

УДК 005.4

DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.197.38-45>**Кифяк В.І.**

кандидат економічних наук

Чернівецький національний університет імені Ю. Федьковича

**Kyfyak Viktoriia**

PhD in Economic Sc.

Yurii Fedkovych Chernivtsi National University

<https://orcid.org/0000-0002-6104-6403>**Олійник О.Б.**

Чернівецький національний університет імені Ю. Федьковича

**Oliinyk Oleg**

Yurii Fedkovych Chernivtsi National University

<https://orcid.org/0009-0008-3674-530X>

## ІНТЕГРАЦІЯ ПРИНЦИПІВ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ В СТАЛИЙ РОЗВИТОК БІЗНЕС-МОДЕЛЕЙ АГРАРНОГО СЕКТОРУ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ

*Стаття присвячена дослідженню інтеграції принципів циркулярної економіки в бізнес-моделі аграрного сектору в умовах цифрової трансформації. Проаналізовано сучасні виклики та можливості впровадження циркулярної економіки, зокрема дефіцит ресурсів, зміни клімату, зростаючий попит на екологічні практики та цифровізацію бізнес-процесів. Розроблено багаторівневий теоретичний підхід до інтеграції цифрових технологій у циркулярні практики агробізнесу, що дозволяє оптимізувати управління ресурсами, знижувати операційні витрати та посилювати стійкість бізнес-моделей.*

*На основі проведеного аналізу запропоновано інноваційні бізнес-моделі, такі як платформи «розумного фермерства», кооперативи замкнутих циклів та моделі «виробництво як послуга», які базуються на принципах «9R» циркулярної економіки. Проаналізовано вплив цих моделей у контексті сталого розвитку та розроблено математичну модель для оцінки ефективності впровадження запропонованих підходів.*

**Ключові слова:** циркулярна економіка, цифровізація, сталий розвиток, аграрний сектор, бізнес-моделі, екологічна стійкість, управління ресурсами, принципи «9R».

## INTEGRATION OF THE PRINCIPLES OF THE CIRCULAR ECONOMY IN THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF BUSINESS MODELS OF THE AGRICULTURAL SECTOR IN THE CONDITIONS OF DIGITALIZATION

*The article is devoted to the study of the integration of the principles of the circular economy into the business model of the agricultural sector in the context of digital transformation.*

*The aim of the study is to develop theoretical and practical foundations for the implementation of innovative approaches aimed at ensuring sustainable development, increasing economic efficiency, minimizing environmental impact and strengthening the social responsibility of enterprises.*

*The paper analyzes the current challenges facing the agricultural sector, including the shortage of natural resources, climate change, the need to optimize production processes and increasing demand for environmentally friendly practices. It is determined that digitalization is a key tool for adapting agricultural business models to the principles of circularity. A multi-level theoretical approach is developed that allows integrating digital technologies, such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence and blockchain, into circular business models to increase the efficiency of resource management, reduce costs and ensure the competitiveness of enterprises.*

*Based on the analysis, innovative business models based on the principles of the “9R” of the circular economy are proposed. These include “smart farming” platforms for real-time resource management, closed-loop cooperatives for waste sharing and recycling, and “production as a service” models that minimize environmental impact by extending the life cycle of machinery and equipment.*

*As part of the study, a mathematical model was developed to assess the economic, social, and environmental impact of the proposed business models. The results confirm that the implementation of these models contributes to optimizing*

resource use, reducing operating costs, creating new sources of income, improving social employment, and reducing the environmental burden on the environment.

The study has practical value for agricultural enterprises that seek to meet the current global challenges of sustainable development, and provides a theoretical basis for further scientific developments in this area.

**Keywords:** circular economy, digitalization, sustainable development, agricultural sector, business models, environmental sustainability, resource management, "9R" principles.

**JEL Classification:** Q01, Q13, O13, O33, O44.

**Постановка проблеми.** Сучасний аграрний сектор стикається з низкою викликів, серед яких дефіцит природних ресурсів, погіршення стану екосистем, посилення кліматичних змін та необхідність адаптації до вимог сталого розвитку. Традиційні бізнес-моделі, що базуються на лінійному підході до використання ресурсів, стають економічно та екологічно неефективними. У відповідь на ці виклики принципи циркулярної економіки, що орієнтовані на збереження ресурсів, замкнуті цикли та мінімізацію відходів, відкривають нові можливості для трансформації аграрного сектору.

Водночас цифрова трансформація економіки пропонує унікальні інструменти для оптимізації процесів, автоматизації виробництва та створення більш ефективних ланцюгів постачання. Поєднання циркулярних принципів із цифровими технологіями дозволяє побудувати бізнес-моделі, які не лише знижують екологічне навантаження, а й сприяють економічній стійкості та підвищенню соціальної відповідальності.

Глобальні ініціативи, такі як Цілі сталого розвитку, Європейський Зелений Курс, що акцентують увагу на необхідності впровадження циркулярної економіки та цифровізації як інструментів для досягнення кліматичної нейтральності та забезпечення продовольчої безпеки формують стратегічне значення дослідження для України, де аграрний сектор є важливою галуззю економіки. Інтеграція інноваційних підходів у бізнес-моделі сприятиме конкурентоспроможності та стійкому розвитку агробізнесу країни.

Дослідження є актуальним також через потребу в адаптації сучасних бізнес-моделей до локальних особливостей ринку, створення нових механізмів управління ресурсами та підвищення ефективності за допомогою цифрових технологій, що забезпечить стійкість аграрного сектору перед викликами глобалізації, кліматичних змін і нестабільності ресурсів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження циркулярної економіки демонструють значний прогрес у розробці теоретичних засад, індикаторних систем та прикладних підходів для її впровадження [1, с. 12]. У літературі обґрунтовано переваги циркулярної економіки як інструменту скорочення відходів, збереження ресурсів та мінімізації впливу на довкілля [2, с. 25]. У "Circular Economy Action Plan" детально розглянуто європейську стратегію впровадження циркулярної економіки, включаючи цифрові інструменти для моніторингу та управління ресурсами. Це особливо актуально для аграрного сектору, де управління ресурсами є ключовим аспектом сталого розвитку [3].

Згідно з даними Євростату, економічні політики країн ЄС активно спрямовані на розвиток циркулярних

моделей у бізнесі та державному управлінні [4]. Проте відсутність уніфікованої методики оцінки ефективності циркулярних ініціатив залишається проблемою. У роботі Bahramimiangood B., Xie S., Malaibari M., Abdoli S. проаналізовано досвід у створенні національної системи індикаторів циркулярної економіки [5, с. 216]. Відзначено, що системний підхід до моніторингу є ключовим для забезпечення сталого розвитку, але недостатньо уваги приділено врахуванню регіональних особливостей.

У статті "A new economic model for people and planet" підкреслюється, що глобальний перехід до циркулярної економіки залежить від адаптації концепції до конкретних умов і потреб локальних економік [6]. Попри загальноновизнані екологічні переваги, питання соціального впливу циркулярних моделей залишаються недоопрацьованими.

В українських дослідженнях (Мищенко І.М., Хаджинов І.В.) розглядаються концепції кругових бізнес-моделей провідних європейських компаній [2, с. 25]. Праця Руди М.В. та Мирки Я.В. зосереджується на впровадженні циркулярних бізнес-моделей в Україні. Автори вказують, що аграрний сектор має значний потенціал для адаптації таких моделей через замкнуті цикли переробки та мінімізації відходів, однак відсутність цифрових платформ є бар'єром [7, с. 110]. Хоча робота акцентує увагу на важливості інновацій, залишається не дослідженим питання, як саме ці моделі можуть бути адаптовані для малих і середніх підприємств в Україні.

Коваленко О.В. та Ященко Л.О. зосереджуються на скороченні продовольчих втрат, але їхні висновки мають локальний характер. Відсутній аналіз інтеграції цих підходів у глобальні ланцюги постачання, що обмежує застосовність результатів у ширшому контексті [8, с. 201].

Юхнов Б. та інші аналізують розвиток циркулярної економіки за допомогою інтегральних індексів, але дослідження не враховує динамічних змін у споживчій поведінці та їхнього впливу на циркулярність систем [9].

Такі науковці як Fan W. та інші, зосереджуються на екологічних аспектах циркулярного сільського господарства, але не розглядають економічної доцільності таких ініціатив для різних типів фермерських господарств [10].

Проте є малодосліджені та дискусійні проблеми такі як невизначеність економічних вигод для малих і середніх підприємств, особливо в аграрному секторі, обмежені дослідження з інтеграції циркулярної економіки в глобальні ланцюги постачання, відсутність

динамічних моделей, які враховують вплив змін ринку.

**Метою** дослідження є розробка теоретичних і практичних основ інтеграції принципів циркулярної економіки в бізнес-моделі аграрного сектору в умовах цифрової трансформації для забезпечення їхнього сталого розвитку, підвищення економічної ефективності, зниження екологічного навантаження та сприяння соціальної відповідальності підприємств.

**Виклад основних результатів дослідження.** Аграрний сектор залишається однією з найважливіших галузей економіки, що забезпечує глобальні потреби в продовольстві та є основою економічного зростання багатьох країн. Проте традиційні моделі аграрного бізнесу, що базуються на лінійному використанні ресурсів ("виробництво-споживання-утилізація"), стають усе менш ефективними через низку викликів, серед яких:

1. Дефіцит ресурсів. Обмеженість земельних, водних та енергетичних ресурсів змушує переглядати підходи до їх використання. Зростання попиту на продукти харчування в умовах демографічного зростання підсилює цей тиск.

2. Вплив на довкілля. Аграрне виробництво є значним джерелом парникових газів, забруднення ґрунтів і водних ресурсів, а також утворення значних обсягів органічних відходів. Традиційні практики часто призводять до деградації екосистем.

3. Економічна нестабільність. Висока залежність від сезонності, кліматичних ризиків і змін на глобальних ринках створює виклики для стабільного розвитку агробізнесу.

4. Соціальний аспект. У багатьох регіонах зайнятість у сільському господарстві зменшується через автоматизацію, що посилює соціальну нерівність і демографічні проблеми.

Можливості впровадження циркулярної економіки

Незважаючи на виклики, принципи циркулярної економіки відкривають значні перспективи для трансформації аграрного сектора:

1. Закриті цикли використання ресурсів. Використання органічних відходів як сировини для біогазу, компосту чи кормів дозволяє зменшити втрати та залежність від зовнішніх ресурсів.

2. Відновлення ґрунтів. Інтеграція практик регенеративного землеробства сприяє поліпшенню родючості ґрунтів та підвищенню їхньої стійкості до змін клімату.

3. Екологічно чисті технології. Впровадження енергоефективних рішень, таких як відновлювані джерела енергії та біотехнології, дозволяє скоротити негативний вплив на довкілля.

4. Інноваційні бізнес-моделі. Поширення практик кооперації, "обміну ресурсами" (наприклад, технікою, даними), а також створення локальних екосистем із замкнутим циклом сприяють економічній стійкості.

5. Державна та міжнародна підтримка. Посилення екологічного законодавства, програми фінансування сталих ініціатив та вимоги до прозорості ланцюгів постачання стимулюють розвиток циркулярних

підходів у аграрному секторі.

Впровадження принципів циркулярної економіки в аграрному бізнесі є не лише відповіддю на сучасні виклики, але й відкриває нові можливості для сталого розвитку. Трансформація традиційних бізнес-моделей дозволить підвищити ефективність ресурсокористування, знизити екологічний тиск і створити нові економічні стимули для галузі.

Циркулярна економіка являє собою фундаментальний підхід в економічній парадигмі, що спрямований на заміну традиційної лінійної моделі, яка базується на необмеженому використанні ресурсів, новаторськими підходами до збереження цінності ресурсів протягом усього їхнього життєвого циклу. Для аграрного сектору, що є ресурсомістким і екологічно чутливим, інтеграція циклічної моделі є особливо актуальною.

Розробка теоретичного підходу до інтеграції циркулярної економіки в агробізнесі вимагає системного аналізу, який враховує взаємозв'язок економічних, соціальних, технологічних і екологічних факторів. Основою такого підходу є ідея багаторівневого впливу, що дозволяє забезпечити узгоджене впровадження цифрових і циркулярних практик на рівнях стратегії, технології та операційної діяльності.

На стратегічному рівні важливо формувати бачення циркулярної трансформації, засноване на використанні цифрових рішень. Стратегія має враховувати такі ключові аспекти: визначення потреб і можливостей підприємства, оцінку доступних ресурсів, інтеграцію цілей сталого розвитку у бізнес-моделі [11]. Важливою умовою є створення довгострокового плану, який поєднує впровадження інновацій із досягненням економічних, екологічних і соціальних вигод.

Технологічний рівень включає впровадження цифрових інструментів, які підтримують циркулярні процеси, такі як аналіз життєвого циклу продукції, управління ресурсами та оптимізація ланцюгів постачання. Використання таких технологій, як IoT (інтернет речей), Big Data та штучний інтелект, дозволяє збирати, аналізувати і використовувати дані для покращення ефективності аграрних систем. Цифровізація сприяє моніторингу стану ґрунтів, прогнозуванню врожайності та управлінню відходами.

На операційному рівні інтеграція циркулярних практик передбачає конкретні рішення щодо переробки ресурсів, мінімізації втрат та повторного використання матеріалів. Наприклад, створення замкнених циклів використання органічних відходів через компостування чи виробництво біогазу може бути реалізовано з допомогою цифрових платформ управління відходами. Також важливим є впровадження систем автоматизації та контролю за енерговитратами, що сприяють зменшенню екологічного навантаження.

Ключовим елементом багаторівневого підходу є міждисциплінарна інтеграція, яка передбачає координацію між науковими дослідженнями, бізнесом та державними органами, що дозволяє гармонізувати впровадження технологій із вимогами регуляторного середовища. Важливим завданням є створення

інституційної підтримки, яка стимулює інвестиції в цифровізацію та циркулярні практики через пільгове кредитування, субсидії та освітні програми.

Водночас, для забезпечення ефективності системи необхідно враховувати культурні й соціальні особливості, що впливають на поведінку споживачів і партнерів. Формування екологічної свідомості, підтримка інноваційної культури та розвиток партнерств із різними стейкхолдерами створюють умови для довгострокового успіху.

Таким чином, інтеграція циркулярних практик у рамках агробізнесу є складним багаторівневим процесом, який вимагає узгоджених дій щодо цифровізації на стратегічному, технологічному та операційному рівнях. Такий підхід забезпечує стійкість аграрного сектору, підвищує його конкурентоспроможність та сприяє переходу до більш екологічно відповідального виробництва.

Аграрна діяльність створює безліч можливостей для застосування підходів циркулярної економіки. Закриті цикли дозволяють мінімізувати втрати на кожному етапі виробництва та використовувати побічні продукти, такі як відходи, у нових виробничих процесах.

Наприклад:

- Органічні відходи від сільськогосподарської діяльності можуть бути перетворені на компост для підвищення родючості ґрунтів.
- Біогазові установки дозволяють отримувати енергію з органічних залишків, знижуючи залежність аграрного сектору від викопних видів палива.
- Вторинне використання води в зрошувальних системах через її очищення та рециркуляцію сприяє ефективнішому використанню водних ресурсів.

Циркулярна економіка створює значний потенціал для інновацій у бізнес-моделях аграрного сектора. Застосування підходів "Дизайн без відходів", "Чиста енергія" або "Користування замість споживання" дозволяє агробізнесу:

1. Скоротити операційні витрати за рахунок ефективнішого використання ресурсів.
2. Отримати конкурентні переваги через запровадження екологічних практик.
3. Відповідати регуляторним вимогам, які посилюються у зв'язку з реалізацією Європейського Зеленого Курсу.

Принципи "9R" забезпечують практичну основу для досягнення сталості та економічної ефективності:

- **Reduce:** удосконалення технологій точного землеробства дозволяє скоротити використання добрив, води та енергії.
- **Reuse:** спільне використання техніки, інструментів або навіть ресурсів між фермерськими господарствами знижує витрати.
- **Repair:** створення сервісних центрів для ремонту сільськогосподарського обладнання забезпечує економію на заміні техніки.
- **Refurbish і remanufacture:** Поновлення сільськогосподарських машин з використанням існуючих

компонентів дозволяє зменшити витрати на придбання нових.

- **Recover:** отримання енергії з біомаси або побічних продуктів фермерства допомагає вирішити проблему енергетичної незалежності.

Попри очевидні переваги, впровадження циркулярної економіки стикається з низкою бар'єрів такими як недостатність фінансових ресурсів для впровадження інноваційних технологій, обмежений доступ до знань і практичних інструментів, недостатній рівень підтримки з боку держави тощо.

Для успішної реалізації циркулярної економіки в аграрному секторі необхідний міждисциплінарний підхід, який поєднує технічні, економічні та соціальні аспекти. Основою такого підходу є ідея багаторівневого впливу, що дозволяє забезпечити узгоджене впровадження цифрових і циркулярних практик на рівнях стратегії, технологій та операційної діяльності. Інноваційні бізнес-моделі повинні бути адаптовані до конкретних умов регіону, з урахуванням доступності ресурсів та потреб ринку.

Розробка теоретичного підходу до інтеграції циркулярної економіки в агробізнесі вимагає системного аналізу, який враховує взаємозв'язок економічних, соціальних, технологічних і екологічних факторів. На стратегічному рівні важливо формувати бачення циркулярної трансформації, засноване на використанні цифрових рішень. Стратегія має враховувати такі ключові аспекти: визначення потреб і можливостей підприємства, оцінку доступних ресурсів, інтеграцію цілей сталого розвитку у бізнес-моделі. Важливою умовою є створення довгострокового плану, який поєднує впровадження інновацій із досягненням економічних, екологічних і соціальних вигод.

Технологічний рівень включає впровадження цифрових інструментів, які підтримують циркулярні процеси, такі як аналіз життєвого циклу продукції, управління ресурсами та оптимізація ланцюгів постачання. Використання таких технологій, як IoT (інтернет речей), Big Data та штучний інтелект, дозволяє збирати, аналізувати і використовувати дані для покращення ефективності аграрних систем. Цифровізація сприяє моніторингу стану ґрунтів, прогнозуванню врожайності та управлінню відходами.

На операційному рівні інтеграція циркулярних практик передбачає конкретні рішення щодо переробки ресурсів, мінімізації втрат та повторного використання матеріалів. Наприклад, створення замкнених циклів використання органічних відходів через компостування чи виробництво біогазу може бути реалізовано з допомогою цифрових платформ управління відходами. Також важливим є впровадження систем автоматизації та контролю за енерговитратами, що сприяють зменшенню екологічного навантаження.

Ключовим елементом багаторівневого підходу є міждисциплінарна інтеграція. Це включає координацію між науковими дослідженнями, бізнесом та державними органами, що дозволяє гармонізувати впровадження технологій із вимогами регуляторного

середовища. Важливим завданням є створення інституційної підтримки, яка стимулює інвестиції в цифровізацію та циркулярні практики через пільгове кредитування, субсидії та освітні програми.

Водночас, для забезпечення ефективності системи необхідно враховувати культурні й соціальні особливості, що впливають на поведінку споживачів і партнерів. Формування екологічної свідомості, підтримка інноваційної культури та розвиток партнерств із різними стейкхолдерами створюють умови для довгострокового успіху.

Інтеграція принципів циркулярної економіки та цифровізації в бізнес-моделі відкриває нові можливості для сталого розвитку агробізнесу. Враховуючи глобальні тенденції, такі як зростання попиту на продовольство, потреба у зниженні впливу на довкілля та цифрова трансформація економіки, пропонуються такі бізнес-моделі:

1. Платформи «розумного фермерства» з замкнутим циклом – бізнес-модель передбачає створення цифрових платформ для управління фермерськими господарствами, які використовують принципи циркулярності. Платформа може надавати такі функції:

- Моніторинг стану ґрунтів і врожайності: через IoT-сенсори та супутникові дані для мінімізації використання добрив і води.
- Переробка органічних відходів: модулі на платформі допомагають фермерам організувати компостування або біогазові установки.
- Обмін ресурсами: цифровий майданчик для спільного використання техніки, насіння чи добрив між фермерськими господарствами.
- Інтеграція блокчейну: для відстеження ланцюгів постачання продукції, забезпечення прозорості та екологічності процесів.

2. Модель «виробництво як послуга». Замість продажу техніки чи обладнання агрокомпанії можуть надавати доступ до них за підпискою. Це дозволяє скоротити кількість одиниць техніки, які використовуються, та забезпечити їхнє технічне обслуговування і відновлення, подовжуючи життєвий цикл продукції. Наприклад, фермери оплачують тільки час використання тракторів чи систем поливу, що зменшує витрати та стимулює більш раціональне використання ресурсів.

3. Кооперативи циркулярної економіки – модель базується на об'єднанні фермерів у кооперативи, які працюють на принципах замкнутих циклів. Учасники кооперативу діляться:

- Відходами для виробництва компосту чи енергії.
  - Ресурсами, такими як зберігання врожаю або технології для переробки.
- Цифровізація сприяє координації, обліку ресурсів та управлінню кооперативними процесами через спеціалізовані мобільні додатки.

4. Відновлювальне землеробство із цифровою підтримкою – модель передбачає впровадження

регенеративних практик землеробства, які сприяють відновленню родючості ґрунтів та зменшують викиди вуглецю. Використання цифрових технологій, таких як дрони, штучний інтелект та машинне навчання, дозволяє:

- Планувати сівозміни для збереження ґрунтів.
- Контролювати кількість внесених добрив, що знижує екологічний вплив.
- Відстежувати поглинання вуглецю для участі у вуглецевих ринках.

5. Цифрові платформи обміну продуктами та переробки – модель передбачає створення онлайн-маркетплейсів для обміну продуктами, які не використовуються. Наприклад, невикористані харчові продукти можуть бути спрямовані на переробку або продаж у локальних мережах. Цифровізація дозволяє в режимі реального часу відстежувати надлишки та оптимізувати їхнє використання.

6. Замкнуті ферми «zero-waste» з інтеграцією агровідходів – модель передбачає створення ферм, які використовують власні відходи для виробництва енергії чи нових продуктів. Наприклад:

- Відходи від вирощування культур використовуються для виробництва кормів для худоби.
- Енергія з біомаси використовується для живлення теплиць.

Цифрові системи моніторингу допомагають керувати потоками відходів і оптимізувати процеси переробки.

7. Спільна оренда землі та ресурсів через цифрові майданчики це модель цифрових платформ, які дозволяють малим фермерам орендувати земельні ділянки, техніку чи послуги від інших фермерів або великих аграрних компаній. Це знижує вартість доступу до ресурсів і стимулює ефективніше використання земель та обладнання.

Кожна з цих бізнес-моделей дозволяє зменшити екологічне навантаження через оптимізацію ресурсів, підвищити економічну стійкість підприємств через нові джерела доходів, забезпечити прозорість і відповідність екологічним стандартам через цифрові технології.

Інтеграція цих моделей в агробізнес не лише забезпечить сталий розвиток, але й дозволить компаніям залишатися конкурентоспроможними в умовах сучасних викликів глобальної економіки.

Запропоновані бізнес-моделі, що базуються на принципах циркулярності в умовах цифровізації, мають значний потенціал впливу на тріаду аспектів сталого розвитку. Їхня оцінка демонструє інтегрований ефект, який сприяє одночасному досягненню економічних вигод, соціального добробуту та екологічної стійкості.

Економічний вплив визначається такими напрямами:

1. Зниження витрат: завдяки оптимізації ресурсів (води, добрив, енергії) фермери можуть скоротити витрати на виробництво, що підвищує їхню рентабельність. Наприклад, використання технологій «розумного фермерства» дозволяє уникати надмірного

використання добрив та води, забезпечуючи точне дозування.

2. Додаткові джерела доходів: моделі, що базуються на обміні ресурсами або продажу відновленої продукції, забезпечують підприємствам нові економічні можливості. Наприклад, переробка відходів у біогаз або компост відкриває ринки для продажу екологічних продуктів.

3. Стимулювання інвестицій: інноваційні бізнес-моделі приваблюють інвесторів завдяки їхній відповідності глобальним тенденціям сталого розвитку, що підвищує доступ до фінансування. Програми підтримки циркулярної економіки, як-от Horizon Europe, сприяють розвитку таких підприємств.

Соціальний ефект реалізується через такі інструменти:

1. Створення нових робочих місць: впровадження циркулярних моделей, особливо в секторах переробки, ремонту та управління відходами, створює нові робочі місця. Наприклад, сервіс ремонту сільськогосподарської техніки або центрів обробки вторинної сировини може стати джерелом зайнятості в сільських громадах.

2. Зміцнення локальних спільнот: кооперативи циркулярної економіки сприяють об'єднанню фермерів, підвищенню рівня співпраці та забезпеченню справедливому доступу до ресурсів. Це стимулює розвиток локальної економіки та зменшує соціальну нерівність.

3. Підвищення екологічної свідомості: використання цифрових платформ для спільного користування ресурсами чи обміну знаннями сприяє формуванню культури відповідального споживання серед фермерів і споживачів.

Екологічний вплив проявляється так:

1. Зменшення екологічного сліду: завдяки впровадженню технологій точного землеробства, циркулярні бізнес-моделі дозволяють значно знизити викиди

парникових газів, скоротити втрати води та уникнути надмірного використання добрив.

2. Управління відходами: моделі замкнутого циклу, такі як переробка органічних залишків у компост чи біогаз, сприяють мінімізації відходів, що знижує негативний вплив на екосистеми.

3. Відновлення природних ресурсів: відновлювальне землеробство сприяє збагаченню ґрунтів, покращенню їхньої структури та підвищенню біорізноманіття. Це сприяє створенню більш стійких екосистем.

4. Зменшення використання невідновлюваних ресурсів: перехід на чисту енергію в аграрному секторі дозволяє скоротити залежність від викопних видів палива. Наприклад, біогазові установки замінюють традиційні джерела енергії.

Отже, запропоновані бізнес-моделі забезпечують інтегрований підхід до сталого розвитку, де економічні, соціальні та екологічні цілі взаємопідсилюють одне одного. Зниження витрат і створення нових джерел доходів сприяє економічній стабільності, тоді як соціальні ініціативи з обміну ресурсами чи співпраці між фермерами сприяють згуртованості громад. Водночас екологічний компонент знижує ризики, пов'язані з деградацією природних ресурсів, і забезпечує стійкість аграрного сектора до кліматичних змін.

Математична модель оцінки економічного, соціального та екологічного впливу бізнес-моделей у контексті сталого розвитку на основі принципів «9R» циркулярної економіки, запропонована нами, ґрунтується на багаторівневості та мультисциплінарності. Модель базується на оцінці трьох основних показників сталого розвитку (економічного, соціального та екологічного) з використанням індикаторів, пов'язаних із принципами «9R». Кожен принцип (Refuse, Reduce, Reuse тощо) інтегрується через відповідні ключові показники ефективності (KPI), що дозволяють кількісно оцінити вплив (1).

$$I_{total} = w_E I_E + w_S I_S + w_{Ec} I_{Ec} \quad (1)$$

де

$I_{total}$  – загальний індекс впливу бізнес-моделей,

$I_E, I_S, I_{Ec}$  – індекси економічного, соціального та екологічного впливу відповідно,

$w_E, w_S, w_{Ec}$  – вагові коефіцієнти для кожної складової (визначаються експертно залежно від пріоритетів бізнесу чи політики).

Кожен з індексів  $I_E, I_S, I_{Ec}$  обчислюється як сума показників, що оцінюють ефективність реалізації принципів «9R»:

$$I_X = \sum_{i=1}^9 w_i P_{iX} \quad X \in \{E, S, Ec\} \quad (2)$$

де

$P_{iX}$  – показник впливу конкретного принципу  $i$  на економіку (EEE), суспільство (SSS) чи екологію (EcEcEc).

$w_i$  – ваговий коефіцієнт для кожного принципу (9 R).

Систематизація індикаторів і показників «9R» (таблиця 1), дозволяє оцінювати ефективність реалізації принципів сталого розвитку на підприємствах. Ці індикатори забезпечують комплексний підхід до аналізу

ключових показників сталого розвитку, зокрема, екологічних, економічних, соціальних та управлінських складових.

Таблиця 1

## Система індикаторів і показників «9R» за показниками сталого розвитку

Принципи «9R»	Економічний вплив ( $P_{ie}$ )	Соціальний вплив ( $P_{is}$ )	Екологічний вплив ( $P_{ic}$ )
<b>Refuse</b>	Зменшення операційних витрат	Покращення умов праці (менше небезпечних матеріалів)	Зниження споживання ресурсів
<b>Reduce</b>	Оптимізація виробничих процесів	Скорочення фізичних зусиль через автоматизацію	Зменшення відходів
<b>Reuse</b>	Додатковий дохід від повторного використання	Створення платформ для обміну ресурсами	Мінімізація впливу на довкілля
<b>Repair</b>	Зниження витрат на купівлю нової продукції	Підвищення зайнятості у сфері ремонту	Подовження життєвого циклу продукції
<b>Refurbish</b>	Додатковий ринок для оновленої продукції	Доступ до дешевших товарів для споживачів	Зниження потреби у виробництві нових ресурсів
<b>Remanufacture</b>	Економія на використанні вторинних компонентів	Підтримка локальних виробників	Зменшення матеріальних витрат
<b>Repurpose</b>	Розширення асортименту продукції	Нові робочі місця у сфері креативного бізнесу	Уникнення відходів
<b>Recycle</b>	Прибуток від продажу вторинної сировини	Покращення інфраструктури для переробки	Зменшення обсягів сміттєзвалищ
<b>Recover</b>	Зниження витрат на енергоносії	Підвищення енергетичної незалежності	Перехід на відновлювальні джерела енергії

Джерело: розроблено авторами на основі систематизації джерел.

Для прикладу агробізнесу можна застосувати такі значення ваг: економічний вплив ( $w_{ie}=0,4$ ), соціальний вплив ( $w_{is}=0,3$ ), екологічний вплив ( $w_{ic}=0,3$ ).

У межах кожної групи  $w_i$  для принципів «9R» можна встановити рівними, якщо всі принципи вважаються однаково важливими, або надати пріоритет (наприклад, для агробізнесу більше значення може мати Refuse, Reduce та Recycle). Обчислення індексу впливу допомагає визначити ефективність бізнес-моделі та її відповідність цілям сталого розвитку.

**Висновки.** У ході дослідження застосовано системний, міждисциплінарний та аналітичний підходи для вивчення інтеграції принципів циркулярної економіки та цифровізації у бізнес-моделі аграрного сектора. Використання теоретичного моделювання дозволило обґрунтувати переваги циркулярної трансформації для агробізнесу, а методи якісного та кількісного аналізу забезпечили оцінку економічного, соціального та екологічного впливу запропонованих моделей.

Наукові результати свідчать, що впровадження циркулярних принципів у поєднанні з цифровими технологіями створює значний потенціал для сталого розвитку. Зокрема, такі моделі сприяють оптимізації використання ресурсів, скороченню витрат, підвищенню рівня зайнятості та зменшенню екологічного навантаження. Використання математичної моделі для оцінки впливу дозволяє кількісно визначити ефективність різних бізнес-підходів у контексті принципів «9R».

Подальші перспективи досліджень зосереджені на адаптації запропонованих моделей до конкретних умов локальних ринків і галузевих особливостей, розробці механізмів фінансування циркулярних інновацій, а також глибшому аналізі соціального впливу. Результати цього дослідження створюють наукову базу для розробки практичних рішень і політик, спрямованих на трансформацію аграрного сектору в напрямку сталого розвитку.

## Список використаних джерел:

1. Дубель М.В. (2022). Циркулярна економіка як механізм досягнення цілей сталого розвитку в умовах глобалізації та діджиталізації світової економіки. *Економіка та суспільство*, № 39. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-39-13>.
2. Міценко І.М., Хаджинов І.В. (2022). Концепції кругових бізнес-моделей ключових європейських компаній. *Економіка і організація управління*, № 1(45). С. 25-29.
3. Circular Economy Action Plan. (2024). European Commission. Retrieved from [https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan\\_en](https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en).
4. Circular economy indicators. 2024. Eurostat. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/explore/all/tb\\_eu?lang=en&subtheme=cei&display=list&sort=category](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/explore/all/tb_eu?lang=en&subtheme=cei&display=list&sort=category).
5. Bahramimianrood B., Xie S., Malaibari M., Abdoli S. (2024). Reviewing Circularity Indicators for a Sustainable Transition to a Circular Economy. *Procedia CIRP*, Vol. 122. Pp. 1065–1070. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.01.144>.
6. A new economic model for people and planet. (n.d.). Metabolic. URL: <https://www.metabolic.nl/what-we-do/circular-economy/>.
7. Коваленко О.В., Яценко Л.О. (2022). Циркулярна економіка як ефективний інструмент скорочення витрат та відходів продовольства в Україні та світі. *Продовольчі ресурси*, Том 10. № 19. С. 201-206.
8. Руда М.В., Мирка Я.В. (2020). Циркулярні бізнес-моделі в Україні. Менеджмент та підприємництво в

Україні: етапи становлення та проблеми розвитку, Том 2. № 1. С. 107–121.  
DOI: <https://doi.org/10.23939/smeu2020.01.107>.

9. Юхнов Б., Островський І., Корсаков Д. (2022). Аналіз розвитку циркулярної економіки на прикладі застосування інтегральних індексів. Адаптивне управління: теорія і практика. Серія «Економіка», № 13(26). URL: <https://amtp.org.ua/index.php/journal2/article/view/452/392>.

10. Fan W., Zhang P., Xu Z., Wei H., Lu N., Wang X., Dong X. (2018). Life cycle environmental impact assessment of circular agriculture: A case study in Fuqing, China. *Sustainability*, No. 10. P. 1810.

11. Кифяк В.І., Олійник О.Б., Журавель А.С. (2024). Цифрові моделі управління фінансовими потоками на підприємстві. Ефективна економіка, № 3. DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.3.80>.

### References

1. Dubel, M.V. (2022). Circular economy as a mechanism for achieving sustainable development goals in the context of globalization and digitalization of the world economy. *Ekonomika ta suspilstvo*, No. 39. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-39-13>. [in Ukrainian].

2. Mitsenko, I.M., & Khadzynov, I.V. (2022). Concepts of circular business models of key European companies. *Ekonomika i orhanizatsiia upravlinnia*, No. 1(45). Pp. 25–29. [in Ukrainian].

3. Circular Economy Action Plan. (2024). European Commission. Retrieved from [https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan\\_en](https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en). [in English].

4. Circular economy indicators. 2024. Eurostat. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/explore/all/tb\\_eu?lang=en&subtheme=cei&display=list&sort=category](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/explore/all/tb_eu?lang=en&subtheme=cei&display=list&sort=category). [in English].

5. Bahramimianrood, B., Xie, S., Malaibari, M., & Abdoli, S. (2024). Reviewing circularity indicators for a sustainable transition to a circular economy. *Procedia CIRP*, No. 122, Pp. 1065–1070. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.01.144>. [in English].

6. A new economic model for people and planet. (n.d.). Metabolic. Retrieved from <https://www.metabolic.nl/what-we-do/circular-economy/>. [in English].

7. Kovalenko, O.V., & Yashchenko, L.O. (2022). Circular economy as an effective tool for reducing food losses and waste in Ukraine and the world. *Prodovolchi resursy*, No. 10(19). Pp. 201–206 [in Ukrainian].

8. Ruda, M.V., & Myrka, Y.V. (2020). Circular business models in Ukraine. *Menedzhment ta pidpriemnytstvo v Ukraini: etapy stanovlennia ta problemy rozvytku*, No. 2(1) Pp. 107–121. DOI: <https://doi.org/10.23939/smeu2020.01.107>. [in Ukrainian].

9. Yuhno, B., Ostrovskiy, I., & Korsakov, D. (2022). Analysis of the development of the circular economy based on the application of integrated indices. *Adaptyvne upravlinnia: teoriia i praktyka. Seriiia "Ekonomika"*, No. 13(26). Retrieved from <https://amtp.org.ua/index.php/journal2/article/view/452/392>. [in Ukrainian].

10. Fan, W., Zhang, P., Xu, Z., Wei, H., Lu, N., Wang, X., & Dong, X. (2018). Life cycle environmental impact assessment of circular agriculture: A case study in Fuqing, China. *Sustainability*, No. 10. P. 1810. [in English].

11. Kifiak, V.I., Oliinyk, O.B., & Zhuravel, A.S. (2024). Digital models for managing financial flows at enterprises. *Efektyvna ekonomika*, No. 3. <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.3.80>. [in Ukrainian].