

**РЕЦИКЛІНГ ЯК
ЕЛЕМЕНТ
ІННОВАЦІЙНОГО
РОЗВИТКУ ТА
УПРАВЛІННЯ
ВІДХОДАМИ НА
ПІДПРИЄМСТВАХ
АПК**

ДУБНЕВИЧ Ю.В.,
кандидат економічних наук, доцент,
завідувач кафедри менеджменту
ім. проф. Є. Храпливого

ЖУК Є.В.,
аспірант другого року навчання
кафедри економіки

ДРОБОТЕНКО А.В.,
аспірант другого року навчання
кафедри менеджменту ім. проф. Є. Храпливого
Львівський національний університет
ветеринарної медицини та біотехнологій
імені С.З. Гжицького
(м. Дубляни)

Стаття присвячена дослідженню рециклінгу, як стратегічного інструменту інноваційного розвитку агропромислового комплексу (далі – АПК), та ефективного управління відходами аграрного виробництва. В умовах посилення екологічних та ресурсних викликів особливої актуальності набуває впровадження механізмів рециклінгу в системі агропромислового виробництва. Глобальні виклики ресурсоощадження та екологічної безпеки зумовлюють необхідність переходу АПК до принципів циркулярної економіки, в якій рециклінг відіграє ключову роль.

Схарактеризовано основні концепції та класифікацію видів рециклінгу – біологічного, хімічного та механічного – із систематизацією їхніх порівняльних характеристик, переваг і обмежень для різних типів аграрних відходів. Систематизовано категорії відходів агропромислового комплексу за їхнім ресурсним потенціалом. Проаналізовано економічні переваги впровадження рециклінгових технологій на підприємствах АПК: зниження витрат на утилізацію відходів, диверсифікацію джерел доходу через виробництво біогазу, компосту та кормових добавок, зменшення залежності від хімічних добрив.

Розкрито екологічний потенціал рециклінгу: скорочення викидів парникових газів, зниження ризиків забруднення ґрунтів та водних ресурсів, реалізація принципів циркулярної економіки. Наведено приклад упровадження безвідходного виробництва на агропідприємстві ТОВ «Органік-Д» (Вінницька область) із детальним аналізом показників роботи біогазової установки та ефекту від застосування дигестату. Оцінено нормативно-правову базу управління відходами в Україні порівняно з практиками ЄС, ідентифіковано законодавчі прогалини, зокрема відсутність спеціалізованих механізмів державного стимулювання перероблення аграрних відходів, недостатню гармонізацію національного законодавства з директивами ЄС у сфері циркулярної економіки та недосконалість системи контролю за утилізацією органічних відходів, а також структурні бар'єри – недостатність фінансування, слабку переробну інфраструктуру, низький рівень екологічної обізнаності агровиробників.

RECYCLING AS AN ELEMENT OF INNOVATIVE DEVELOPMENT AND WASTE MANAGEMENT AT AGRICULTURAL ENTERPRISES © 2026 by DUBNEVYCH Yuriy, ZHUK Yehor, DROBOTENKO Artem is licensed under CC BY 4.0



Особливу увагу приділено інтеграції технологій штучного інтелекту (далі – ШІ) в процеси управління відходами АПК: технології комп'ютерного зору забезпечують автоматизоване сортування відходів із точністю до 98%, алгоритми машинного навчання дозволяють прогнозувати обсяги утворення відходів і оптимізувати логістику зі скороченням витрат до 19%, а інтелектуальні системи моніторингу забезпечують скорочення простоїв обладнання до 35%. Визначено перспективні напрями розвитку рециклінгу в аграрному секторі економіки: розбудова мережі біогазових установок, масштабування компостування, залучення міжнародних інвестицій та вдосконалення законодавчого регулювання.

Ключові слова: рециклінг, агропромисловий комплекс, аграрні відходи, біотехнології, штучний інтелект, циркулярна економіка, екологічна безпека, утилізація, сталий розвиток, біогаз, дигестат.

Табл.: 3. Літ.: 22.

RECYCLING AS AN ELEMENT OF INNOVATIVE DEVELOPMENT AND WASTE MANAGEMENT AT AGRICULTURAL ENTERPRISES

DUBNEVYCH Yuriy,

*Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Management named after Prof. Ye. Khraplyvy*

ZHUK Yehor,

*Postgraduate Student of the Second Year of Study
of the Department of Economics*

DROBOTENKO Artem,

*Postgraduate Student of the Second Year of Study
of the Department of Management named after Prof. Ye. Khraplyvy
Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named
after S.Z. Gzhytsky
(Dublyany)*

This article investigates recycling as a strategic instrument of innovative development of the agro-industrial complex (hereinafter – AIC) and effective management of agricultural waste. In the context of increasing environmental and resource-related challenges, the implementation of recycling mechanisms in the agro-industrial production system is becoming particularly relevant. Global challenges of resource conservation and environmental safety necessitate the transition of the AIC to circular economy principles, in which recycling plays a central role.

The main concepts and classification of the recycling types – biological, chemical, and mechanical – are characterized, with a systematic comparison of their advantages and limitations for different categories of agricultural waste. The categories of agro-industrial complex waste are systematized according to their resource potential. The economic benefits of implementing recycling technologies at AIC enterprises are analyzed: reduction of waste disposal costs, diversification of income sources through the production of biogas, compost, and feed additives, as well as decreased dependence on chemical fertilizers.

The environmental potential of recycling is assessed: reduction of greenhouse gas emissions, mitigation of soil and water contamination risks, and the practical realization of circular economy principles. An example of waste-free production implementation at the agricultural enterprise LLC Organic-D (Vinnytsia region) is provided with a detailed analysis of biogas plant performance and the effect of digestate application. The regulatory framework for waste

management in Ukraine was assessed in comparison with EU practices, revealing legislative gaps, particularly the absence of specialized state incentives for agricultural waste recycling, insufficient harmonization of national legislation with EU circular economy directives, and deficiencies in the system for monitoring the disposal of organic waste, as well as structural barriers, including limited financing, underdeveloped recycling infrastructure, and a low level of environmental awareness among agricultural producers.

Special attention is given to the integration of artificial intelligence (hereinafter – AI) technologies into AIC waste management processes: computer vision systems enable automated waste sorting with accuracy up to 98 %, machine learning algorithms allow forecasting of waste generation volumes and logistics optimization with cost reductions of up to 19%, and intelligent monitoring systems ensure a reduction of equipment downtime by up to 35 %. The prospective directions for the development of recycling in the agricultural sector are defined: expanding the network of biogas plants, scaling up composting practices, attracting international investment, and improving legislative regulation.

Key words: recycling, agro-industrial complex, agricultural waste, biotechnology, artificial intelligence, circular economy, environmental safety, waste management, sustainable development, biogas, digestate.

Tabl.: 3. Ref.: 22.

Постановка проблеми. Сталий розвиток агропромислового комплексу є одним із ключових завдань сучасної економіки, оскільки ця галузь має значний вплив на екологічний стан довкілля та раціональне використання природних ресурсів. За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації (Організації об'єднаних націй (далі – ФАО ООН)), сільське господарство забезпечує засоби існування близько 2,5 млрд людей у світі та формує від 5 до 25% ВВП більшості країн. В Україні частка агропромислового комплексу у ВВП перевищує 12%, а аграрний сектор економіки виступає одним із найстабільніших сегментів національної економіки [17, с. 515].

Інтенсивне сільськогосподарське виробництво супроводжується значним утворенням органічних та неорганічних відходів, які при неефективному управлінні призводять до забруднення ґрунтів, водних ресурсів та атмосфери. За даними Міжурядової групи експертів із питань зміни клімату (ІРСС) [21], на сільське господарство, лісівництво та використання земель припадає 23% сукупних антропогенних викидів парникових газів, у тому числі 13% вуглекислого газу (CO₂), 44% метану (CH₄) та 82% закису азоту (N₂O). Нестача природних ресурсів, зростання кількості відходів і зміни клімату змушують країни переглядати підходи до ведення сільського господарства, що зумовлює стратегічну роль рециклінгу, як інструменту зменшення негативного впливу агропромислового виробництва на навколишнє середовище.

Основними екологічними проблемами, що виникають через низький рівень рециклінгу в АПК, є: забруднення ґрунтів та водних ресурсів унаслідок неконтрольованого накопичення органічних та хімічних відходів (залишків пестицидів, добрив, харчових відходів); виникнення викидів метану та вуглекислого газу від органічних відходів, що розкладаються без належного перероблення; неефективне використання великих обсягів аграрних відходів (соломи, лушпиння, гною), які є потенційною сировиною для виробництва енергії та добрив. В Україні ці проблеми є особливо гострими через відсутність належної переробної інфраструктури та недостатнє законодавче

регулювання [11; 19]. Зокрема, за офіційними даними Державної служби статистики України, у 2023 р. загальний обсяг відходів I–III класів небезпеки в Україні становив 188,1 тис. т, із яких 120,6 тис. т (64,1%) припадало на відходи агропромислового виробництва, що недвозначно засвідчує масштаб проблеми та значний невикористаний потенціал їхнього вторинного перероблення [20]. На відходи тваринницького і рослинницького походження, тваринні екскременти та гній у 2024 р. припадало 18,9% від загального обсягу відходів I–III класів небезпеки, утворених в Україні [20].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема рециклінгу в агропромисловому комплексі є предметом активних досліджень у сфері екології, економіки та агротехнологій. Сучасні наукові концепції розглядають рециклінг як невід’ємну складову циркулярної економіки, спрямованої на повторне залучення ресурсів до виробничого циклу з мінімізацією відходів [10, с. 125]. Дослідники підтверджують, що рециклінг у сільському господарстві має багатофункціональну цінність: дозволяє скорочувати витрати на утилізацію та створювати додаткові джерела прибутку для аграрних підприємств через виробництво біогазу, біодобрив і вторинної сировини [1, с. 95–96].

У сучасних умовах трансформації економіки особливого значення набуває впровадження концепції циркулярної економіки, яка спрямована на забезпечення раціонального використання ресурсів та мінімізацію утворення відходів. Як зазначають науковці, перехід до циркулярної моделі господарювання сприяє зміцненню екологічної безпеки та економічної ефективності виробництва в Україні [2, с. 1–3; 3, с. 86, 91–92]. У дослідженні [6, с. 120] обґрунтовано, що стратегічне управління виробничими витратами є ключовим фактором формування довгострокової економічної стійкості агропромислових підприємств, а системний аналіз і багаторівневий контроль витрат на різних етапах виробничого процесу створюють передумови для ефективної оптимізації фінансових ресурсів та реалізації принципів циркулярної економіки.

Г. Калетнік, І. Гончарук та Ю. Охота досліджують теоретичні та практичні аспекти безвідходного аграрного виробництва з використанням тваринницьких відходів і рослинних залишків у біогазових установках, обґрунтовуючи актуальність та потенціал впровадження безвідходних технологій для забезпечення енергетичної автономії підприємств [17]. О. Лебідь, С. Кіпоренко та В. Вовк систематизують технології ШІ, що застосовуються в різних галузях народного господарства, зокрема в сільському господарстві, для виявлення хвороб рослин, класифікації бур’янів, управління водними ресурсами та земельними ресурсами, прогнозування кліматичних умов [8].

Досвід передових країн свідчить про те, що успішне впровадження рециклінгу можливе за умов державної підтримки та розвитку інноваційних технологій. У Німеччині широко застосовуються біогазові установки, які перетворюють органічні відходи на енергію; у Нідерландах реалізуються державні програми масового виробництва компосту з аграрних залишків; у Франції впроваджуються законодавчі ініціативи, що обмежують використання

полімерної упаковки в сільському господарстві [12, с. 5–7]. Згідно з Кліматичним планом дій Німеччини 2050, загальні викиди парникових газів мають бути скорочені щонайменше на 55% до 2030 р. порівняно з 1990 р., причому ключова роль відведена переробленню органічних відходів аграрного сектору економіки [17 с. 516]. Водночас Україна не має комплексного підходу до рециклінгу в АПК: гальмівними чинниками є недостатнє фінансування, відсутність дієвої підтримки фермерів, низька екологічна обізнаність і неефективне законодавче регулювання [13 с. 6–9].

Формулювання цілей статті. Метою статті є дослідження ролі рециклінгу в інноваційному розвитку АПК, оцінка поточного стану утилізації аграрних відходів в Україні та визначення перспективних напрямів розвитку рециклінгових технологій у галузі. Для досягнення мети необхідно: проаналізувати основні концепції та механізми рециклінгу у сільськогосподарському виробництві; систематизувати категорії відходів АПК за їхнім ресурсним потенціалом; оцінити сучасний стан утилізації аграрних відходів і виявити бар'єри, що стримують розвиток галузі в Україні; дослідити перспективні технологічні напрями, зокрема, застосування інструментів штучного інтелекту в управлінні відходами АПК.

Виклад основного матеріалу дослідження. Рециклінг (від англ. *recycling* – повторне використання) – це процес перероблення відходів з метою повторного застосування одержаних матеріалів у виробництві. В агропромисловому комплексі рециклінг відіграє особливо важливу роль, оскільки дозволяє ефективно використовувати органічні та неорганічні відходи, що утворюються в процесі виробництва сільськогосподарської продукції.

Концептуальну основу ефективного управління відходами в АПК формує парадигма «трьох R» – Reduce, Reuse, Recycle [4, с. 55; 6, с. 121]: по-перше, *скорочення (reduce)* – мінімізація використання первинної сировини та енергетичних ресурсів через упровадження інноваційних технологій; по-друге, *повторне використання (reuse)* – продовження функціонального життєвого циклу компонентів і матеріалів у виробничо-технологічних процесах; по-третє, *перероблювання (recycle)* – технологічно обґрунтоване вторинне використання матеріалів через їхнє глибоке перероблення з метою створення нової продукції. Адаптація цієї моделі до агропромислового виробництва забезпечує формування екологічно орієнтованих бізнес-процесів, підвищення ресурсної автономії підприємств і посилення стійкості виробничих систем до глобальних кліматичних та економічних викликів [6, с. 121].

Ієрархія управління відходами є ключовим елементом сучасної екологічної політики та базується на принципі пріоритетності заходів щодо мінімізації негативного впливу відходів на довкілля. Відповідно до європейської моделі, першочерговим напрямом є запобігання утворенню відходів, оскільки саме цей підхід дозволяє зменшити обсяги використання природних ресурсів та екологічне навантаження. Наступними етапами є підготовка до повторного використання продукції, рециклінг відходів, інші види утилізації, зокрема енергетичне відновлення, а найменш пріоритетним способом вважається захоронення відходів на полігонах. Така послідовність

відповідає принципам циркулярної економіки та сприяє адаптації національної системи управління відходами до стандартів Європейського Союзу [4, с. 55–56].

Агропромислове виробництво генерує значний обсяг відходів, що класифікуються за походженням і можливостями подальшого перероблення. У дослідженні [6] виділено такі основні категорії відходів АПК: рослинні залишки (стебла, листя, солома, лушпиння зернових культур); тваринні відходи (кістки, шкіра, кров, внутрішні органи); відходи кормовиробництва (залишки зернових, побічні продукти перероблення олійних культур); відходи харчової промисловості (плодові оболонки, кісточки, залишки м'ясної та молочної продукції); відходи біопаливного виробництва (макуха, фільтраційний осад, залишки біомаси). Систематизацію категорій відходів АПК з оцінкою їхнього ресурсного потенціалу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Класифікація відходів агропромислового комплексу та їх ресурсний потенціал

Категорія відходів	Основні види	Потенціал вторинного використання
Рослинні залишки	Стебла, листя, солома, лушпиння зернових культур	Компостування, виробництво біогазу, корм для тварин
Тваринні відходи	Гній, послід, кров, кістки, внутрішні органи	Анаеробне зброджування, виробництво дигестату, кормові добавки
Відходи кормовиробництва	Залишки зернових, побічні продукти перероблення олійних культур	Виробництво комбікормів, біогазу, органічних добрив
Відходи харчової промисловості	Плодові оболонки, кісточки, залишки м'ясної та молочної продукції	Виробництво фармацевтичних субстанцій, біополімерних матеріалів
Відходи біопаливного виробництва	Макуха, фільтраційний осад, залишки біомаси	Виробництво органічних добрив, вторинне паливо

Джерело: складено авторами на основі [6; 7; 17]

На основі наукових підходів до перероблення аграрних відходів [14, с. 151] можна виокремити такі основні методи рециклінгу в АПК: біологічний рециклінг – використання мікроорганізмів для розкладу органічних речовин із метою отримання добрив, кормових добавок або біогазу; хімічний рециклінг – перероблення відходів із застосуванням хімічних реакцій для одержання нових речовин (біопаливо, біополімери тощо); механічний рециклінг – фізична обробка відходів, що дає змогу повторно використовувати матеріали, зокрема пластикову упаковку та деревину. Порівняльну характеристику цих методів наведено в таблиці 2.

Біологічний рециклінг є найбільш екологічно безпечним методом, оскільки бере за основу природні механізми розкладу органічних речовин. До його основних інструментів належать компостування, виробництво біогазу та вермикультура. Варто наголосити, що анаеробне зброджування є природним явищем, притаманним багатьом екосистемам, і сприяє формуванню вуглецево-нейтрального циклу, що узгоджується з принципами циркулярної економіки та сталого розвитку [6, с. 122]. Біогазові установки дозволяють переробляти органічні відходи (гній, силос, рослинні залишки) на газоподібне паливо, що сприяє не лише зменшенню обсягів відходів, а й енергетичній незалежності сільськогосподарських підприємств [9, с. 2-4].

Порівняння методів рециклінгу в агропромисловому комплексі

Метод рециклінгу	Суть методу	Переваги	Недоліки	Приклади застосування
Біологічний рециклінг	Перероблення органічних відходів за участю мікроорганізмів або біологічних процесів	Екологічна безпечність, виробництво біогазу та біодобрив, покращення якості ґрунтів	Тривалий процес перероблення, потреба у спеціальних умовах	Компостування, вермикюльтура, біогазові установки
Хімічний рециклінг	Використання хімічних реакцій для розкладу або трансформації відходів у корисні речовини	Можливість отримання цінних продуктів (біопаливо, добрива), висока швидкість процесу	Висока енергозатратність, необхідність спеціального обладнання	Виробництво біодизеля з відпрацьованих олій, синтез біополімерів із аграрних відходів
Механічний рециклінг	Фізичне перероблення та повторне використання матеріалів	Зменшення кількості твердих відходів, збереження матеріальних ресурсів	Обмежене застосування для органічних відходів, необхідність додаткового сортування	Перероблення пластикової упаковки, вторинне використання деревини, виробництво твердих біопалив – пелет і брикетів

Джерело: складено авторами на основі [14, с. 151]

Г. Калетнік, І. Гончарук та Ю. Охота доводять, що невикористаний відновлюваний потенціал біогазу в Україні становить 3,2 млрд м³, тоді як наразі він залишається практично незалученим на відміну від викопного палива. Дигестат – залишок від виробництва біогазу з органічної маси містить 2,3–4,2 кг/т азоту, 0,2–1,5 кг/т фосфору та 1,3–5,2 кг/т калію. За хімічним складом дигестат є близьким до компосту, тому може використовуватися як додаткове добриво для підвищення родючості ґрунтів. При цьому мінеральні добрива засвоюються лише на 35–50 %, тоді як біодобрива – практично на 99%, що робить дигестат значно більш ефективним агрохімічним засобом [17, с. 518].

Наочним прикладом ефективного впровадження безвідходного виробництва в Україні є діяльність ТОВ «Органік-Д» у м. Гнівань Вінницької області. Підприємство реалізує принцип безвідходного виробництва на базі власної біогазової станції: тваринницькі залишки від 6000 голів свиней надходять до біогазової установки та ферментуються протягом 30 діб. У результаті роботи біогазової станції підприємство щодоби отримує: 1200 м³ біогазу; 250–300 кВт електричної та 300–350 кВт теплової енергії; 60 т дигестату для збагачення ґрунту поживними речовинами. Дослідження засвідчили, що застосування органічного добрива (дигестату) позитивно впливає як на врожайність, так і на відновлення ґрунтів: кислотність ґрунту змінилася з рівня слабо кислого (5,4 рН) до близького до нейтрального (6,0 рН) упродовж одного року застосування. Врожайність кукурудзи на дослідній ділянці, де використовувався дигестат у поєднанні з мінеральними добривами, становила 11,9 т/га проти 9,6 т/га на контрольній ділянці з

виключно мінеральним живленням, тобто перевага сягала 2,3 т/га [17, с. 516–520].

За даними Італійської асоціації біогазу, Італія виробляє близько 30 млн т дигестату на рік, що дозволяє заощадити 400 млн євро на органічних добривах [17, с. 520].

Механічний рециклінг широко застосовується для вторинного перероблювання пластикової упаковки та агроволокна, а також деревних відходів (виробництво пелет і брикетів). Інноваційні методи дозволяють виробляти вторинні агроплівки, переробляти поліетиленову тару на будівельні матеріали, а також упроваджувати біорозкладні упаковки, що не потребують складної утилізації [5, с. 1–2, 11–13].

Хімічний рециклінг передбачає перероблювання аграрних відходів шляхом застосування хімічних і термохімічних процесів для отримання нових корисних продуктів із високою доданою вартістю. У межах даного підходу відходи рослинного та органічного походження можуть використовуватися як сировина для біорефайнерії та виробництва біоетанолу, біодизеля, біополімерів, органічних кислот, біохімічних сполук та інших вторинних ресурсів. Однією з ключових переваг хімічного рециклінгу є можливість глибокої трансформації біомаси та отримання енергетичних і промислових продуктів, придатних для повторного використання в економічному циклі. Водночас застосування цього методу потребує попередньої підготовки сировини, спеціалізованого обладнання та належного технологічного забезпечення, що може підвищувати операційні витрати й стримувати його широке впровадження в агропромисловому секторі України [22, с. 5–7].

Таким чином, різні форми рециклінгу взаємно доповнюють одна одну, формуючи комплексну систему управління відходами в АПК. Вторинне та комплексне використання відходів агропромислового виробництва, зокрема харчової промисловості, відкриває перспективи не лише для оптимізації основних виробничих циклів, але й для створення додаткової товарної продукції з високою доданою вартістю – залучення аграрних відходів у виробництво біопалив, фармацевтичних субстанцій, біополімерних матеріалів [2, с. 2–4; 6, с. 121–123].

Поряд із традиційними методами перероблювання відходів важливим напрямом інноваційного розвитку АПК стає інтеграція технологій штучного інтелекту в системи управління відходами. За оцінками аналітиків Research and Markets, обсяг світового ринку ІТ-технологій в агропромисловому комплексі за підсумками 2019 р. становив 17,44 млрд дол. США, причому близько 39% продажів припало на Північну Америку. За прогнозами, у 2025 р. видатки держав по всьому світі на інтелектуальне сільське господарство мали зрости утричі [8, с. 59]. О. Лебідь, С. Кіпоренко та В. Вовк, систематизуючи напрями застосування ШІ в аграрному виробництві, виділяють три основні блоки: фотографування та статистичні спостереження (діагностика патологій рослин і тварин, моніторинг ґрунтів, прогнозування природно-кліматичних умов), відео- та аудіо аналіз (моніторинг діяльності тварин, автоматизація технічних систем) і робототехніка (технічна автоматизація сільськогосподарських процесів,

обробка рослин речовинами, небезпечними для здоров'я людини) [8, с. 63].

Технології ШІ дозволяють принципово підвищити якість управління відходами на всіх етапах – від сортування до логістики та прогнозування. Аграрний сектор економіки, як один із найбільших виробників відходів стикається з викликом їхньої ефективної обробки, тоді як традиційні підходи нерідко є неефективними та призводять до значних ресурсних втрат. Зокрема, застосування комп'ютерного зору забезпечує автоматизоване сортування відходів із точністю до 98% для пластику та 97% для паперу [16], суттєво мінімізуючи людський фактор. Роботизовані машини, що використовують ШІ, здатні усунути до 80% обсягу хімікатів, які, зазвичай, розпорошуються на посіви, і знизити витрати гербіцидів на 90% [8, с. 62].

Алгоритми машинного навчання відіграють ключову роль у прогнозуванні обсягів утворення відходів, оптимізації маршрутів їх збору та прогнозуванні поломок обладнання, що дозволяє скоротити простой виробництва на 35% та знизити логістичні витрати на 19% [15]. Порівняльні технічні характеристики ручного та ШІ-сортування наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Технічні характеристики ШІ-сортування відходів порівняно з ручним

Параметр	Ручне сортування	ШІ-сортування	Покращення
Швидкість (об'єктів/хвилину)	40–50	80–160 (робот) / 1000+ (пневмоджети)	+100% ... +2 000%
Точність ідентифікації	75–85%	95–98%	+13–23%
Кількість категорій відходів	10–20	111+ (Greyparrot)	+450%
Час роботи (год/день)	8–10	22–24	+120–200%
Рівень контамінації вихідного матеріалу	15–25%	2–5 %	–80%

Джерело: складено авторами на основі [15; 16; 18]

Алгоритми машинного навчання здатні також оптимізувати параметри переробних процесів – наприклад, температуру анаеробного зброджування при виробництві біогазу з харчових відходів або параметри компостування для підвищення якості кінцевого продукту. Інтелектуальні системи моніторингу, що відстежують стан відходів та обладнання в режимі реального часу, дозволяють оперативно реагувати на відхилення та запобігати аваріям. Загалом, впровадження ШІ в АПК не лише сприяє зменшенню обсягів відходів, а й відкриває нові можливості для отримання цінних ресурсів – біогазу, компосту, перероблених матеріалів – прискорюючи перехід галузі до циркулярної моделі господарювання.

Впровадження технологій рециклінгу надає підприємствам АПК суттєві економічні переваги. У дослідженні [6, с. 123] економічний ефект утилізації відходів структуровано на два основні компоненти: первинний ефект – зниження негативного антропогенного впливу на довкілля завдяки скороченню техногенного забруднення, збільшенню площ сільськогосподарських угідь, придатних для господарського використання, та оптимізації витрат на зберігання, транспортування й утилізацію відходів; кінцевий (інтегральний

соціально-економічний) ефект – зростання якості життя населення, підвищення продуктивності суспільного виробництва та збільшення національного багатства через раціональне використання природних ресурсів.

По-перше, перероблювання органічних залишків і пакувальних матеріалів знижує витрати на їхнє зберігання та транспортування. По-друге, виробництво біогазу, компосту та кормових добавок формує додаткові джерела доходу. По-третє, застосування біодобрих зменшує витрати на придбання хімічних добрив і підвищує родючість ґрунтів. По-четверте, відповідність екологічним стандартам ЄС є обов'язковою умовою для експорту агропродукції та відкриває нові ринки збуту [12, с. 134–137]. В екологічному вимірі рециклінг дозволяє знизити ризики забруднення ґрунтів і водних ресурсів, скоротити викиди парникових газів та реалізувати принципи раціонального використання ресурсів та повторного залучення відходів у виробництво [2, с. 11–13; 10, с. 124–125].

Для стимулювання розвитку рециклінгу в АПК держава може застосовувати фінансові стимули та гранти (зокрема, в рамках «Європейського Зеленого Курсу»), субсидування біогазових і компостувальних установок, а також пільгове кредитування підприємств, що займаються вторинним переробленням відходів. В Україні чинне законодавство у сфері управління відходами не містить спеціалізованих механізмів для агропромислового комплексу, бракує санкцій за забруднення довкілля аграрними підприємствами, відсутні комплексні державні програми підтримки рециклінгу [13, с. 6–9]. Серед ключових перешкод – високі капітальні витрати на спеціалізоване обладнання, недостатня кількість переробних підприємств та низький рівень екологічної обізнаності агровиробників. На думку О. Лебеда, С. Кіпоренко та В. Вовк, одну з найсерйозніших загроз для аграрного сектору економіки України становить відставання від передових країн у розробці технологій ШІ для сільського господарства, адже підготовка кадрів у галузевих навчальних закладах ведеться за застарілими програмами з нестачею компетенцій щодо застосування ШІ в аграрному виробництві [8, с. 70–71].

Результати дослідження ТОВ «Органік-Д» підтверджують, що застосування безвідходних технологій забезпечує синергетичний ефект на кількох рівнях. На рівні підприємства: будівництво біогазових установок вирішує, по-перше, екологічні питання, зокрема зменшенню обсягів органічних відходів, скороченню викидів парникових газів, зниженню рівня забруднення ґрунтів і покращенню їх агрохімічних властивостей завдяки використанню дигестату як органічного добрива. По-друге – енергетичні (забезпечення незалежності від ринкових цін на газ та електроенергію), а отриманий дигестат, за умови правильного використання, дає відчутний ефект на врожайність [17, с. 517–518]. На макроекономічному рівні безвідходне виробництво забезпечує соціально-економічний розвиток сільських районів (збільшення зайнятості, покращення інфраструктури), збереження і поліпшення енергетичної та екологічної безпеки країни. При цьому держава має відігравати ключову роль – упроваджуючи чітке регулювання, застосовуючи методи стимулювання (державна підтримка) та забезпечуючи правовий захист [17, с. 517].

Висновки. Рециклінг в АПК є ключовим елементом сталого розвитку галузі, що органічно поєднує економічні вигоди та екологічну відповідальність. Систематизація видів рециклінгу (біологічного, хімічного, механічного) засвідчує специфічний потенціал кожного з них залежно від типу аграрних відходів. Класифікація відходів АПК – рослинних залишків, тваринних відходів, відходів кормовиробництва та харчової промисловості – за ресурсним потенціалом дозволяє визначити пріоритетні напрями їхнього вторинного залучення.

Аналіз вітчизняного та закордонного досвіду засвідчує, що рециклінг аграрних відходів справляє подвійний ефект: первинний (скорочення техногенного навантаження на довкілля) та інтегральний соціально-економічний (зростання якості життя, підвищення продуктивності виробництва). Практичний досвід ТОВ «Органік-Д» підтвердив, що впровадження біогазових установок із застосуванням дигестату забезпечує зростання врожайності кукурудзи на 2,3 т/га, нормалізацію кислотності ґрунту та суттєве скорочення витрат на мінеральні добрива.

В Україні наявні серйозні структурні проблеми в управлінні відходами АПК: недостатність фінансування, слабка інфраструктура і прогалини у законодавстві стримують розвиток галузі. Адаптація успішного досвіду країн ЄС – розбудова мережі біогазових установок, масштабування компостування, вдосконалення нормативного регулювання – може суттєво прискорити перехід аграрного сектору економіки до принципів циркулярної економіки. Перспективним напрямом, що потребує поглибленого дослідження, є інтеграція технологій штучного інтелекту в системи управління відходами АПК: комп'ютерний зір та алгоритми машинного навчання вже демонструють значний потенціал у підвищенні точності сортування, прогнозуванні обсягів відходів та оптимізації логістики перероблювання. Подальші наукові розвідки доцільно зосередити на розробці комплексних моделей цифрового управління відходами в агровиробництві та оцінці економічної ефективності ШІ-рішень для підприємств різних масштабів.

Список використаних джерел

1. Айрапетян Т.С., Єпоян С.М. Технології переробки та утилізації відходів: лекційні матеріали. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2022. 116 с. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/65095/> (дата звернення: 26.02.2025).
2. Chen S. C., Dang X., Xu Q.-q., Own C.-M. Transforming Waste into Value: Sustainable Recycling of Agricultural Resources Under the “Carbon Peak and Carbon Neutrality” Vision. *Sustainability*. 2025. Vol. 17 (1). Article 55. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17010055> (дата звернення: 11.05.2026).
3. Кучерява М.В., Бичихін Є.В. Запровадження циркулярної і зеленої економіки в контексті досягнення цілей сталого розвитку та забезпечення економічної безпеки держави: огляд сучасних концепцій. *Фінанси України*. 2024. № 10. С. 86–104. DOI: <https://doi.org/10.33763/finukr2024.10.086>.
4. Дубневич Ю., Войнича Л., Дубневич Н. Ієрархія управління відходами: європейська та українська моделі. *Аграрна економіка*. 2022. Т. 15, № 1–2.

C. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.31734/agrarecon2022.01-02.053>

5. Schyns Z. O. G., Shaver M. P. Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review. *Macromolecular Rapid Communications*. 2021. Vol. 42(3). DOI: <https://doi.org/10.1002/marc.202000415>.

6. Дубневич Ю., Жук Є. Роль управління відходами у забезпеченні екологічної та економічної ефективності агропромислових підприємств. *Аграрна економіка*. 2025. Т. 18, № 1–2. С. 119–127. DOI: <https://doi.org/10.31734/agrarecon2025.01-02.119>

7. Rao M.M., Botsa S.M., Rao T.P., Goddu S.R., Vijayasanthi C.A comprehensive review on agricultural waste production and onsite management with circular economy opportunities. *Discover Sustainability*. 2024. Vol. 5. Article 288. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00492-z>

8. Лебідь О.В., Кіпоренко С.С., Вовк В.Ю. Використання технологій штучного інтелекту в сільському господарстві: європейський досвід та застосування в Україні. *Електронне моделювання*. 2023. Т. 45, № 3. С. 57–71. DOI: <https://doi.org/10.15407/emodel.45.03.057>

9. Koval V., Atstaja D., Filipishyna L., Udovychenko V., Kryshstal H., Gontaruk Y. Sustainability Assessment and Resource Utilization of Agro-Processing Waste in Biogas Energy Production. *Climate*. 2025. Vol. 13(5). Article 99. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli13050099> (дата звернення: 11.05.2026).

10. Радовенчик В.М., Гомеля М.Д. Тверді відходи: збір, переробка, зберігання : підручник. Київ : Кондор, 2010. 552 с. URL: http://books.zntu.edu.ua/book_info.pl?id=237743 (дата звернення: 26.02.2025).

11. Koukou M. Agricultural waste generation, management, environmental impact, recycling challenges and sustainable solutions. *Journal of Recycling and Waste Management*. 2023. Vol. 15 Issue 02. URL: <https://www.walshmedicalmedia.com/open-access/agricultural-waste-generation-management-environmental-impact-recycling-challenges-and-sustainable-solutions.pdf> DOI: 10.35248/2252-5211.25.15.615 (дата звернення: 09.04.2026)

12. Сухенко Ю.Г., Серьогін О.О., Сухенко В.Ю., Рябокочнь Н.В. Ресурсозберігаючі технології в харчових і переробних виробництвах : підручник. Київ: Компринт, 2016. 338 с. URL: https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/3635/1/ПІДРУЧНИК_Ресурсозберігаючі%20технології.pdf (дата звернення: 26.02.2025).

13. Утилізація та рекуперація відходів : підручник. Харків : БТУ, 2020. 134 с. URL: <https://repo.btu.kharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/0037107d-6ea5-4b65-a623-a69a544c7b83/content> (дата звернення: 26.02.2026).

14. Фурдичко О.І., Дребот О.І., Дем'янюк О.С., Ткач Є.Д., Бунас А.А. Екологія агросфери : підручник. Київ : ДІА, 2022. 336 с. DOI: <https://doi.org/10.33730/978-617-7785-30-8> URL: https://www.agroeco.org.ua/wp-content/uploads/Publications/ecology_agrosphere.pdf (дата звернення: 26.02.2025).

15. AMP Sortation. Case Studies: AI-Driven Recycling Systems. 2024–2025. URL: <https://ampsortation.com/resources/case-studies> (дата звернення: 20.02.2025).

16. Greyparrot AI. What We Learned by Detecting 40 Billion Waste Objects: Recycling Data Report. 2024. URL: <https://www.greyparrot.ai/resources/blog/2024-recycling-data> (дата звернення: 20.02.2026).
17. Kaletnik G., Honcharuk I., Okhota Yu. The Waste-Free Production Development for the Energy Autonomy Formation of Ukrainian Agricultural Enterprises. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020. Vol. XI, № 3(43). P. 513–522. DOI: [https://doi.org/10.14505//jemt.v11.3\(43\).02](https://doi.org/10.14505//jemt.v11.3(43).02)
18. ZIPDO. AI in the Recycling Industry Statistics: Education Report 2026. URL: <https://zipdo.co/ai-in-the-recycling-industry-statistics> (дата звернення: 20.02.2025).
19. IEA Bioenergy. *Manure utilisation: environmental and energy benefits*. Paris: International Energy Agency Bioenergy Task 37, 2025. URL: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2025/09/IEA-Bioenergy-Task-37-Manure-utilization-2025.pdf> (дата звернення: 09.04.2026).
20. Офіційний вебсайт Державної служби статистики України. URL: <https://data.gov.ua/organization/derzhavna-sluzhba-statystyky-ukrayiny> (дата звернення: 09.04.2026).
21. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). URL: <https://www.ipcc.ch/> (дата звернення: 09.04.2026).
22. Sarangi P.K., Subudhi S., Bhatia L. et al. Utilization of agricultural waste biomass and recycling toward circular bioeconomy. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29. P. 56939–56952. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20669-1>.

References

1. Airapetian, T. S., & Yepoian, S. M. (2022). Tekhnolohii pererobky ta utylizatsii vidkhodiv: lektsiini materialy [Technologies for waste processing and recycling: lecture materials]. Kharkiv: O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Retrieved from: <https://eprints.kname.edu.ua/65095/> [in Ukrainian].
2. Chen, S. C., Dang, X., Xu, Q.-q., & Own, C.-M. (2025). Transforming waste into value: Sustainable recycling of agricultural resources under the “Carbon Peak and Carbon Neutrality” vision. *Sustainability*, 17 (1), 55. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17010055> [in English].
3. Kucheriava, M.V., & Bychykhin, Ye.V. (2024). Zaprovdzhennia tsyrkuliarnoi i zelenoi ekonomiky v konteksti dosiahnennia tsilei staloho rozvytku ta zabezpechennia ekonomichnoi bezpeky derzhavy: Ohliad suchasnykh kontseptsii [Implementation of circular and green economy in the context of achieving sustainable development goals and ensuring economic security of the state: Review of modern concepts], *Finansy Ukrainy – Finance of Ukraine*, 10, 86–104. DOI: <https://doi.org/10.33763/finukr2024.10.086> [in Ukrainian].
4. Dubnevych, Yu., Voynycha, L., & Dubnevych, N. (2022). Hierarkhiia upravlinnia vidkhodamy: yevropeiska ta ukrainska modeli [Waste management hierarchy: European and Ukrainian models]. *Ahrarna ekonomika – Agrarian economy*, 15 (1–2), 53–60. DOI: <https://doi.org/10.31734/agrarecon2022.01-02.053> [in Ukrainian].

5. Schyns, Z.O.G., & Shaver, M.P. (2021). Mechanical recycling of packaging plastics: A review. *Macromolecular Rapid Communications*, 42 (3). DOI: <https://doi.org/10.1002/marc.202000415> [in English].

6. Dubnevych, Yu., & Zhuk, Ye. (2025). Rol upravlinnia vidkhodamy u zabezpechenni ekolohichnoi ta ekonomichnoi efektyvnosti ahropromyslovykh pidpriemstv [The role of waste management in ensuring environmental and economic efficiency of agro-industrial enterprises]. *Ahrarna ekonomika – Agrarian economy*, 18 (1–2), 119–127. DOI: <https://doi.org/10.31734/agrarecon2025.01-02.119> [in Ukrainian].

7. Rao, M.M., Botsa, S.M., Rao, T.P., Goddu, S.R., & Vijayasanthi, C. (2024). A comprehensive review on agricultural waste production and onsite management with circular economy opportunities. *Discover Sustainability*, 5, 288. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00492-z> [in English].

8. Lebid, O.V., Kiporenko, S.S., & Vovk, V.Yu. (2023). Vykorystannia tekhnolohii shtuchnoho intelektu v silskomu hospodarstvi: yevropeyskyi dosvid ta zastosuvannia v Ukraini [Use of artificial intelligence technologies in agriculture: European experience and application in Ukraine]. *Elektronne modeliuвання – Electronic modeling*, 45 (3), 57–71. DOI: <https://doi.org/10.15407/emodel.45.03.057> [in Ukrainian].

9. Koval, V., Atstaja, D., Filipishyna, L., Udovychenko, V., Kryshtal, H., & Gontaruk, Y. (2025). Sustainability assessment and resource utilization of agro-processing waste in biogas energy production. *Climate*, 13 (5), 99. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli13050099> [in English].

10. Radovenchyk, V.M., & Homelia, M.D. (2010). Tverdi vidkhody: zbir, pererobka, zberihannia [Solid waste: Collection, processing, storage]. Kyiv: Kondor. Retrieved from: http://books.zntu.edu.ua/book_info.pl?id=237743 [in Ukrainian].

11. Koukou, M. (2023). Agricultural waste generation, management, environmental impact, recycling challenges and sustainable solutions. *Journal of Recycling and Waste Management*, 15 (2). DOI: <https://doi.org/10.35248/2252-5211.25.15.615> [in English].

12. Sukhenko, Yu.H., Serohin, O.O., Sukhenko, V.Yu., & Riabokon, N.V. (2016). Resursozberihaiuchi tekhnolohii v kharchovykh i pererobnykh vyrobnytstvakh [Resource-saving technologies in food and processing industries]. Kyiv: Kompyrnt. Retrieved from: https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/3635/1/ПІДРУЧНИК_Ресурсозберігаючі%20технології.pdf [in Ukrainian].

13. Utylizatsiia ta rekuperatsiia vidkhodiv [Waste utilization and recovery]. (2020). Kharkiv: BTU. Retrieved from: <https://repo.btu.kharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/0037107d-6ea5-4b65-a623-a69a544c7b83/content> [in English].

14. Furdychko, O.I., Drebot, O.I., Demianiuk, O.S., Tkach, Ye. D., & Bunas, A.A. (2022). *Ekolohiia ahrosfery [Ecology of the agrosphere]*. Kyiv: DIA. DOI: <https://doi.org/10.33730/978-617-7785-30-8> [in Ukrainian].

15. AMP Sortation. (2024–2025). *Case studies: AI-driven recycling systems*. Retrieved from: <https://ampsortation.com/resources/case-studies> [in English].

16. Greyparrot AI. (2024). What we learned by detecting 40 billion waste objects: Recycling data report. Retrieved from: <https://www.greyparrot.ai/resources/blog/2024-recycling-data> [in English].
17. Kaletnik, G., Honcharuk, I., & Okhota, Yu. (2020). The waste-free production development for the energy autonomy formation of Ukrainian agricultural enterprises. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 11 (3(43)), 513–522. DOI: [https://doi.org/10.14505/jemt.v11.3\(43\).02](https://doi.org/10.14505/jemt.v11.3(43).02) [in English].
18. ZIPDO. (2026). AI in the recycling industry statistics: Education report 2026. Retrieved from: <https://zipdo.co/ai-in-the-recycling-industry-statistics> [in English].
19. IEA Bioenergy. (2025). Manure utilisation: Environmental and energy benefits. Paris: International Energy Agency Bioenergy Task 37. Retrieved from: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2025/09/IEA-Bioenergy-Task-37-Manure-utilization-2025.pdf> [in English].
20. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [State Statistics Service of Ukraine]. (n.d.). Retrieved from: <https://data.gov.ua/organization/derzhavna-sluzhba-statystyky-ukrayiny> [in Ukrainian].
21. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (n.d.). Retrieved from: <https://www.ipcc.ch/> [in English].
22. Sarangi, P.K., Subudhi, S., Bhatia, L., et al. (2022). Utilization of agricultural waste biomass and recycling toward circular bioeconomy. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 56939–56952. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20669-1> [in English].

Відомості про авторів

ДУБНЕВИЧ Юрій Володимирович – кандидат економічних наук, доцент, завідувач кафедри менеджменту ім. проф. Є. Храпливого, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького (80381, Львівська область, м. Дубляни, вул. Володимира Великого, 1, e-mail: DubnevychY@lnup.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4843-6239>).

ЖУК Єгор Володимирович – аспірант другого року навчання кафедри економіки Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького (80381, Львівська область, м. Дубляни, вул. Володимира Великого, 1, e-mail: yehorzhuk092@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-5578-4945>).

ДРОБОТЕНКО Артем Владиславович – аспірант другого року навчання кафедри менеджменту ім. проф. Є. Храпливого, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького (80381, Львівська область, м. Дубляни, вул. Володимира Великого, 1, e-mail: artem.drobotenko@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-5150-6522>).

DUBNEVYCH Yuriy – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Management named after Prof. Ye. Khraplyvy, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies

Lviv (80381, Lviv District, 1 Volodymyra Velykoho Str., e-mail: DubnevychY@lnup.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4843-6239>).

ZHUK Yehor – Postgraduate Student of the Second Year of Study of the Department of Economics, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv (80381, Lviv District, 1 Volodymyra Velykoho Str., e-mail: yehorzuk092@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-5578-4945>).

DROBOTENKO Artem – Postgraduate Student of the Second Year of Study of the Department of Management named after Prof. Ye. Khraplyvy, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv (80381, Lviv District, 1 Volodymyra Velykoho Str., e-mail: artem.drobotenko@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-5150-6522>).

Надходження статті 20.04.2026.

Прийнято 01.05.2026.

Опубліковано 28.05.2026.

УДК 657.1:330.142.2:005.72

DOI: 10.37128/2411-4413-2026-2-2

**БАГАТО-
КРИТЕРІАЛЬНА
ОЦІНКА ТА
ОБЛІКОВЕ
ВІДОБРАЖЕННЯ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬ-
НОГО КАПІТАЛУ
ПІДПРИЄМСТВА В
МЕРЕЖЕВИХ
ОРГАНІЗАЦІЙНИХ
СТРУКТУРАХ**

ЗАХАРОВ Д.М.,
доктор філософії з обліку і оподаткування,
доцент кафедри інформаційних систем в
управлінні та обліку,
Державний університет
«Житомирська політехніка»
(м. Житомир)

Трансформація сучасної економіки в напрямі домінування знанневих активів над матеріальними зумовлює принципову неадекватність традиційних інструментів бухгалтерського обліку щодо відображення реальної вартості підприємства. Особливого значення проблема набуває в умовах функціонування мережеских організаційних структур таких як кластери, альянси, консорціуми та концерни, де інтелектуальний капітал є одночасно ресурсом і результатом міжсуб'єктної взаємодії, а традиційні облікові методи не забезпечують його повного відображення. Дослідження зосереджене на розробці та емпіричній верифікації методу багатокритеріальної атрибуції вкладу (МБАВ), як інструменту оцінки інтелектуального капіталу підприємства в мережеских структурах з урахуванням вимог бухгалтерського обліку та оподаткування.

У статті здійснено критичний аналіз відомих методів оцінки інтелектуального капіталу (Balanced Scorecard, Skandia Navigator, коефіцієнта VAIC та коефіцієнта Тобіна) і встановлено їхню принципову неспроможність вирішити завдання ідентифікації та

MULTI-CRITERIA ASSESSMENT AND ACCOUNTING REPRESENTATION OF INTELLECTUAL CAPITAL OF THE ENTERPRISE IN NETWORK ORGANIZATIONAL STRUCTURES © 2026 by ZAKHAROV Dmytro is licensed under CC BY 4.0

