міського водокористування відповідно до сучасних принципів сталого розвитку.

3.3. Напрями впровадження циркулярної економіки у водному секторі міста Києва

Результати проведеного аналізу матеріальних потоків водних ресурсів міста Києва за методологією Material Flow Analysis (MFA), а також розрахунок індексу циркулярності водної системи (Circularity Index, CI) дозволили оцінити ефективність використання водних ресурсів та визначити основні резерви підвищення рівня циркулярності міського водного господарства. Отримані результати свідчать, що, незважаючи на високий рівень очищення стічних вод, який у 2024 році становив 94,2 %, система водокористування Києва все ще характеризується значними

втратами води під час транспортування та недостатнім рівнем повторного використання очищених стічних вод.

Проведений аналіз показав, що найбільший потенціал підвищення циркулярності пов'язаний із повторним використанням очищених стоків, скороченням втрат у водопровідних мережах та модернізацією існуючої інфраструктури водопостачання і водовідведення. Враховуючи отримані результати, доцільно визначити комплекс взаємопов'язаних заходів, спрямованих на формування більш замкненої та ресурсоефективної системи управління водними ресурсами міста.

Одним із пріоритетних напрямів є скорочення втрат води у системі водопостачання. Як показав аналіз чутливості індексу циркулярності, навіть незначне зменшення втрат позитивно впливає на ефективність функціонування всієї системи. Станом на 2024 рік втрати води під час транспортування становили 8,4 % загального обсягу забору води, що перевищує показники більшості європейських міст. Для вирішення цієї проблеми доцільним є впровадження сучасних цифрових систем виявлення витоків, використання датчиків контролю тиску та витрати води, створення геоінформаційних карт аварійних ділянок мереж, а також поетапна заміна найбільш зношених трубопроводів. Реалізація зазначених заходів дозволить знизити втрати до рівня 5–6 %, характерного для розвинених міських водопровідних систем Європи.

Не менш важливим напрямом є розвиток систем повторного використання очищених стічних вод. Проведений MFA-аналіз показав, що з 421,6 млн м³ очищених стічних вод близько 126,5 млн м³ можуть бути використані повторно без додаткового навантаження на природні водні ресурси. Результати сценарного моделювання засвідчили, що саме збільшення обсягів повторного використання води забезпечує найбільший позитивний вплив на індекс циркулярності. Очищені стічні води можуть використовуватися для технічного водопостачання промислових підприємств, поливу зелених насаджень, виконання будівельних та

комунальних робіт, а також у локальних системах оборотного водокористування. Такий підхід дозволить скоротити споживання свіжої води та зменшити навантаження на джерела водозабору.

Важливу роль у формуванні циркулярної моделі водокористування відіграє впровадження замкнених циклів використання води на промислових підприємствах. Значна частина водних ресурсів у місті використовується виробничим сектором, тому застосування оборотних систем водопостачання, локальних очисних споруд та мембранних технологій дасть можливість багаторазово використовувати технологічну воду. Це сприятиме скороченню забору свіжої води, зменшенню обсягів стічних вод та зниженню навантаження на міські очисні споруди.

Окремої уваги потребує модернізація існуючих очисних споруд. Незважаючи на високий рівень очищення стоків, у 2024 році близько 5,8 % стічних вод залишалися недостатньо очищеними. Для підвищення якості очищення та збільшення обсягів води, придатної до повторного використання, необхідним є впровадження сучасних технологічних рішень, зокрема мембранних біореакторів, енергоефективних систем аерації, автоматизованого управління технологічними процесами та біологічного доочищення стічних вод. Такі заходи сприятимуть не лише покращенню екологічного стану водних об'єктів, але й підвищенню ресурсної цінності очищених стоків.

Перспективним напрямом є також ширше використання дощових вод. У багатьох європейських містах системи збору та накопичення атмосферних опадів вже стали важливим елементом циркулярного водокористування. Для Києва доцільним є впровадження резервуарів для збору дощової води у житлових комплексах, використання таких ресурсів для поливу зелених зон та технічних потреб, а також розвиток інфраструктури зелених дахів і систем утримання поверхневого стоку. Це дозволить частково замінити використання питної води для господарських потреб та зменшити навантаження на міську систему водовідведення.

Важливим інструментом підвищення ефективності управління водними ресурсами є цифровізація водного господарства. Використання сучасних інформаційних технологій забезпечує можливість оперативного контролю за станом мереж, якістю води та обсягами її споживання. Впровадження цифрових паспортів водних потоків, систем SCADA, засобів онлайн-моніторингу та інструментів прогнозування аварійних ситуацій дозволить підвищити прозорість управління водними ресурсами та мінімізувати втрати.

Ефективна реалізація зазначених технічних рішень неможлива без належного інституційного забезпечення. Перехід до циркулярної моделі водокористування потребує удосконалення нормативно-правової бази, створення економічних стимулів для підприємств щодо повторного використання води, розвитку партнерства між органами місцевого самоврядування, комунальними підприємствами та бізнесом, а також впровадження тарифних механізмів, які заохочуватимуть ресурсозберігаючу поведінку споживачів [36].

Для оцінки потенційної результативності запропонованих заходів було проведено аналіз чутливості індексу циркулярності. Розрахунки виконано на основі даних MFA та показників функціонування водного сектору міста Києва за 2024 рік. Моделювання показало, що найбільший ефект може бути досягнутий завдяки збільшенню обсягів повторного використання очищених стічних вод. Водночас суттєвий позитивний вплив забезпечують скорочення втрат у мережах водопостачання та впровадження замкнених циклів водокористування на підприємствах.

Узагальнені результати оцінки очікуваного впливу запропонованих заходів наведено в табл. 3.9.

Таблиця 3.9

**Очікуваний вплив запропонованих заходів на систему
водокористування міста Києва**

№	Напрямок впровадження	Очікуваний результат	Орієнтовний вплив на індекс циркулярності (CI)
1	Скорочення втрат води у системі водопостачання	Зменшення втрат води до 5–6 %	+0,02 за кожен 1 % скорочення втрат
2	Розвиток повторного використання очищених стічних вод	Збільшення обсягів повторного використання на 10–20 %	+0,05...+0,10
3	Впровадження замкнених циклів водокористування на підприємствах	Скорочення споживання свіжої води та обсягів скидання стічних вод	+0,03
4	Модернізація очисних споруд	Зменшення частки недостатньо очищених стічних вод до рівня менше 2 %	+0,01...+0,02
5	Використання дощової води	Заміщення 5–7 % технічного водоспоживання	+0,01
6	Цифровізація системи водокористування	Скорочення аварійності, витоків та підвищення ефективності управління	Непрямий позитивний ефект

Джерело: складено автором на основі результатів MFA-аналізу, розрахунків індексу циркулярності (CI) та сценарного моделювання за даними водогосподарської системи м. Києва за 2024 рік.

Аналіз даних табл. 3.9 свідчить, що найбільший вплив на підвищення рівня циркулярності водної системи Києва має розвиток повторного використання очищених стічних вод. Відповідно до результатів сценарного моделювання, збільшення обсягів повторного використання на 10–20 % здатне забезпечити приріст індексу циркулярності на 0,05–0,10 пункту. Це підтверджує, що саме повернення очищеної води до господарського обігу є найбільш ефективним інструментом підвищення ресурсної ефективності водного сектору.

Важливе значення також має скорочення втрат води під час транспортування. Проведені розрахунки показали, що зменшення втрат на кожен відсотковий пункт може забезпечити додаткове зростання індексу

циркулярності приблизно на 0,02. З огляду на те, що сучасний рівень втрат у Києві перевищує показники більшості європейських міст, модернізація водопровідних мереж залишається одним із пріоритетних напрямів підвищення ефективності системи водопостачання.

Позитивний ефект очікується також від впровадження замкнених циклів водокористування на підприємствах та модернізації очисних споруд. Використання сучасних технологій очищення дозволить не лише покращити якість очищених стічних вод, але й розширити можливості їх повторного використання. Водночас розвиток систем збору дощової води та цифровізація управління водними ресурсами формуватимуть додаткові умови для переходу до циркулярної моделі водокористування.

Разом із тим впровадження циркулярних підходів у водному секторі супроводжується низкою обмежень і викликів. Однією з основних проблем залишається недостатня інвестиційна спроможність комунальних підприємств, яка ускладнює реалізацію масштабних проєктів модернізації інфраструктури. Додатковими бар'єрами є значний ступінь фізичного зношення водопровідних та каналізаційних мереж, недосконалість нормативно-правового забезпечення повторного використання очищених стічних вод, недостатній рівень цифровізації управлінських процесів та обмежена мотивація суб'єктів господарювання до впровадження ресурсозберігаючих технологій [37].

Подолання зазначених бар'єрів потребує комплексного підходу, який поєднуватиме вдосконалення державної політики у сфері управління водними ресурсами, розширення доступу до фінансових ресурсів, розвиток механізмів державно-приватного партнерства та активне залучення міжнародної технічної допомоги. Важливим завданням також є формування сприятливого інвестиційного середовища для реалізації проєктів циркулярної економіки у водному секторі.

На основі результатів аналізу матеріальних потоків водних ресурсів, розрахунку індексу циркулярності та проведеного сценарного моделювання

було сформовано орієнтовні цільові показники розвитку системи водокористування міста Києва до 2030 року. Їх визначення базується на поточних характеристиках функціонування водного господарства столиці та враховує практики європейських міст, які успішно впроваджують принципи циркулярної економіки.

За умови комплексної реалізації запропонованих заходів втрати води під час транспортування можуть бути скорочені до 5 %, що відповідатиме середньоєвропейському рівню. Частка повторного використання очищених стічних вод потенційно може зрости до 40–45 %, що дозволить значно зменшити потребу у заборі свіжої води з природних джерел. Внаслідок цього навантаження на водозабір може скоротитися на 15–20 %, а обсяги використання природних ресурсів стануть більш збалансованими.

Важливим результатом реалізації циркулярних заходів може стати підвищення індексу циркулярності водної системи Києва з поточного рівня 0,24 до 0,40–0,45. Досягнення такого показника дозволить наблизити місто до сучасних європейських стандартів управління водними ресурсами та створить передумови для формування більш стійкої та ресурсоефективної міської інфраструктури.

Крім того, модернізація очисних споруд забезпечить скорочення частки недостатньо очищених стічних вод до рівня менше 2 %, що позитивно вплине на екологічний стан водних об'єктів та підвищить можливості повторного використання очищеної води. Одночасно впровадження сучасних технологій очищення та автоматизованих систем управління сприятиме підвищенню енергоефективності водогосподарського комплексу міста.

Таким чином, результати проведеного дослідження свідчать, що впровадження принципів циркулярної економіки у водному секторі міста Києва має значний потенціал для підвищення ресурсної ефективності, зменшення екологічного навантаження та забезпечення більш раціонального використання водних ресурсів. Запропоновані заходи

формують основу для поступового переходу від традиційної лінійної моделі водокористування до циркулярної системи, орієнтованої на максимальне збереження та повторне використання ресурсів.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було здійснено практичну оцінку ефективності використання водних ресурсів міста Києва в контексті впровадження принципів циркулярної економіки. Для дослідження застосовано метод аналізу матеріальних потоків (Material Flow Analysis, MFA), що дозволив визначити основні вхідні, внутрішні та вихідні потоки водних ресурсів, оцінити рівень втрат і потенціал повернення ресурсів у господарський обіг.

Результати MFA-аналізу показали, що у 2024 році загальний забір води в місті Києві становив 591,876 млн м³, а використання свіжої води – 534,987 млн м³. При цьому втрати води під час транспортування досягли 49,917 млн м³, або 8,4 % від загального обсягу водозабору. Незважаючи на певне зниження частки втрат порівняно з попередніми роками, їх рівень залишається вищим за середньоєвропейські показники, що свідчить про необхідність модернізації водопровідної інфраструктури.

Аналіз вихідних потоків засвідчив, що обсяг стічних вод у 2024 році становив 447,8 млн м³, з яких 421,6 млн м³ були очищені. Частка очищених стічних вод досягла 94,2 %, що характеризує достатньо високий рівень функціонування системи водовідведення та очищення стоків. Водночас наявність недостатньо очищених стічних вод потребує подальшого вдосконалення технологій очищення для зменшення екологічного навантаження на водні об'єкти міста.

На основі отриманих даних було оцінено потенціал циркулярного використання водних ресурсів. Встановлено, що близько 126,5 млн м³ очищених стічних вод можуть бути повторно використані у виробничих, технічних та комунальних процесах. Це підтверджує наявність значного

резерву для скорочення споживання свіжої води та підвищення рівня замкненості водних потоків у міському господарстві.

Розрахунок індексу циркулярності (Circularity Index, CI) показав, що у поточному стані рівень циркулярності водної системи Києва становить 0,24. Порівняння з провідними містами світу засвідчило, що цей показник є нижчим за аналогічні значення у Сінгапурі, Копенгагені, Гельсінкі, Амстердамі та інших містах, що свідчить про недостатній рівень повторного використання водних ресурсів та переважання лінійної моделі водокористування.

Проведене сценарне моделювання підтвердило, що впровадження принципів циркулярної економіки дозволить суттєво підвищити ефективність використання водних ресурсів. За умови скорочення втрат у мережах, розвитку повторного використання очищених стічних вод та впровадження замкнених циклів водокористування індекс циркулярності може зрости до 0,45, тобто майже вдвічі порівняно з поточним рівнем.

Аналіз чутливості індексу циркулярності показав, що найбільший вплив на його зростання має збільшення обсягів повторного використання очищених стічних вод. Також суттєвий позитивний ефект забезпечують скорочення втрат води під час транспортування та зменшення споживання свіжої води завдяки впровадженню ресурсозберігаючих технологій.

За результатами дослідження обґрунтовано основні напрями впровадження циркулярної економіки у водному секторі міста Києва, серед яких: модернізація водопровідних мереж і очисних споруд, розвиток систем повторного використання очищених стічних вод, впровадження замкнених циклів водокористування на підприємствах, використання дощових вод, цифровізація управління водними ресурсами та вдосконалення нормативно-правового забезпечення циркулярних практик.

Таким чином, проведене дослідження підтвердило, що водний сектор міста Києва має значний потенціал для переходу до циркулярної моделі господарювання. Реалізація запропонованих заходів сприятиме

підвищенню ресурсної ефективності, скороченню втрат води, зменшенню екологічного навантаження на водні екосистеми та формуванню більш стійкої системи управління водними ресурсами відповідно до принципів сталого розвитку та циркулярної економіки.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження було розкрито теоретичні та практичні аспекти розвитку циркулярної економіки як інструменту підвищення ефективності використання ресурсів, а також здійснено аналіз сучасного стану ресурсокористування в Україні та міжнародного досвіду впровадження принципів циркулярності.

У ході дослідження встановлено, що циркулярна економіка є сучасною моделлю господарювання, яка спрямована на забезпечення замкненого циклу використання ресурсів, мінімізацію відходів та підвищення рівня ресурсоефективності. На відміну від традиційної лінійної моделі економіки, циркулярна система базується на принципах повторного використання, ремонту, модернізації та переробки продукції, що дозволяє максимально довго зберігати економічну цінність ресурсів у виробничому процесі. Доведено, що розвиток циркулярної економіки є важливою передумовою забезпечення сталого розвитку, екологічної безпеки та підвищення конкурентоспроможності економіки.

У роботі проаналізовано основні концептуальні підходи до формування циркулярної економіки та встановлено, що найбільш поширеними моделями є системи 3R, 5R та 9R, а також моделі повторного використання продукції, сервісної економіки, зворотної логістики та промислового симбіозу. Визначено, що ефективне функціонування циркулярної економіки потребує інтеграції технічного та біологічного циклів використання ресурсів, розвитку екодизайну та впровадження інноваційних технологій переробки й ресурсозбереження.

Дослідження міжнародного досвіду показало, що країни Європейського Союзу активно впроваджують принципи циркулярної економіки через систему нормативно-правового регулювання, розвиток екологічних інновацій та державну підтримку циркулярних бізнес-моделей.

Встановлено, що найбільш ефективними у сфері розвитку циркулярної економіки є Нідерланди, Німеччина та Фінляндія, де функціонують сучасні системи управління відходами, високий рівень переробки ресурсів та розвинена інфраструктура повторного використання матеріалів.

У процесі аналізу нормативно-правового забезпечення встановлено, що в Україні поступово формується система регулювання у сфері циркулярної економіки та управління відходами. Важливими кроками у цьому напрямі стали ухвалення Національної стратегії управління відходами до 2030 року та Закону України «Про управління відходами». Водночас визначено, що розвиток циркулярної економіки в Україні стримується недостатнім рівнем інвестицій, нерозвиненістю інфраструктури переробки, технологічними обмеженнями та недостатньою інтеграцією циркулярних принципів у практику господарювання.

У ході дослідження сучасного стану використання ресурсів в Україні встановлено, що національна економіка характеризується високою ресурсоемністю виробництва та значною залежністю від первинної сировини. Аналіз статистичних даних засвідчив переважання лінійної моделі використання ресурсів, хоча останніми роками спостерігаються позитивні тенденції щодо розвитку переробки та відновлення матеріальних потоків.

У роботі досліджено основні методи оцінювання ефективності використання ресурсів на засадах циркулярності. Визначено, що найбільш інформативними інструментами є аналіз матеріальних потоків (MFA), оцінка життєвого циклу продукції (LCA) та індекс циркулярності (CI). Доведено, що їх комплексне застосування дозволяє оцінити рівень замкненості ресурсних потоків, визначити втрати ресурсів та обґрунтувати напрями підвищення ресурсної ефективності.

Практична частина дослідження була присвячена оцінці ефективності використання водних ресурсів міста Києва як прикладу впровадження принципів циркулярної економіки у міському господарстві. За допомогою

методології Material Flow Analysis проведено аналіз водних потоків міста та встановлено, що у 2024 році загальний забір води становив 591,876 млн м³, використання свіжої води — 534,987 млн м³, а втрати під час транспортування — 49,917 млн м³. Водночас частка очищених стічних вод досягла 94,2 %, що свідчить про достатньо високий рівень функціонування системи водовідведення.

У результаті MFA-аналізу визначено значний потенціал повторного використання очищених стічних вод, який оцінено у 126,5 млн м³ на рік. Це підтверджує наявність вагомих резервів для скорочення забору природної води та підвищення рівня замкненості ресурсних потоків відповідно до принципів циркулярної економіки.

Розрахунок індексу циркулярності водної системи міста Києва показав, що його поточне значення становить 0,24, що є нижчим за аналогічні показники провідних міст світу. Разом із тим результати сценарного моделювання засвідчили, що за умов впровадження комплексу циркулярних заходів індекс циркулярності може зрости до 0,45, тобто майже вдвічі перевищити сучасний рівень.

Проведений аналіз чутливості дозволив встановити, що найбільший вплив на підвищення рівня циркулярності має розвиток систем повторного використання очищених стічних вод. Важливими факторами також є скорочення втрат у мережах водопостачання, модернізація очисних споруд, впровадження замкнених циклів водокористування на підприємствах та використання дощових вод.

За результатами дослідження обґрунтовано низку практичних рекомендацій щодо підвищення ефективності використання ресурсів на засадах циркулярної економіки. Зокрема, доцільним є розвиток сучасної інфраструктури сортування та переробки відходів, стимулювання впровадження ресурсоефективних технологій, підтримка циркулярних бізнес-моделей, удосконалення системи державного регулювання, залучення інвестицій у сферу екологічних інновацій, а також розвиток

систем повторного використання водних ресурсів і модернізація водогосподарської інфраструктури.

Таким чином, результати проведеного дослідження підтверджують, що циркулярна економіка є ефективним інструментом підвищення ресурсної ефективності, скорочення втрат ресурсів та зменшення екологічного навантаження на навколишнє середовище. Практичні результати, отримані на прикладі водного сектору міста Києва, доводять, що впровадження принципів циркулярної економіки створює реальні можливості для підвищення ефективності використання ресурсів, розвитку сталої міської інфраструктури та досягнення цілей сталого розвитку. Для України перехід до циркулярної моделі господарювання є важливим стратегічним напрямом модернізації економіки, підвищення її конкурентоспроможності та наближення до європейських стандартів управління ресурсами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Trushkina N. Circular Economics: Concept Formation, Evolution of Development, Barriers, Problems and Prospects. *Herald of the Economic Sciences of Ukraine*. 2021. No. 1(40). P. 9–20. URL: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.1\(40\).9-20](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.1(40).9-20)
2. Мішенин, Є.В., Коблянська, І.І., Перспективи та механізми розвитку циркулярної економіки в глобальному середовищі. Маркетинг та управління інноваціями. 2017. 2, с. 339–343. (Українською мовою)
3. Черевко Г. Циркулярна економіка: еволюція концепції. Аграрна економіка. 2022. Т. 15, № 3-4. С. 51–58. URL: <https://doi.org/10.31734/agrarecon2022.03-04.051>
4. Циркулярна економіка: як новий спосіб господарювання в умовах цифрової трансформації. Колективна монографія. За науковою ред. к.е.н., доц. Татомир І.Л., к.е.н., доц. Квасній Л.Г. Трускавець: ПОСВІТ, 2021, 124 с.
5. Галак І.І. Замкнений ланцюг поставок: інструмент забезпечення сталого розвитку сучасного підприємства. Підприємництво в аграрному секторі: глобальні виклики та ефективне управління в рамках 20-ї агропромислової виставки «АгроТехСервіс – 2021» Запорізької торгово-промислової палати. Запоріжжя, 166–169.
6. Миценко, І.М. та Хаджинов, І.В., Концепції циркулярних бізнес-моделей ключових європейських компаній. Економіка та управління організацією. 2022 1 (45), с. 25–38 (українською мовою).
7. Ковтун Т. А. Впровадження принципів циркулярної економіки для досягнення цілей сталого розвитку. Розвиток методів управління та господарювання на транспорті: зб. наук. праць. Одеса: ОНМУ 2020. № 3 (72). С. 22-42. DOI: 10.31375/2226-1915-2020-3-22-42.

8. Зварич І. Глобальна циркулярна економіка як засіб побудови нового екологічно стійкого суспільства. *Світ фінансів*. 2016. Вип. 4 (49). С. 148-155.

9. Модель циркулярної економіки. *Дія Бізнес*. URL: https://business.diiia.gov.ua/entrepreneur-handbook/item/model_cirkulyarnoyi_ekonomiki

10. Kovtun T., Krupska O. Implementation of business models of circular economy –a path to achieving sustainable development goals. *Development of management and entrepreneurship methods on transport (ONMU)*. 2025. Vol. 91, no. 2. P. 117–134. URL: <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2025-2-117-134> (date of access: 08.05.2026).

11. Діаграма метелика: візуалізація циркулярної економіки. *EMF Portal*.

URL: https://content.ellenmacarthurfoundation.org/m/49c4d7d7545f580a/original/Circular-economy-butterfly-diagram.png?_gl=1*1fboshn*_up*MQ..*_ga*MTAyNjU3NzIzMj4xNzgwOTM0NjU1*_ga_V32N675KJX*czE3ODA5MzQ2NTQkbzEkZzEkdDE3ODA5MzQ2NTQkajYwJGwwJGgw (дата звернення: 08.06.2026).

12. Руда М. В. Мирка. Циркулярні бізнес-моделі в Україні. *Чорноморський національний університет імені Петра Могили*. URL: https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/10/11_-Ruda-M.-V..pdf

13. Циркулярна економіка. план дій circular economy action plan (ceap). *United Nations Development Programme*. URL: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-08/2%20FINAL_Tree_Circular_economy_action_plan_297x210mm_4+4_web_180822.pdf (дата звернення: 08.06.2026).

14. Майбутнє циркулярної економіки у Європі. *ZARE - Die Initiative für zertifizierte Altreifenentsorger*. URL: <https://zertifizierte-altreifenentsorger.de/uk/зазвичай/Стійке-забезпечення-майбутнього-зрілої-циркулярної-економіки-в-Європі/> (дата звернення: 07.05.2026).

15. Європейський Зелений Курс. *Представництво України при Європейському Союзі*. URL: <https://ukraine-eu.mfa.gov.ua/posolstvo/galuzeve-spivrobitnictvo/klimat-yevropejska-zelena-ugoda>.

16. Директива 2008/98/ЄС про відходи. *Компас . Основні акти ЄС у сфері довкілля та зміни клімату*. URL: <https://compass27.info/dyrektyva-2008-98-yes-pro-vidhody/> (дата звернення: 07.05.2026).

17. Івченко О. Суть Європейського зеленого курсу EU Green Deal та його вплив на бізнес | Бізнес. *Останні новини бізнесу України*. URL: https://biz.ligazakon.net/analitycs/239683_sut-vropeyskogo-zelenogo-kursu-eu-green-deal-ta-yogo-vpliv-na-bznes (дата звернення: 07.05.2026).

18. Циркулярна економіка. план дій circular economy action plan (ceap). *United Nations Development Programme*. URL: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-08/2%20FINAL_Tree_Circular_economy_action_plan_297x210mm_4+4_web_18_0822.pdf

19. Утворення та поводження з відходами (1995-2024). *Відділ статистики*. URL: <http://www.kyiv.ukrstat.gov.ua/p.php3?c=3488&lang=1>

20. Ціль сталого розвитку 11 – Сталий розвиток міст та громад. *European Commission*. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=SDG_11_Sustainable_cities_and_communities (дата звернення: 08.06.2026).

21. Eurostat. Municipal waste statistics. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics (ec.europa.eu in Bing)

22. Eurostat. Waste statistics. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics (ec.europa.eu in Bing)

23. Directive 2008/G8/EC of the European Parliament and of the Council on waste. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098> (eur-lex.europa.eu in Bing)
24. UNEP International Resource Panel. Global Material Flows Database. Available at: <https://www.resourcepanel.org/global-material-flows-database> (resourcepanel.org in Bing)
25. Жан Монне. Аналіз та побудова карти матеріальних потоків як початкова стадія ожц. *Міжнародні проекти*. URL: <https://jm.snau.edu.ua/wp-content/uploads/2022/07/lekcija-3.-analiz-ta-pobudova-karti-materialnih-potokiv->
26. Коблянська І. Аналіз та оцінка життєвого циклу: кращі практики ЄС. *Міжнародні проекти*. URL: https://jm.snau.edu.ua/wp-content/uploads/2022/07/lekcija-2_lca_concept.pdf
27. Kuzoma V., Dovgal O. Application of circular economy assessment indicators. *Actual problems of innovative economy and law*. 2023. Vol. 2023, no. 4. P. 75–79. URL: <https://doi.org/10.36887/2524-0455-2023-4-12>
28. Circular Economy for Industrial Development in Ukraine : Baseline Study / United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). Vienna : UNIDO, 2024. URL: https://www.unido.org/sites/default/files/unido-publications/2024-08/Baseline%20report%20ENG_web.pdf (дата звернення: 08.06.2026).
29. Циркулярна економіка: показники, інструменти та методи. *моніторинг циркулярної економіки, оцінка життєвого циклу, автономія*. URL: <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/CE>
30. Янович А. Досвід оцінювання продуктивності ресурсів економіки країн ЄС та шляхи його адаптації до вітчизняної практики // *Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України*. 2022. Вип. 157 (5). С. 15–20. DOI: <https://doi.org/10.36818/2071-4653-2022-5-3>
31. Kozlovskyu A. Organizational Performance Analysis and Evaluation in the Context of Sustainable Development. *Central Ukrainian Scientific Bulletin*.

Economic Sciences. 2024. No. 12(45). P. 214–223. URL: [https://doi.org/10.32515/2663-1636.2024.12\(45\).214-223](https://doi.org/10.32515/2663-1636.2024.12(45).214-223)

32. Карта Києва онлайн Гугл. Карта сучасного і стародавнього Києва 2026 - proverka.com.ua. *proverka.com.ua*. URL: <https://proverka.com.ua/google-map-kiev.html>

33. Екологічний паспорт міста киева 2023. *Департамент захисту довкілля та адаптації до зміни клімату виконавчого органу Київської міської ради (Київської міської державної адміністрації)*. URL: https://minio.kyivcity.gov.ua/kyivcity/sites/32/uploaded-files/_паспорт_міста_Києва_за_2024_рік.pdf

34. Екологічний паспорт міста Києва за 2024 рік. *Департамент захисту довкілля та адаптації до зміни клімату виконавчого органу Київської міської ради (Київської міської державної адміністрації)*. URL: <https://minio.kyivcity.gov.ua/kyivcity/sites/32/%20паспорт%20міста%20Києва%20за%202023%20рік.pdf>

35. International Water Association (IWA), Water Loss Benchmarking, 2022. URL: <https://iwaponline.com/wpt/article/20/3/732/107432/Quantification-of-water-loss-indices-in-a-water>

36. Приклади впровадження циркулярної економіки в Україні – К.: Центр ресурсоефективного та чистого виробництва, 2024. – 44 с. https://www.recpc.org/wp-content/uploads/2024/05/National-cases-of-CE_publication_ukr.pdf

37. Cherep A., Cherpurna T. Circular economy as a tool for achieving sustainable development goals. *Actual problems of economics*. 2024. Vol. 1, no. 282. P. 182–189. URL: <https://doi.org/10.32752/1993-6788-2024-1-282-182-189>