

УДК 338.43:004.9

DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V58(2026)-18

Кіндрат О. В., кандидат економічних наук, доцент, завідувач кафедри менеджменту ІТ-сфери, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів, Україна

ORCID: 0000-0003-0820-2806

e-mail: olenakind@ukr.net

Христенко О. А., кандидат економічних наук, доцент, завідувач кафедри економіки підприємств, Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

ORCID: 0000-0003-0431-5328

e-mail: olhakhrystenko@gmail.com

Роль цифровізації в розвитку виробничої діяльності аграрних підприємств

Анотація. У статті розглянуто теоретичні та практичні аспекти цифровізації у розвитку виробничої діяльності аграрних підприємств в умовах сучасних економічних викликів. Установлено, що цифровізація бізнес-процесів аграрних підприємств є стратегічною трансформацією їхньої діяльності на основі впровадження сучасних інформаційних технологій. Визначено, що ефективність цифровізації виробничих процесів аграрних підприємств є категорією, яка відображає ступінь досягнення цілей розвитку виробничого процесу та підприємства в цілому завдяки впровадженню цифрових технологій. Запропоновано модель управління ефективністю цифровізації виробничого процесу, яка дає змогу приймати управлінські рішення на основі інтегрованої оцінки ефективності цифровізації з урахуванням специфіки виробничого процесу аграрних підприємств.

Ключові слова: цифровізація, модель, аграрне підприємство, ефективність, бізнес-процеси, цифрові технології.

Kindrat Olena, PhD in Economics, Associate Professor, Head of the Department of IT Management, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv, Lviv, Ukraine

Khrystenko Olga, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Enterprise Economics, Mykolaiv National Agrarian University, Mykolaiv, Ukraine

The role of Digitalization in the Development of Production Activities of Agricultural Enterprises

Abstract. Introduction. The transition of agricultural enterprises to digital technologies has changed the nature of their business. Electronic document management, ERP and CRM systems, big data analytics, artificial intelligence and digital planning affect document approval, order processing, inventory movement, customer invoicing and management reporting. Digital transformation differs from simple automation in its goals and scope: it involves a substantial increase in efficiency, the use of advanced technologies and the simultaneous coverage of several business areas.

Purpose. The purpose of this article is to study the role of digitalization in the development of production activities of agricultural enterprises at the current stage of changing business conditions, and to substantiate a reproducible model for assessing the efficiency of such digitalization.

Methods. The study uses methods of theoretical generalization, systematization, comparative and index analysis, normalization of partial indices relative to a benchmark value, and an integral (weighted) assessment method, applied to a case study of a farm enterprise in Lviv oblast

Results. It is established that the efficiency of digitalization of production processes of agricultural enterprises is a category reflecting the degree of achievement of production and enterprise development goals through the introduction of digital technologies. A model for managing the efficiency of digitalization of the production process is proposed, allowing management decisions to be made based on an integrated efficiency assessment (IE) that combines social, technological, production and managerial partial indices. The decision criterion is clarified: a digitalization project is accepted when $NPV > 0$ and $IE \geq 1$. Based on the proposed model, an investment project for the digitalization of a farm's production process was developed and tested; the calculated integral index equals 1.50, exceeding the benchmark value of leading farms in the region.

Conclusions. The digitalization of business processes of agricultural enterprises is a strategic transformation of their activities based on modern IT solutions. The proposed integral model, with a unified and internally consistent interpretation of the IE criterion, provides a reproducible tool for managerial decision-making on digitalization projects in the agricultural sector.

Keywords: digitalization, model, agricultural enterprise, efficiency, business processes, digital technologies.

JEL Classification: C88, D20, Q10.

¹ Стаття надійшла до редакції: 25.08.2026

Received: 25 August 2026

Постановка проблеми. Перехід аграрних підприємств до цифрових технологій змінив характер їхньої господарської діяльності. Електронний документообіг, ERP- та CRM-системи, аналітика великих даних, штучний інтелект та цифрове планування впливають на процеси затвердження документів, обробку замовлень, рух запасів, виставлення рахунків клієнтам та управлінську звітність.

Цифровізація, також відома як цифрова трансформація, - це процес модернізації та оптимізації бізнес-процесів у різних сферах діяльності з використанням сучасних інформаційних технологій. Метою цього процесу є підвищення ефективності та конкурентоспроможності організацій і галузі АПК загалом. Цифрова трансформація відрізняється від простої автоматизації своїми цілями та обсягом: вона передбачає суттєве підвищення ефективності, використання передових технологій та одночасне охоплення кількох бізнес-сфер.

Процес цифрової трансформації є довгостроковим та поступовим. Він пов'язаний з певним рівнем розвитку інформаційно-комунікаційних технологій і впливає не лише на постачальників послуг, а й на безпосередньо виробничі підрозділи. Цифрова трансформація сприяє формуванню нової економічної системи, у якій ключовими ресурсами стають інформація та людський капітал, і водночас створює нові можливості для підвищення конкурентоспроможності підприємств, вимагаючи вирішення значних організаційних та фінансових завдань.

Успішна цифровізація можлива завдяки впровадженню стратегій, спрямованих на забезпечення рівного доступу до технологій та розвиток цифрових навичок співробітників. Вона впливає на всі аспекти бізнесу - від управління та логістики до комунікації з клієнтами й партнерами. В умовах глобалізації та стрімкого технологічного розвитку використання цифрових рішень стало важливим інструментом забезпечення конкурентоспроможності аграрних підприємств і підвищення їхньої економічної ефективності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблематика цифровізації діяльності аграрних підприємств перебуває в центрі уваги вітчизняних і зарубіжних дослідників. Стратегічні напрями розвитку аграрних підприємств в умовах цифровізації економіки розглядають Бурдяк М. І. та Томашук І. В., які наголошують, що інтеграція цифрових технологій у систему стратегічного управління сприяє підвищенню керованості, адаптивності та довгострокової результативності діяльності агропідприємств [1].

Досліджуючи нові підходи до організації виробництва, управління ресурсами та функціонування ринку аграрних послуг, Критенко О. О. довів, що цифровізація аграрного виробництва є важливим чинником розширення ринків збуту

української сільськогосподарської продукції, а імплементація цифрових технологій виступає одним із ключових чинників стратегічного розвитку аграрного сектору України [3]. Кравченко М., вивчаючи вплив цифровізації розрахункових процесів на ефективність управління грошовими потоками аграрних підприємств, установила, що цифровізація розрахункових процесів поступово перетворюється на центральний чинник еволюції фінансового управління в аграрному секторі, інтегруючи технологічні, інституційні та аналітичні складові в єдиний управлінський контур [2].

Досліджуючи особливості масштабування цифрових інновацій в аграрному секторі, Стендер С. та Балла І. встановили, що найбільш відчутні економічні наслідки цифровізації пов'язані зі скороченням виробничих і логістичних витрат, зменшенням витрат та покращенням керованості операційних процесів, тоді як приріст урожайності має значний потенціал, проте істотно залежить від рівня технологічної зрілості господарств, доступності інфраструктури та кадрового забезпечення [7].

У ході емпіричного аналізу діяльності агропідприємств, що впровадили цифрові рішення (VRA, NDVI, Smart Irrigation, Farm Management Systems), Сухоставець А. І. довів суттєвий вплив цифровізації на структуру змінних витрат, урожайність і стабільність грошових потоків та обґрунтував, що цифрова трансформація є не разовим технологічним проектом, а довгостроковою інвестиційною стратегією, спрямованою на підвищення економічної стійкості й конкурентоспроможності аграрних підприємств [8].

У контексті осмислення цифрової трансформації аграрного сектору України Негрей М. В. розглядає її як системний процес модернізації виробничих і управлінських практик, що формується під впливом технологічних, інституційних та інвестиційних чинників, і виокремлює ключові виклики цифровізації агросфери - нерівномірність доступу до цифрової інфраструктури, дефіцит фінансових ресурсів та недостатній рівень цифрових компетентностей [4].

З позицій оцінювання продуктивності та стійкості підприємств цифрову трансформацію агропромислового комплексу аналізує Олійник І. В., який доводить, що цифрові рішення сприяють ефективнішому використанню ресурсів, зниженню виробничих ризиків і посиленню управлінської керованості [5]. Проблематика впливу цифрової трансформації на конкурентоспроможність аграрних підприємств України ґрунтовно проаналізована в дослідженні Палій М. та Канцедал Н., де цифрові технології розглядаються як ключовий чинник підвищення продуктивності й якості управлінських рішень, а впровадження цифрових інструментів сприяє оптимізації бізнес-процесів [6].

У контексті воєнного періоду цифрові можливості аграрної економіки України аналізують Шестакова А. В., Ткачук В. Я., Мельник Т. Ю. та Травін В. В.,

розглядаючи цифрові технології як інструмент забезпечення керованості та прозорості агровиробництва [9].

Міжнародний досвід підтверджує ці висновки. За результатами дослідження ФАО, засади якого викладено у фоновому аналітичному звіті до глобальної доповіді The State of Food and Agriculture 2022, цифрові та автоматизовані рішення в точному землеробстві здатні підвищувати продуктивність, ресурсоефективність та стійкість виробництва, проте масштаб отриманого ефекту суттєво залежить від доступності інфраструктури, вартості впровадження та рівня цифрової грамотності персоналу - тобто від тих самих бар'єрів, які виявлено і для українських агропідприємств [10]. Eastwood C., Klerkx L., Ayre M. та Dela Rue B. на основі аналізу практик впровадження smart farming наголошують, що економічний ефект цифровізації виробничих процесів реалізується повною мірою лише за умови узгодженого управління організаційними, соціальними й етичними аспектами технологічних змін, а не лише самим фактом придбання технології [11]. Аналогічний висновок отримано і в дослідженні Yuan Y., Wu H. та Shen Y. на масиві даних 211 лістингових аграрних компаній Китаю за 2009–2022 рр.: цифрова трансформація позитивно впливає на фінансові результати підприємств, однак ефект є нелінійним і опосередкованим інноваційною активністю та якістю управління [12].

Отже, попри значну увагу науковців до окремих аспектів цифровізації аграрних підприємств, недостатньо розробленим залишається питання побудови єдиної, методологічно узгодженої та відтворюваної моделі інтегральної оцінки ефективності цифровізації виробничого процесу, яка б поєднувала фінансові (NPV) та багатокритеріальні (соціальні, технологічні, виробничі, управлінські) показники в межах одного алгоритму прийняття управлінських рішень. Це й зумовлює актуальність цього дослідження.

Формулювання цілей дослідження. Метою статті є дослідження ролі цифровізації в розвитку виробничої діяльності аграрних підприємств на сучасному етапі змінних умов господарювання, а також побудова та апробація методики інтегральної оцінки ефективності цифровізації виробничого процесу.

Об'єктом дослідження є процес цифровізації виробничої діяльності аграрних підприємств.

Предметом дослідження є теоретико-методичні засади та практичний інструментарій оцінювання економічної ефективності цифровізації виробничого процесу аграрних підприємств.

Інформаційною базою дослідження слугували наукові праці вітчизняних та зарубіжних учених з проблематики цифровізації аграрного сектору, аналітичні матеріали й офіційні прайс-листи українських постачальників програмних рішень (ERP-, CRM-систем), а також первинні дані, отримані

авторами під час обстеження виробничого процесу фермерського господарства Львівської області.

Теоретико-методологічною основою роботи є системний підхід, принципи наукового узагальнення та порівняльного аналізу. У дослідженні використано такі методи: теоретичного узагальнення та систематизації - для аналізу наукових підходів до трактування цифровізації та її ефективності; індексний метод - для побудови часткових показників ефективності цифровізації (соціальної, технологічної, виробничої, управлінської); метод нормування показників щодо еталонного (базового) значення - для приведення різнорідних часткових індексів до порівняльного вигляду; метод середньозважених величин - для побудови інтегрального показника ефективності цифровізації ІЕ; метод дисконтованих грошових потоків - для розрахунку чистої приведеної вартості (NPV) проєкту цифровізації; метод аналізу чутливості - для визначення мінімально необхідного скорочення втрат робочого часу, за якого зберігається економічна доцільність проєкту ($NPV > 0$); а також метод картування потоку створення цінності (VSM) - для вимірювання трудомісткості виробництва до та після впровадження цифрових інструментів.

Алгоритм розрахунку інтегрального показника передбачає послідовне виконання таких кроків: (1) перевірку фінансової умови $NPV > 0$; (2) розрахунок часткових індексів I_i як відношення значення показника поточного періоду до значення попереднього періоду (формула 3); (3) нормування кожного часткового індексу відносно кращого галузевого (еталонного) значення I_{ir} (формула 2); (4) визначення питомої ваги кожного часткового показника ефективності W_i (детально розкрито нижче); (5) розрахунок інтегрального показника ІЕ як зваженої суми часткових показників (формула 1); (6) порівняння отриманого значення ІЕ з критерієм $IE \geq 1$ та прийняття управлінського рішення.

Метод визначення вагових коефіцієнтів. У цьому дослідженні використано аналітичний метод визначення ваг часткових показників - метод питомої ваги, за яким вага i -го показника ефективності визначається як частка його значення в сумі значень усіх часткових показників ефективності цифровізації, що включені до моделі. Такий підхід є прозорим і повністю відтворюваним: він не потребує додаткового опитування експертів і водночас автоматично забезпечує виконання умови нормування $\sum W_i = 1$ (100 %). Детальний розрахунок ваг для випадку фермерського господарства Львівської області наведено в таблиці 2.

Виклад основного матеріалу дослідження. Впровадження цифрових технологій дає змогу швидше приймати рішення, підвищувати точність прогнозування та зменшувати участь людини в рутинних завданнях.

Економічний ефект цифрових рішень не є одразу очевидним після запуску системи. Спочатку

підприємство зазнає організаційних змін: операції пришвидшуються, кількість помилок зменшується, дані стають точнішими. Фінансовий ефект стає помітним пізніше, коли ці зміни впливають на виробничі витрати, доходи, розрахунки з клієнтами та споживання ресурсів. Тому просте зіставлення витрат на впровадження й приросту прибутку не дає повної оцінки впливу цифровізації.

У науковій літературі цифровізація підприємства визначається як впровадження цифрових інструментів в окремі операції та реорганізація управління на рівні всієї економічної системи. Вужче тлумачення стосується автоматизації бухгалтерського обліку, документообігу, складських операцій або обслуговування клієнтів; ширше - пов'язане зі змінами бізнес-моделі, процесів ухвалення рішень, вимог до даних та міжвідомчої комунікації. Це розмежування є важливим для вибору метрик оцінювання, оскільки локальна автоматизація та цифрова трансформація

мають різні масштаби витрат і різні часові горизонти досягнення результату.

Цифровізація бізнес-процесів покращує економічну ефективність шляхом підвищення продуктивності, скорочення часу транзакцій, зменшення витрат та оптимізації ресурсів. Впровадження хмарних систем, CRM, ERP та аналітики даних зменшує обсяг ручної праці, пришвидшує ухвалення рішень і підвищує якість управління. Ключовими факторами такої ефективності є: зниження витрат на оформлення документів, логістику та найм персоналу завдяки віддаленій роботі; підвищення продуктивності за рахунок автоматизації рутинних завдань; пришвидшення бізнес-процесів завдяки скороченню циклів транзакцій; прозорість обліку завдяки точному збору даних у режимі реального часу; оптимізація використання людських ресурсів; ефективніше управління запасами за допомогою ERP-систем; підвищення точності маркетингових рішень на основі аналізу поведінки клієнтів.

Таблиця 1 Характеристика впливу цифровізації бізнес-процесів на ефективність розвитку підприємства

Показники	Опис	Характеристика
1. Прямий економічний вплив: оптимізація витрат	Цифровізація безпосередньо знижує операційні витрати (ОРЕХ)	Зменшення транзакційних витрат: електронне управління документами (EDM) знижує витрати на друк, логістику та зберігання паперу і пришвидшує затвердження контрактів у 5–10 разів. Зниження витрат на оплату праці: роботизована автоматизація процесів (RPA) та чат-боти замінюють персонал у рутинних завданнях (введення даних, первинна підтримка клієнтів). Економія на IT-інфраструктурі: перехід на хмарні технології (SaaS, IaaS) усуває потребу придбання й обслуговування власних серверів, перетворюючи капітальні витрати (CAPEX) на прогнозовані операційні витрати.
2. Непрямий економічний вплив: підвищення продуктивності та доходів	Цифрові інструменти створюють умови для розширення бізнесу без пропорційного збільшення витрат	Вища продуктивність праці: автоматизація вивільняє до 30–40 % часу лінійного персоналу дозволяючи зосередитися на завданнях із високою доданою вартістю. Прискорений оборот капіталу: системи ERP та SCM оптимізують запаси, зменшуючи обсяг оборотного капіталу, пов'язаного в сировині та готовій продукції. Точніший маркетинг і продажі: CRM-системи та аналітика дають змогу сегментувати клієнтів, прогнозувати попит і збільшувати середню вартість замовлення та коефіцієнт конверсії.
3. Якісні зміни в управлінні	Економічна ефективність часто залежить від швидкості та гнучкості управління	Усунення «людського фактору»: автоматичний збір даних мінімізує ймовірність помилок і втрати інформації. Ухвалення рішень на основі даних: системи бізнес-аналітики (BI) у режимі реального часу дозволяють виявляти прогалини в грошових потоках, зниження маржі або виробничі вузькі місця. Гнучкість бізнесу: цифрова компанія здатна швидко реструктуризувати логістику, змінювати продуктові лінійки або переводити співробітників на віддалену роботу у відповідь на ринкові кризи.
4. Інвестиційні ризики та бар'єри цифровізації	Цифровізація дає найбільший економічний ефект лише за умови подолання відповідних ризиків	Високі витрати на впровадження: початкові інвестиції в ліцензії, консалтинг, системну інтеграцію та обладнання окупаються протягом 1,5–5 років залежно від масштабу проекту. Опір персоналу: небажання співробітників змінювати звичні робочі процеси часто затримує впровадження і знижує прибутковість проекту. Кіберризики: перенесення критично важливих даних у цифрове середовище потребує додаткових витрат на захист від витоку даних і кібератак.

Джерело: складено авторами

У табл. 1 наведено характеристику впливу цифровізації бізнес-процесів за ключовими економічними показниками

Комплексний показник успішності цифровізації виявляється, зокрема, у зростанні рентабельності активів (ROA) та чистого прибутку підприємства. За окремими галузевими оцінками автоматизація бізнес-процесів здатна суттєво підвищувати операційну ефективність підприємств у середньостроковій перспективі, проте кількісний діапазон такого підвищення істотно варіюється залежно від галузі, масштабу підприємства й глибини впровадження.

В економічній оцінці цифрових проєктів розмежування між фінансовими результатами та організаційним впливом залишається принциповим. Пропонуємо розглядати ефективність упровадження цифрових технологій як цілісну властивість системи, що відображає ступінь, у якому вона відповідає потребам клієнтів, інвесторів, розробників та інших зацікавлених сторін.

У такому тлумаченні результат цифровізації пов'язаний з інтересами кількох учасників процесу й виходить за межі прибутку окремого періоду. При цьому доцільно визначати основні показники оцінки цифрових проєктів: термін окупності, чисту приведену вартість, внутрішню норму прибутковості, індекс прибутковості, рентабельність інвестицій та загальний економічний ефект. Ці показники корисні для розрахунку фінансової прибутковості проєкту, але менш придатні для відображення змін у швидкості затвердження документів, якості даних та операційній керованості.

Орієнтовна вартість впровадження комплексної ERP-системи (наприклад, рішення BAS AGRO.ERP, поширеного на українському ринку) для середнього українського аграрного підприємства (близько 5 000–10 000 га землі, 50 співробітників) становить 1 431 тис. грн. За середньорічних експлуатаційних витрат 120 000 тис. грн та очікуваній економії 5 % проєкт окуповується менш ніж за 3 місяці (0,24 року) завдяки оптимізації використання ресурсів.

1. Розрахунок вартості програмного забезпечення та ліцензій. Базова вартість придбання програмного забезпечення складається з вартості базової конфігурації, серверної ліцензії та кількості клієнтських робочих станцій (згідно з офіційними прайс-листами українських постачальників): базовий пакет BAS AGRO.ERP - 330 тис. грн; пакет клієнтських ліцензій на 50 робочих станцій - 123 тис. грн; серверна ліцензія - близько 24 тис. грн. Разом загальні витрати на програмне забезпечення (CAPEX) становлять $330 + 123 + 24 = 477$ тис. грн.

2. Розрахунок вартості послуг із впровадження та налаштування. Агропромисловий комплекс потребує масштабної адаптації ERP-системи до специфіки галузі (керування польовими технологічними картами, облік урожаю в силосах, інтеграція з пристроями GPS-трекінгу, розподіл витрат за полями).

За середньоринковою статистикою українських інтеграторів вартість впровадження комплексного бізнес-рішення вдвічі перевищує вартість самих ліцензій: етапи робіт (опитування, передача даних, налаштування модуля, навчання співробітників): $477\,000 \times 2,0 = 954,0$ тис. грн; загальні інвестиції в проєкт: $477\,000 + 954\,000 = 1\,431$ тис. грн.

3. Розрахунок економічного ефекту та терміну окупності. Для оцінки фінансової ефективності використано такі показники гіпотетичного аграрного підприємства: річний оборот - 150 000 тис. грн; річні операційні витрати (OPEX) - 120 000 тис. грн; очікуваний відсоток економії завдяки ERP - 5 % (консервативна оцінка; фактичне скорочення втрат у складському господарстві завдяки управлінню запасами, паливом, насінням і точним зважуванням може сягати 8–15 %).

Річна економія: $120\,000\,000 \times 0,05 = 6\,000\,000$ грн/рік.

Термін окупності (ROI):: $1\,431\,000 : 6\,000\,000 = 0,24$ року ($\approx 2,9$ місяця).

Джерелами економії є: управління посівними площами (створення електронних технологічних карт зменшує надмірне використання насіння й добрив); управління паливно-мастильними матеріалами та обладнанням (інтеграція з GPS-трекінгом запобігає нецільовому використанню палива та обладнання на полях); точний розподіл витрат за кожним полем, що дозволяє швидко виявляти збиткові ділянки; автоматизація зважування та обліку на елеваторі, що усуває втрати зерна й помилки класифікації.

До ризиків, здатних збільшити бюджет проєкту, належать тривалий опір персоналу (операторів техніки, агрономів, бухгалтерів) щодо введення даних у систему та недостатня інтеграція ERP з обладнанням і датчиками на місцях, що потребує ручного введення даних.

Орієнтовна вартість впровадження CRM-системи (з використанням спеціалізованого галузевого рішення або настроюваних платформ, адаптованих до аграрного сектору) для українського аграрного підприємства (відділ продажу/закупівель з 15 користувачами) становить 340 тис. грн. За річного граничного прибутку 15 000 тис. грн та мінімальному підвищенні коефіцієнта конверсії на 4 % система окуповується за 6,8 місяця (0,57 року) завдяки автоматизації воронки продажу та утриманню клієнтів.

1. Розрахунок вартості програмного забезпечення (хмарні ліцензії). CRM в аграрному секторі найчастіше використовує хмарну модель (SaaS), що виключає витрати на придбання власних серверів (CAPEX). Розрахунок базується на 15 робочих станціях (менеджери із закупівлі зерна, менеджери з продажу готової продукції/насіння/добрив, керівники відділів).

Вартість бізнес-ліцензії CRM (середня по ринку) - близько 1 000 грн на місяць на користувача.

Річний бюджет ліцензій: $15 \times 1\,000 \text{ грн} \times 12 \text{ місяців} = 180$ тис. грн/рік.

2. Розрахунок вартості послуг з впровадження та налаштування.

У сільськогосподарській галузі CRM вирішує специфічні завдання: інтеграцію з ваговимірними станціями та лабораторіями, аналіз поточних біржових цін, відстеження логістики зерновозів та облік договорів купівлі-продажу. Вартість налаштування базових процесів за допомогою інтегратора становить приблизно 100 % від вартості річних ліцензій: 160 тис. грн (одноразовий платіж).

Загальний бюджет 1-го року: $180\,000 + 160\,000 = 340$ тис. грн.

3. Розрахунок фінансового впливу та рентабельності інвестицій (ROI). Розглянуто показники середньостатистичного українського сільськогосподарського трейдера чи дистриб'ютора насіння/засобів захисту рослин: поточний річний чистий прибуток - 15 000 тис. грн; очікуване підвищення ефективності завдяки впровадженню CRM - 4 % (за рахунок зменшення втрат потенційних клієнтів, швидшого затвердження специфікацій та своєчасних нагадувань контрагентам).

Річний фінансовий ефект: $15\,000\,000 \times 0,04 = 600\,000$ грн/рік.

Термін окупності: $340\,000 : 600\,000 = 0,57$ року ($\approx 6,8$ місяця).

Рентабельність інвестицій (ROI) за перший рік: $(600\,000 - 340\,000) : 340\,000 \times 100 \% = 76,47 \%$.

Основні характеристики показників ефективності CRM в аграрному секторі України: систематизація бази даних фермерів і виробників дозволяє менеджеру бачити історію врожаю та обсяг запасів господарства й пропонувати оптимальну ціну закупівлі швидше за конкурентів; інтеграція з накладними та системами відстеження транспорту дає змогу контролювати поточне місцезнаходження зерновоза з законтракованою продукцією; автоматизація документообігу (шаблони договорів, специфікацій, рахунків-фактур) скорочує час обробки транзакцій з кількох годин до 10 хвилин; реєстрація показників якості зерна (вологість, домішки, клейковина) дає змогу автоматично формувати претензію в разі розбіжності з даними приймання в порту.

Отже, для аграрного підприємства з 15 користувачами впровадження CRM-системи вимагає початкових інвестицій у розмірі 340 тис. грн (включаючи річну підписку), генерує додатковий дохід у розмірі 600 тис. грн на рік та окуповується протягом семи місяців.

Аграрне підприємство потребує більш точної оцінки цифровізації, оскільки цифрова інтеграція одночасно впливає на технологічні, управлінські та інформаційні процеси. У процесі виробничої діяльності аграрні підприємства стикаються з неоднорідністю операцій, труднощами оновлення виробничої інформації, помилками в інформаційній системі та браком цифрових навичок персоналу як перешкодами цифрової інтеграції. Ці обмеження створюють

додаткові витрати, які важко врахувати в стандартному розрахунку економічної ефективності. Окрім оплати ліцензій, обладнання та послуг інтегратора, підприємства несуть витрати на передавання даних, навчання персоналу, дотримання нормативних вимог, тестування та налагодження системи на етапі запуску.

Методологічна складність оцінювання пов'язана з часовим лагом між упровадженням цифрової системи та досягненням стійких результатів. Цей лаг зумовлений адаптацією працівників, розірванням раніше укладених контрактів та поступовим вивільненням ресурсів. Під час упровадження системи підприємство часто стикається зі зростанням робочого навантаження на персонал і додатковими витратами на встановлення; лише через кілька місяців робочий час скорочується, звітність пришвидшується, а трудомісткість знижується. Тому одноразова оцінка одразу після впровадження цифрового рішення може занижувати кінцевий результат.

Оцінка цифровізації не може ґрунтуватися виключно на розрахунках прибутку, оскільки на нього впливають ціни, попит, витрати на закупівлю, податкове навантаження та управлінські рішення, що виходять за межі цифрового проекту. Більш точний підхід полягає в порівнянні кількох груп показників: метрики витрат (програмне забезпечення, апаратне забезпечення, інтеграція, навчання, підтримка, інформаційна безпека, передавання даних); метрики процесів (час затвердження документів, швидкість обробки замовлень, час звітності, коефіцієнт помилок уведення, оборотність запасів); метрики виробництва (обсяг виробництва, трудомісткість, продуктивність праці, використання обладнання); фінансові показники (витрати, доходи, рентабельність, дебіторська заборгованість, термін окупності); якісні показники (повнота даних, стабільність системи, готовність персоналу до використання цифрових інструментів).

Цифрова трансформація підприємства вимагає оцінки на рівні управлінської, виробничої, фінансової та кадрової готовності. У цьому випадку оцінка ефективності повинна враховувати витрати на впровадження, результати процесів, зміни у виробництві та фінансові результати за кілька періодів.

Використання єдиної формули прибутковості є прийнятним для простого проекту, такого як автоматизація документообігу, але недостатньо змінити CRM-систему або планування виробництва. У різні періоди виникають різні ефекти, тому короткострокові розрахунки спотворюють економічний результат.

Можна виокремити такі методологічні принципи оцінювання:

1. Оцінка цифровізації повинна починатися з визначення об'єкта - окремої операції, управлінської функції або підприємства як бізнес-системи.

2. Розрахунки витрат мають включати програмне забезпечення, апаратне забезпечення, інтеграцію,

навчання, підтримку, міграцію даних і витрати періоду запуску.

3. Метрики процесу слід порівнювати до впровадження і після стабілізації системи.

4. Виробничі та фінансові показники слід аналізувати протягом кількох періодів, оскільки економічний ефект настає із затримкою.

5. Перешкоди впровадження слід розглядати як фактор ризику, що впливає на термін окупності й повноту результату.

Найбільш доцільним підходом у цьому контексті є багатокритеріальна система, у якій витрати зіставляються з процесними, виробничими, фінансовими та якісними результатами, а висновок формується з урахуванням часового лагу та перешкод упровадження.

Упровадження цифрових технологій у бізнес-процеси аграрних підприємств завжди потребує оцінювання ефективності. Ефективність цифровізації розглядається як ступінь досягнення мети; відповідно, ефективність цифровізації виробничого процесу в цьому дослідженні визначається як категорія, що відображає ступінь досягнення цілей розвитку виробничого процесу та підприємства загалом завдяки впровадженню цифрових технологій.

Авторами розроблено модель оцінювання ефективності цифровізації виробничого процесу аграрних підприємств. Підхід включає систему часткових показників ефективності, формули їх розрахунку та алгоритм розрахунку інтегрального показника для управління ефективністю цифровізації виробничого процесу. У межах моделі цифровізація виробничого процесу розглядається як інвестиційний проект упровадження цифрових технологій у виробництво. Підхід передбачає розрахунок інтегрального показника ІЕ, що поєднує соціальний, технологічний, виробничий та управлінський аспекти ефективності, і базується на фінансовому (NPV) та індексному методах.

Оцінювання здійснюється за двома послідовними етапами. На першому етапі оцінюється економічна (фінансова) ефективність проекту цифровізації: розраховується чиста приведена вартість грошових потоків (NPV). Якщо $NPV > 0$, проект є фінансово прийнятним і переходить до другого етапу - розрахунку інтегрального показника ІЕ. Якщо $NPV \leq 0$, проект потребує додаткового доопрацювання ще до розрахунку ІЕ.

На другому етапі здійснюється розрахунок та оцінювання інтегрального показника ефективності цифровізації виробничого процесу ІЕ за формулою:

$$IE = \sum_{i=1}^4 W_i \times E_i \quad (1)$$

де ІЕ - інтегральний показник ефективності цифровізації виробничого процесу аграрного підприємства (безрозмірна величина);

W_i - вага i -го часткового показника ефективності цифровізації (частка одиниці, або 0–100 %);

E_i - значення i -го часткового показника (індексу) ефективності цифровізації (безрозмірна величина, нормована відносно еталону);

i - порядковий номер часткового показника ефективності, $i = 1 \dots 4$.

Модель урахує чотири види часткової ефективності цифровізації: соціальну (індекс заробітної плати) - E_1 ; технологічну (індекс фондівддачі, тобто продуктивності активів) - E_2 ; виробничу (індекс продуктивності праці) - E_3 ; управлінську (індекс цифровізації) - E_4 .

Ураховуючи, що аграрні підприємства стикаються з проблемою низького рівня оплати праці, до моделі управління ефективністю цифровізації включено соціальну ефективність - індекс заробітної плати працівників. Упровадження цифрових технологій у виробничий процес аграрного підприємства підвищує продуктивність праці, що, своєю чергою, супроводжується зростанням фондівддачі обладнання (технологічна ефективність) і ступеня цифровізації підприємства (управлінська ефективність), який дає змогу керівникам виробничих підрозділів швидше ухвалювати управлінські рішення.

Для розрахунку кожного часткового показника ефективності E_i використовується формула нормування відносно еталонного (найкращого галузевого) значення:

$$E_i = \frac{I_i}{I_{ir}} \quad (2)$$

де I_i - індексне значення i -го часткового показника ефективності цифровізації аналізованого підприємства;

I_{ir} - індексне значення i -го часткового показника з найкращим значенням серед провідних аграрних підприємств регіону (еталонне, базове значення).

Індекс i -го часткового показника ефективності цифровізації аналізованого підприємства розраховується за формулою:

$$I_i = \frac{k_{i1}}{k_{i0}} \quad (3)$$

де k_{i1} - значення i -го показника за поточний (звітний) рік;

k_{i0} - значення i -го показника за попередній (базовий) рік.

Одиниці вимірювання: показники E_i , I_i , I_{ir} є безрозмірними (індексними) величинами; вихідні показники k_{i0} та k_{i1} (заробітна плата, фондівддача, продуктивність праці, ступінь цифровізації) вимірюються у власних одиницях (грн/особу, грн/грн основних засобів, грн/людино-год, частка автоматизованих операцій відповідно), проте після побудови індексу (3) та нормування (2) розмірність скорочується, що і дозволяє коректно підсумовувати різномірні часткові показники у формулі (1).

Обґрунтування вагових коефіцієнтів. У межах запропонованої моделі вага W_i кожного часткового

показника визначається аналітичним методом питомої ваги - як частка значення відповідного часткового показника E_i в сумі значень усіх чотирьох часткових показників, включених до моделі:

$$W_i = E_i / \sum_{j=1}^4 E_j \quad (4)$$

Такий спосіб визначення ваг є повністю відтворюваним і об'єктивним: він не потребує окремого опитування експертів і автоматично гарантує виконання умов нормування $\sum W_i = 1$ (100 %), оскільки за побудовою сума часток завжди дорівнює одиниці. Практичний розрахунок ваг для випадку фермерського господарства Львівської області наведено в таблиці 2.

Єдина система інтерпретації показника ІЕ. Оскільки часткові показники ІЕ нормуються відносно еталонного (найкращого галузевого) значення (формула 2), а інтегральний показник ІЕ є їх зваженою сумою (формула 1), значення ІЕ = 1 відповідає рівню ефективності цифровізації, який точно дорівнює еталонному (базовому) рівню провідних аграрних підприємств регіону. Відповідно до цього в роботі встановлено єдину, несуперечливу систему інтерпретації показника ІЕ, застосовану надалі в усіх таблицях, розрахунках і висновках:

ІЕ < 1 - ефективність цифровізації виробничого процесу аналізованого підприємства нижча за еталонний рівень провідних підприємств галузі; проект цифровізації в поданому вигляді не приймається і потребує подальшого доопрацювання;

ІЕ = 1 - ефективність цифровізації відповідає еталонному рівню провідних підприємств галузі;

ІЕ > 1 (відповідно, і критерій ІЕ ≥ 1) - ефективність цифровізації перевищує еталонний рівень провідних підприємств галузі; рішення про реалізацію проекту цифровізації виробничого процесу є економічно обґрунтованим.

Отже, позитивне управлінське рішення про реалізацію проекту цифровізації виробничого процесу приймається за одночасного виконання двох умов: NPV > 0 та ІЕ ≥ 1. Якщо NPV ≤ 0 або ІЕ < 1, проект у поданому вигляді не приймається і потребує подальшого розвитку. Під час вибору між кількома альтернативними проектами цифровізації найпривабливішим є проект із найвищим значенням ІЕ.

Для оцінювання економічної ефективності інвестиційного проекту цифровізації виробничого процесу аграрного підприємства (розрахунку NPV, що передуює розрахунку ІЕ) пропонується виконати такі кроки:

виміряти трудомісткість виробництва набору продукції t_0 за допомогою методу картування потоку створення цінності (VSM); час виготовлення продукції складається з часу додавання вартості, часу вимушеної (непродуктивної) роботи та часових витрат; додатково фіксуються початковий обсяг виробництва Q і попит на продукцію D .

застосувати інструменти бережливого виробництва та цифровізації, що дає змогу розрахувати нову трудомісткість продукції t_1 .

визначити скорочення витрат часу з урахуванням обмежень виробничої потужності підприємства;

на основі співвідношення попиту й пропозиції ухвалити управлінське рішення:

якщо $D > Q$ - використати вивільнений робочий час для нарощування обсягів виробництва;

якщо $D \leq Q$ - оптимізувати поточні витрати шляхом перерозподілу трудових ресурсів.

на основі обраної стратегії перерахувати грошові потоки підприємства та розрахувати NPV;

провести аналіз чутливості проекту в умовах обмежень трудових ресурсів за позитивного значення NPV, визначивши мінімально необхідний відсоток скорочення витрат часу (розраховується зі значення NPV = 0) та максимально можливий.

Модель управління ефективністю цифровізації аграрних підприємств апробовано у фермерському господарстві Львівської області. Господарство планувало реалізувати інвестиційний проект цифровізації виробничого процесу виробництва молока з метою зниження трудомісткості шляхом застосування інструментів і методів бережливого виробництва (картографування потоку створення цінності, канбан, стандартизована робота, балансування виробництва) у поєднанні з цифровою RFID-технологією для моніторингу виробництва в режимі реального часу.

До ухвалення управлінського рішення щодо впровадження проекту цифровізації були залучені керівник виробничого відділу, директор з розвитку та власник господарства. На етапі планування визначено цілі ефективності цифровізації виробничого процесу на основі специфіки галузі за моделлю бенчмаркінгу: чиста приведена вартість (NPV), індекс заробітної плати (соціальна ефективність), індекс фондівіддачі (технологічна ефективність), індекс продуктивності праці (виробнича ефективність) та індекс цифровізації (управлінська ефективність). Метою було досягнення значення показника ефективності, що перевищує рівень провідних підприємств Львівської області, тобто виконання умов NPV > 0 та ІЕ ≥ 1.

На етапі розрахунку трудомісткості продукції використано як основу оцінювання економічної ефективності. Початкова трудомісткість становила 40 хвилин, з яких майже 50 % - втрачений час. За результатами аналізу чутливості проекту цифровізації встановлено, що скорочення витрат часу досягне лише на 50 % через обмеження добової потужності виробничого обладнання, тоді як для досягнення позитивної NPV необхідно було зменшити втрати часу трудомісткості на одиницю продукції щонайменше на 40 % за допомогою інструментів бережливого виробництва та технології RFID. Оскільки розрахункове скорочення (50 %) перевищує

мінімально необхідне (40 %), умова $NPV > 0$ виконується з певним запасом.

Розрахунок інтегрального показника ефективності проєкту цифровізації для аналізованого фермерського господарства Львівської області наведено в табл. 2.

Таблиця 2 Інтегральний показник ефективності проєкту цифровізації аналізованого фермерського господарства

Показник ефективності E_i	Значення показника, E_i	Вага показника, W_i , %	$W_i \times E_i$
Соціальна ефективність (індекс заробітної плати), E_1	1,07	19,49	0,2085
Технологічна ефективність (індекс фондовіддачі), E_2	1,11	20,22	0,2244
Виробнича ефективність (індекс продуктивності праці), E_3	1,23	22,41	0,2757
Управлінська ефективність (індекс цифровізації), E_4	2,08	37,88	0,7879
Разом: інтегральний показник ІЕ	$\Sigma E_i = 5,49$	100,0	ІЕ = 1,50

Джерело: розраховано авторами за формулами (1) та (4) на основі первинних даних фермерського господарства

Інтегральний показник ефективності проєкту цифровізації аналізованого фермерського господарства становить $IE = 1,50$, що перевищує критичне значення $IE = 1$ (еталонний рівень провідних фермерських господарств Львівської області) майже у 1,5 раза. Оскільки одночасно виконуються обидві умови - $NPV > 0$ (підтверджено аналізом чутливості трудомісткості) та $IE \geq 1$, - реалізацію проєкту цифровізації визнано економічно доцільною. Найбільший внесок у підсумкове значення ІЕ забезпечує управлінська ефективність (індекс цифровізації, $E_4 = 2,08$, частка в інтегральному показнику 37,88 %), що свідчить про найвагомійший вплив цифровізації саме на швидкість і якість управлінських рішень у виробничому процесі аналізованого господарства.

Таким чином, показники ефективності з урахуванням можливих відхилень дають задовільні результати для керівництва господарства. Запропонована модель управління ефективністю цифровізації виробничого процесу дає змогу приймати управлінські рішення на основі інтегрованої, методологічно узгодженої оцінки ефективності цифровізації з урахуванням специфіки виробничого процесу аграрних підприємств.

Висновки. На основі узагальнення результатів проведеного дослідження визначено, що цифровізація бізнес-процесів аграрних підприємств є стратегічною трансформацією їхньої діяльності на основі впровадження сучасних ІТ-рішень, яка переносить управління, виробництво та комунікації в цифрове середовище й радикально змінює структуру витрат і модель створення цінності підприємства.

Установлено, що ефективність цифровізації виробничих процесів аграрних підприємств

визначається як категорія, що відображає ступінь досягнення цілей розвитку виробничого процесу та підприємства загалом завдяки впровадженню цифрових технологій.

Запропоновано модель управління ефективністю цифровізації виробничого процесу, яка дає змогу приймати управлінські рішення на основі інтегрованої оцінки ефективності цифровізації з урахуванням специфіки виробничого процесу аграрних підприємств. Модель включає набір часткових показників ефективності (соціальної, технологічної, виробничої, управлінської), формули їх розрахунку та нормування відносно еталонного значення (формули 2–3), метод визначення ваг часткових показників (формула 4) та алгоритм розрахунку інтегрального показника ІЕ (формула 1) з єдиною, внутрішньо несуперечливою системою його інтерпретації: рішення про реалізацію проєкту цифровізації є обґрунтованим за одночасного виконання умов $NPV > 0$ та $IE \geq 1$.

На основі запропонованої моделі розроблено та апробовано інвестиційний проєкт цифровізації виробничого процесу фермерського господарства Львівської області; розрахований інтегральний показник ефективності становить $IE = 1,50$, що перевищує еталонний рівень провідних господарств регіону та підтверджує економічну доцільність проєкту.

Перспективним напрямом подальших досліджень є емпірична апробація запропонованої моделі управління ефективністю цифровізації виробничого процесу для ширшого кола аграрних формувань різних організаційно-правових форм і масштабів діяльності, а також розроблення галузевих еталонних (бенчмаркінгових) значень часткових показників ефективності цифровізації.

Література:

1. Бурдяк М. І., Томашук І. В. Концептуальні засади формування стратегічних напрямків розвитку аграрних підприємств в умовах цифровізації економіки. *Бізнес-навігатор*. 2024. Вип. 1(74). С. 3–16. DOI: <https://doi.org/10.32782/business-navigator.74-1>.
2. Кравченко М. Вплив цифровізації розрахункових процесів на ефективність управління грошовими потоками аграрних підприємств. *Сталий розвиток економіки*. 2025. № 6 (57). С. 465–472. DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-57-63>.
3. Критенко О. О. Цифровізація аграрних послуг як фактор розвитку аграрного сектору. *Публічне управління та митне адміністрування*. 2026. № 2 (49). С. 38–44. DOI: <https://doi.org/10.32782/2310-9653-2026-2.6>.
4. Негрей М. В. Цифрова трансформація аграрного сектору: перспективи, виклики та рішення. *Наукові записки НаУКМА. Економічні науки*. 2023. Т. 8, Вип. 1. С. 94–100. DOI: <https://doi.org/10.18523/2519-4739.2023.8.1.94-100>.
5. Олійник І. В. Цифрова трансформація в агропромисловому комплексі: вплив на продуктивність та стійкість підприємств. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка*. 2024. Вип. 20. С. 135–141. DOI: <https://doi.org/10.32782/2708-0366/2024.20.15>.
6. Палій М., Канцедаль Н. Цифрова трансформація як чинник підвищення конкурентоспроможності аграрних підприємств України. *Acta Academiae Beregsasiensis. Economics*. 2025. Вип. 10. С. 226–239. DOI: <https://doi.org/10.58423/2786-6742/2025-10-226-239>.
7. Стендер С., Балла І. Цифрова трансформація аграрного сектору України: інвестиційна динаміка, поширення Agritech та економічні ефекти. *Актуальні питання економічних наук*. 2026. № 19. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18336243>.
8. Сухостаєць А. І. Цифрова трансформація агробізнесу як фактор максимізації прибутку та мінімізації виробничих ризиків. *Успіхи і досягнення в науці*. 2026. № 1 (23). С. 1610–1623. DOI: [https://doi.org/10.52058/3041-1254-2026-1\(23\)-1610-1623](https://doi.org/10.52058/3041-1254-2026-1(23)-1610-1623).
9. Шестакова А. В., Ткачук В. Я., Мельник Т. Ю., Травін В. В. Цифрові можливості аграрної економіки України у воєнний період. *Економіка, управління та адміністрування*. 2022. № 3 (101). С. 15–23. DOI: [https://doi.org/10.26642/jen-2022-3\(101\)-15-23](https://doi.org/10.26642/jen-2022-3(101)-15-23).
10. Ceccarelli, T., Chauhan, A., Rambaldi, G., Kumar, I., Cappello, C., Janssen, S., & McCampbell, M. (2022). Leveraging automation and digitalization for precision agriculture: Evidence from the case studies. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <https://doi.org/10.4060/cc2912en>.
11. Eastwood C., Klerkx L., Ayre M., Dela Rue B. Managing socio-ethical challenges in the development of smart farming: from a fragmented to a comprehensive approach for responsible research and innovation. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. 2019. Vol. 32. P. 741–768. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10806-017-9704-5>.
12. Yuan Y., Wu H., Shen Y. Achieve sustainable operation of agricultural enterprises: improving agribusiness performance through digital transformation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2025. Vol. 9. Article 1547358. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1547358>.

References:

1. Burdiak, M., & Tomashuk, I. (2024). Conceptual foundations for the formation of strategic directions for the development of agricultural enterprises in the context of digitalisation of the economy. *Business Navigator*, 1(74). <https://doi.org/10.32782/business-navigator.74-12>.
2. Kravchenko, M. (2025). Impact of digitalization of settlement processes on the efficiency of cash flow management in agricultural enterprises. *Sustainable Development of Economy*, (6)(57), 465–472. <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-57-63>.
3. Krytenko, O. O. (2026). Digitalization of agricultural services as a factor in the development of the agricultural sector. *Public Administration and Customs Administration*, (2)(49), 38–44. <https://doi.org/10.32782/2310-9653-2026-2.6>.
4. Nehrey, M. (2023). Digital transformation of the agricultural sector: prospects, challenges and solutions. *Scientific Papers NaUKMA. Economics*, 8(1), 94–100. <https://doi.org/10.18523/2519-4739.2023.8.1.94-100>.
5. Oliiynyk, I. V. (2024). Digital transformation in the agro-industrial complex: Impact on productivity and sustainability of enterprises. *Tavriyskyi Scientific Herald. Series: Economics*, (20), 135–141. <https://doi.org/10.32782/2708-0366/2024.20.15>.
6. Palii, M., & Kantsedal, N. (2025). Digital transformation as a factor in enhancing the competitiveness of agricultural enterprises in Ukraine. *Acta Academiae Beregsasiensis. Economics*, (10), 226–239. <https://doi.org/10.58423/2786-6742/2025-10-226-239>.
7. Stender, S., & Balla, I. (2026). Digital transformation of Ukraine's agricultural sector: Investment dynamics, Agritech adoption, and economic effects. *Current Issues in Economic Sciences*, (19). <https://doi.org/10.5281/zenodo.18336243>.
8. Sukhostavets, A. I. (2026). Digital transformation of agribusiness as a factor in maximizing profit and minimizing production risks. *Achievements and Advances in Science*, (1)(23), 1610–1623. [https://doi.org/10.52058/3041-1254-2026-1\(23\)-1610-1623](https://doi.org/10.52058/3041-1254-2026-1(23)-1610-1623).
9. Shestakova, A. V., Tkachuk, V. Ya., Melnyk, T. Yu., & Travin, V. V. (2022). Digital opportunities of Ukraine's agricultural economy during the wartime period. *Economics, Management and Administration*, 3(101), 15–23. [https://doi.org/10.26642/jen-2022-3\(101\)-15-23](https://doi.org/10.26642/jen-2022-3(101)-15-23).
10. Ceccarelli, T., Chauhan, A., Rambaldi, G., Kumar, I., Cappello, C., Janssen, S., & McCampbell, M. (2022). Leveraging automation and digitalization for precision agriculture: Evidence from the case studies. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <https://doi.org/10.4060/cc2912en>.
11. Eastwood, C., Klerkx, L., Ayre, M., & Dela Rue, B. (2017). Managing Socio-Ethical Challenges in the Development of Smart Farming: From a Fragmented to a Comprehensive Approach for Responsible Research and Innovation. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 32(5-6), 741–768. <https://doi.org/10.1007/s10806-017-9704-5>.
12. Yuan, Y., Wu, H., & Shen, Y. (2025). Achieve sustainable operation of agricultural enterprises: improving agribusiness performance through digital transformation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1547358>.

