



Економіка

УДК 631.158:004

DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.18905055>

Роль цифрових технологій у трансформації аграрного виробництва

Стендер Світлана Василівна

кандидат економічних наук,

доцент кафедри обліку, оподаткування та технологій

електронного бізнесу

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Україна, 32316, Хмельницька обл.,

м. Кам'янець-Подільський, вул. Шевченка, 12

E-mail: stender1976@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6234-1877>

Балла Інна Володимирівна

кандидат економічних наук,

доцент кафедр обліку, оподаткування та технологій

електронного бізнесу

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Україна, 32316, Хмельницька обл.,

м. Кам'янець-Подільський, вул. Шевченка, 12

E-mail: innavbm@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5041-9801>

Прийнято: 12.02.2026 | Опубліковано: 28.02.2026

Анотація. *Мета дослідження є узагальнення особливостей застосування цифрових технологій у сільському господарстві, систематизація їх*



функціональних можливостей за ключовими напрямками та визначення переваг і викликів впровадження в умовах 2024-2025 рр., включно з перспективами квантових технологій як майбутнього етапу розвитку агросектору.

Методологічна основа дослідження становить сукупність загальнонаукових і спеціальних методів, що забезпечують системне вивчення процесів цифрової трансформації сільського господарства в умовах цифрової економіки. У статті застосовано: метод системного підходу – для розгляду агросектору як комплексної соціально-економічної та технологічної системи, що трансформується під впливом демографічних і інноваційних факторів; структурно-логічний аналіз – для виявлення взаємозв'язків між демографічними викликами (зростання населення, дефіцит робочої сили, зміна клімату) та технологічними рішеннями (ІоТ, AI, Big Data, робототехніка тощо); методи порівняння та узагальнення – для систематизації сучасних цифрових технологій і визначення їхнього найвищого рівня впливу на агровиробництво; аналітико-табличний метод – для формування узагальнюючих таблиць щодо компонентів ІоТ, напрямів застосування робототехніки та AI, сфер використання Big Data і 3D-друку; метод класифікації – для групування цифрових технологій за ступенем впливу та функціональним призначенням; метод причинно-наслідкового аналізу – для визначення потенційних економічних наслідків цифровізації для розвитку сільських територій; прогностичний підхід (експертно-аналітичний) – для обґрунтування перспективних технологічних трендів 2025 року (edge-обчислення, ІоЕ/ІоNT, цифрові двійники, генеративний AI, агровольтаїка, квантові технології) та оцінки їх потенційного впливу.

Результати дослідження. Дослідження дозволило систематизувати взаємозв'язок між демографічними та технологічними факторами розвитку цифрової економіки в сільському господарстві та визначити ключові технології найвищого рівня впливу, зокрема Інтернет речей, робототехніку, штучний інтелект, Big Data, 3D-друк і квантові технології. Показано, що ІоТ формує базову інфраструктуру «розумного» агровиробництва, забезпечуючи



безперервний моніторинг стану ґрунтів, культур, тварин і ресурсів, тоді як аналітичні платформи та алгоритми штучного інтелекту трансформують первинні дані у прогнози та управлінські рішення в режимі реального часу.

У роботі доведено, що використання робототехнічних і автономних систем сприяє зменшенню залежності аграрного виробництва від людського фактора, підвищує точність агрооперацій і знижує виробничі витрати. Застосування технологій Big Data розширює можливості прогнозування врожайності, управління ресурсами, логістикою та екологічними ризиками, а інтеграція 3D-друку підвищує гнучкість і автономність господарств за рахунок локального виготовлення технічних компонентів та індивідуалізованих рішень. Окремо підкреслено перспективність квантових технологій як інноваційного інструменту майбутнього, здатного забезпечити прорив у сфері складних оптимізаційних задач, агробіотехнологій та інформаційної безпеки аграрних систем.

Висновки. Встановлено, що найбільший ефект досягається за умови комплексного впровадження IoT, штучного інтелекту, робототехніки та Big Data, які разом забезпечують перехід від реактивного до проактивного управління аграрними процесами. Водночас цифрова трансформація актуалізує потребу у формуванні ефективної системи кібербезпеки, захисту даних і контролю функціонування автономних цифрових агентів. Загалом цифрові технології виступають ключовим інструментом забезпечення сталого розвитку сільського господарства України, підвищення його конкурентоспроможності та зміцнення продовольчої безпеки. Подальший розвиток аграрного сектору в умовах цифрової економіки потребує узгоджених дій держави, наукових установ і аграрного бізнесу, а також інвестицій у технології, інфраструктуру та підготовку висококваліфікованих кадрів.

Ключові слова: цифрова економіка; Інтернет речей (IoT); штучний інтелект; Big Data; цифрові двійники; агровольтаїка; 3D-друк; блокчейн; квантові технології.



The role of digital technologies in the transformation of agricultural production

Svitlana Stender,

Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor of the Department of Accounting, Taxation and
Electronic Business Technologies

Higher Education Institution "Podilskyi State University"

Ukraine, 32316, Khmelnytskyi region,

Ка́м'янець-Подільський, Шевченка Ст., 12

E-mail: stender1976@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6234-1877>

Inna Balla,

Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor of the Department of Accounting, Taxation and
Electronic Business Technologies

Higher Education Institution "Podilskyi State University"

Ukraine, 32316, Khmelnytskyi region,

Ка́м'янець-Подільський, Шевченка Ст., 12

E-mail: innavbm@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5041-9801>

Abstract. *The purpose* of the study is to generalize the features of the application of digital technologies in agriculture, to systematize their functional capabilities across key areas, and to identify the advantages and challenges of their implementation in the conditions of 2024-2025, including the prospects of quantum technologies as a future stage of agricultural sector development.



The methodological framework of the study is based on a combination of general scientific and special methods that ensure a systematic examination of digital transformation processes in agriculture within the digital economy. The article employs the systems approach to consider the agricultural sector as a complex socio-economic and technological system transforming under the influence of demographic and innovation factors; structural and logical analysis to identify relationships between demographic challenges (population growth, labor shortages, climate change) and technological solutions (IoT, AI, Big Data, robotics, etc.); methods of comparison and generalization to systematize modern digital technologies and determine their highest level of impact on agricultural production; the analytical and tabular method to develop summary tables of IoT components, application areas of robotics and AI, and spheres of Big Data and 3D printing use; the classification method to group digital technologies by degree of impact and functional purpose; cause-and-effect analysis to determine potential economic consequences of digitalization for rural development; and a forecasting (expert-analytical) approach to substantiate technological trends for 2025 (edge computing, IoE/IoNT, digital twins, generative AI, agrivoltaics, quantum technologies) and to assess their potential impact.

Results of the study. The study made it possible to systematize the relationship between demographic and technological factors in the development of the digital economy in agriculture and to identify key technologies with the highest level of impact, including the Internet of Things, robotics, artificial intelligence, Big Data, 3D printing, and quantum technologies. It is shown that IoT forms the basic infrastructure of “smart” agricultural production by ensuring continuous monitoring of soil conditions, crops, livestock, and resources, while analytical platforms and artificial intelligence algorithms transform primary data into forecasts and real-time managerial decisions.

The research demonstrates that the use of robotic and autonomous systems reduces the dependence of agricultural production on human labor, increases the accuracy of agrotechnical operations, and lowers production costs. The application of



Big Data technologies expands opportunities for yield forecasting, resource management, logistics, and environmental risk management, while the integration of 3D printing enhances the flexibility and autonomy of farms through the local production of technical components and customized solutions. Particular attention is paid to the prospects of quantum technologies as an innovative tool of the future, capable of providing breakthroughs in solving complex optimization problems, advancing agrobiotechnologies, and strengthening the information security of agricultural systems.

Conclusions. It is established that the greatest effect is achieved through the integrated implementation of IoT, artificial intelligence, robotics, and Big Data, which together ensure the transition from reactive to proactive management of agricultural processes. At the same time, digital transformation highlights the need to develop effective systems of cybersecurity, data protection, and control over the operation of autonomous digital agents. Overall, digital technologies act as a key instrument for ensuring the sustainable development of agriculture in Ukraine, enhancing its competitiveness, and strengthening food security. Further development of the agricultural sector within the digital economy requires coordinated actions by the state, research institutions, and agribusiness, as well as investments in technologies, infrastructure, and the training of highly qualified specialists.

Keywords: digital economy; Internet of Things (IoT); artificial intelligence; Big Data; digital twins; agrivoltaics; 3D printing; blockchain; quantum technologies.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями. Сучасний світ перебуває в постійному динамічному розвитку, що зумовлює трансформаційні процеси в усіх сферах економіки, зокрема і в агропромисловому комплексі. Сільське господарство активно переходить від традиційних форм ведення землеробства до впровадження високотехнологічних рішень. Тому сучасне сільське господарство перебуває на етапі активної трансформації, спричиненої



впровадженням передових технологій. Традиційні агротехнічні підходи поступово замінюються цифровими та автоматизованими системами, що дозволяють досягати високого рівня ефективності, оптимізації ресурсів та екологічної сталості виробництва.

На сьогодні сільське господарство перебуває під впливом глобальних викликів, серед яких провідне місце посідає демографічний тиск, зміни клімату, дефіцит трудових ресурсів та необхідність підвищення ефективності аграрного виробництва. На цьому фоні впровадження робототехніки стає не лише інструментом автоматизації, а й відповіддю на нагальні потреби ринку. Сільськогосподарські роботи, дрони, автономні машини та Інтернет речей (IoT) змінюють парадигму виробництва, формуючи нову цифрову агроєкосистему.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі цифрова трансформація сільського господарства розглядається як закономірний етап еволюції агровиробництва, пов'язаний із розвитком точного землеробства, smart farming та концепції Agriculture 4.0. Одними з фундаментальних робіт, що заклали наукові засади точного землеробства, є дослідження R. Gebbers та V. I. Adamchuk, у яких доведено зв'язок між прецизійними технологіями, продуктивністю та продовольчою безпекою [4]. Подальший розвиток цієї проблематики представлено у роботі A. Walter, R. Finger, R. Huber, N. Buchmann, де smart farming визначено як важливий інструмент формування сталого агровиробництва через оптимізацію ресурсів та підвищення адаптивності до ризиків [17].

Окремий потужний напрям сучасних досліджень присвячений Інтернету речей (IoT) як базовій інфраструктурі «розумного» сільського господарства. Так, огляд J. M. Talavera, L. E. Tobón, J. A. Gómez та співавт. систематизує IoT-застосунки в агропромисловій та екологічній сферах [13], а дослідження A. Tzounis, N. Katsoulas, T. Bartzanas, C. Kittas акцентує на сучасних досягненнях і майбутніх викликах IoT в аграрному секторі [14]. Практичні аспекти впровадження IoT у рільництві, а також бар'єри реалізації (зв'язок,



масштабування, сумісність, економічна доцільність) розкрито у роботі A. Villa-Henriksen, G. T. C. Edwards, L. A. Pesonen, O. Green, C. A. G. Sørensen [16]. Архітектурні принципи побудови IoT-орієнтованих систем «food and farm» узагальнено у праці C. N. Verdouw, H. Sundmaeker, B. Tekinerdogan, D. Conzon, T. Montanaro [15].

Паралельно інтенсивно розвивається напрям застосування штучного інтелекту, машинного навчання та глибинного навчання в агросекторі. Огляд K. G. Liakos, P. Busato, D. Moshou, S. Pearson, D. Vochtis аналізує інструменти ML у сільському господарстві та їх функціональні можливості для підтримки прийняття рішень [7]. Робота A. Kamilaris та F. X. Prenafeta-Boldú узагальнює застосування deep learning у сільському господарстві (комп'ютерний зір, класифікація стану культур, прогнозування) [5]. Логічним доповненням цього блоку є дослідження Big Data в smart farming: S. Wolfert, L. Ge, C. Verdouw, M.-J. Vogaardt визначають роль великих даних у формуванні «розумних» агросистем, джерела даних і ключові обмеження (якість даних, інтероперабельність, власність на дані) [18].

Суттєвий розвиток отримала тематика цифровізації ланцюгів постачання та використання блокчейну для забезпечення прозорості, простежуваності та довіри до агропродукції. Систематичний огляд F. Casino, T. K. Dasaklis, C. Patsakis класифікує блокчейн-застосунки, описує їх актуальний стан і відкриті питання (масштабованість, інтеграція, безпека, нормативна невизначеність), що є методологічно важливим для аграрного контексту [1].

Окремий пласт робіт формує соціально-економічний та інституційний вимір цифрової трансформації. У дослідженні L. Klerkx, E. Jakku, P. Labarthe узагальнено напрацювання соціальних наук щодо digital agriculture, smart farming та Agriculture 4.0, підкреслено вплив цифровізації на консультаційні служби, інноваційні мережі, нерівність доступу до технологій і трансформацію зайнятості [6]. У роботі D. C. Rose та J. Chilvers, присвяченій Agriculture 4.0,



акцентовано на відповідальних інноваціях і необхідності балансувати продуктивність із соціальними та етичними аспектами цифрового переходу [10].

Важливу аналітичну базу також формують міжнародні організації та стратегічні огляди, які узагальнюють стан цифрових технологій і бар'єри їх поширення. Звіт FAO щодо цифрових технологій у сільському господарстві та сільських територіях фіксує загальні тенденції, потенціал і ключові обмеження цифровізації (інфраструктура, навички, інституційні умови) [2], а survey-based звіт FAO щодо цифрових технологій у зерновому секторі України деталізує національний вимір трансформації [3]. OECD у доповіді про цифровізацію сільського господарства підкреслює важливість комплексної політики (дані, стандарти, інновації, інфраструктура, людський капітал) [9]. Рекомендації Світового банку щодо розвитку широкопasmового доступу в Україні підсилюють аргументацію про критичність цифрової інфраструктури для регіонального розвитку та зменшення цифрового розриву [19]. Український контекст доповнюють аналітичні матеріали Міністерства цифрової трансформації України щодо цифрового індексу/рівня розвитку інтернету в регіонах [8], а також галузевий огляд IT Ukraine Association щодо стану української AgriTech-екосистеми [20]. Додатково проблематику цифрової трансформації національної економіки України та виклики/можливості, релевантні агросектору, розкрито у працях S. Stender та співавтори [11] і S. Stender та співавт. щодо інноваційних підходів в агросекторі в умовах цифровізації [12].

Водночас аналіз наявних публікацій свідчить, що значна частина досліджень зосереджується або на технологічних аспектах (IoT, AI/ML, Big Data) [5; 7; 13-16; 18], або на соціально-економічних наслідках цифровізації [6; 10; 9], тоді як інтегроване пояснення взаємозв'язку демографічних чинників (зростання населення, дефіцит праці), кліматичних ризиків та технологічних інструментів управління ресурсами потребує подальшого узагальнення та формалізації. Крім того, новітні напрями 2024-2025 рр. (edge-обчислення, wearable-сенсори, цифрові двійники, генеративний AI, інтеграції IoE/IoNT), а також квантові



технології як потенційний наступний етап розвитку агросектору, у більшості джерел представлені фрагментарно й потребують розроблення прикладних моделей, методик оцінки ефективності та механізмів впровадження з урахуванням українських умов [2; 3; 8; 11; 12].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Аналіз наукових публікацій і аналітичних звітів свідчить про значну увагу дослідників до окремих аспектів цифровізації сільського господарства, зокрема впровадження Інтернету речей, систем точного землеробства, штучного інтелекту та технологій Big Data. Водночас більшість наявних досліджень мають фрагментарний характер і зосереджуються переважно на технологічних або організаційних складових цифрової трансформації, залишаючи поза увагою комплексний аналіз взаємозв'язку демографічних, економічних, кліматичних і технологічних факторів розвитку аграрного сектору в умовах цифрової економіки.

Недостатньо розробленими залишаються питання систематизації цифрових технологій за ступенем їх впливу на агровиробництво та оцінювання їх ролі у формуванні проактивної моделі управління сільським господарством. Обмежено висвітлено трансформацію економіко-фінансових відносин аграрного сектору під впливом цифрових інновацій, зокрема в частині інтеграції IoT, штучного інтелекту та Big Data у системи управління виробничими й фінансовими потоками.

Крім того, у наукових дослідженнях недостатньо уваги приділено новітнім технологічним трендам 2024–2025 років, таким як edge-обчислення, wearable-сенсори у тваринництві, цифрові двійники, генеративний штучний інтелект, інтеграція IoE/IoNT, а також перспективам застосування квантових технологій у сільському господарстві. Відсутність комплексного бачення цих напрямів та їх взаємодії з демографічними викликами і кліматичними ризиками зумовлює необхідність подальших наукових досліджень, орієнтованих на формування



теоретико-методичних засад управління інноваційними процесами в аграрній сфері.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є комплексне дослідження особливостей застосування цифрових технологій у сільському господарстві в умовах цифрової економіки з урахуванням сучасних демографічних, економічних та кліматичних викликів. У роботі передбачається узагальнення теоретичних підходів і практичних напрацювань щодо цифрової трансформації аграрного сектору, систематизація цифрових технологій за ступенем їх впливу на сільськогосподарське виробництво та визначення їх функціональної ролі у формуванні інтелектуалізованих моделей управління аграрними процесами. Особливу увагу приділено аналізу можливостей Інтернету речей, робототехніки, штучного інтелекту, технологій Big Data та 3D-друку у підвищенні продуктивності, ефективності використання ресурсів і адаптації агровиробництва до кліматичних змін. Окремим завданням є окреслення перспектив розвитку аграрного сектору на основі впровадження новітніх технологічних трендів 2024-2025 років, зокрема edge-обчислення, цифрових двійників, генеративного штучного інтелекту та квантових технологій, а також обґрунтування їх значення для забезпечення сталого розвитку, конкурентоспроможності та продовольчої безпеки.

Виклад основного матеріалу дослідження. У межах цифрової трансформації сільського господарства особливої наукової значущості набуває дослідження взаємозв'язку між демографічними, економічними та технологічними факторами, які формують передумови для ефективного розвитку аграрного сектору в умовах цифрової економіки. Визначення та систематизація цих взаємозв'язків є необхідними для розроблення теоретико-методичних засад управління інноваційними процесами в аграрній сфері.

У контексті цифрової трансформації сільського господарства особливої актуальності набуває дослідження взаємозв'язку між демографічними процесами та технологічними інноваціями, які визначають траєкторію розвитку



цифрової економіки в аграрному секторі. Зростання чисельності населення, зміна структури попиту на продовольство, дефіцит трудових ресурсів і кліматичні трансформації формують нові вимоги до організації виробництва та управління аграрними системами. Водночас стрімкий розвиток цифрових технологій створює інструментарій для адаптації галузі до зазначених викликів, забезпечуючи підвищення продуктивності, ефективності використання ресурсів та стійкості виробництва.

Систематизація зазначених факторів дозволяє виявити причинно-наслідкові зв'язки між демографічними змінами, технологічним прогресом та економічними результатами розвитку сільських територій. Аналітична таблиця 1 відображає структурно-логічну залежність між зазначеними факторами та розкриває потенційні можливості цифрових технологій у забезпеченні сталого розвитку сільського господарства.

Таблиця 1

**Взаємозв'язок демографічних та технологічних факторів у розвитку
цифрової економіки в сільському господарстві**

№ з/п	Фактор	Вплив на агросектор	Цифрові рішення / технології	Потенційні наслідки для економіки села
1.	Збільшення населення	Зростання попиту на продовольство	Прогнозування врожаїв, аналітика даних споживання	Підвищення ролі сільського господарства
2.	Попит на продукти харчування	Необхідність збільшення продуктивності	Прецизійне землеробство, GPS-моніторинг	Інтенсифікація виробництва, оптимізація витрат
3.	Дефіцит робочої сили	Складність у підтримці виробничих обсягів	Автоматизовані ферми, роботи для збирання врожаю	Скорочення залежності від людської праці
4.	Автоматизація	Зменшення потреби в ручній праці	Агроробототехніка, дрони, сенсори	Підвищення ефективності, зменшення витрат



5.	Інтернет речей (IoT)	Інтеграція всіх систем у єдину цифрову мережу	ІоТ-системи моніторингу стану ґрунтів, клімату	Реалізація «розумного» сільського господарства
6.	Big Data і штучний інтелект	Прийняття рішень на основі аналітики	АІ для управління врожайністю, прогнозів ризиків	Зменшення втрат, підвищення прибутковості
7.	Зміна клімату	Нестабільність врожаїв	Системи моніторингу погодних умов	Необхідність адаптації до нових умов

Джерело: складено та згруповано автором

Представлена таблиця відображає системний характер взаємодії демографічних і технологічних чинників у формуванні цифрової економіки в аграрному секторі. Аналіз наведених даних засвідчує, що зростання чисельності населення та підвищення попиту на продовольство виступають базовими драйверами інтенсифікації сільськогосподарського виробництва. У відповідь на ці виклики агросектор трансформується через впровадження технологій прецизійного землеробства, аналітики споживчих даних та систем прогнозування врожайності, що дозволяє підвищити продуктивність і раціоналізувати використання ресурсів.

Водночас дефіцит робочої сили стимулює автоматизацію виробничих процесів і впровадження роботизованих рішень, що зменшує залежність від людського фактору та підвищує ефективність агрооперацій. Технології Інтернету речей, Big Data та штучного інтелекту формують інтегровану цифрову інфраструктуру управління агровиробництвом, забезпечуючи прийняття рішень на основі даних у режимі реального часу. Окрему роль відіграє кліматичний фактор, який посилює потребу в системах моніторингу погодних умов і адаптивному управлінні ризиками.

Таким чином, таблиця демонструє, що цифровізація аграрного сектору не є автономним процесом, а виступає відповіддю на комплекс демографічних,



економічних і кліматичних викликів. Її реалізація створює передумови для підвищення конкурентоспроможності сільського господарства та забезпечення сталого розвитку сільських територій.

Впровадження інноваційних технологій, зокрема Інтернету речей (IoT), систем автоматизації та штучного інтелекту, виступає визначальним чинником забезпечення сталого розвитку аграрного сектору України та зміцнення продовольчої безпеки в умовах глобальних економічних, кліматичних і геополітичних трансформацій. Цифровізація агровиробництва сприяє не лише підвищенню техніко-технологічної ефективності та автоматизації виробничих процесів, а й формує нову архітектуру економіко-фінансових взаємовідносин у межах аграрного сектору. Застосування цифрових платформ, аналітичних інструментів і систем управління даними забезпечує прозорість операцій, оптимізацію фінансових потоків, підвищення якості управлінських рішень та інтеграцію виробничих і логістичних процесів у єдину інформаційну екосистему.

Сучасні цифрові технології доцільно класифікувати за трьома рівнями впливу – високим, середнім і низьким – залежно від масштабу їх трансформаційного ефекту на аграрне виробництво. У межах даного дослідження акцент зроблено на технологіях найвищого рівня впливу, які формують системні зміни в організації виробництва, управлінні ресурсами та стратегічному плануванні розвитку підприємств (рис. 1). Запропонована класифікація дозволяє більш обґрунтовано оцінити функціональну значущість цифрових інструментів у підвищенні продуктивності сільськогосподарського виробництва, забезпеченні ресурсоефективності та переході до інтелектуалізованої моделі аграрної економіки.

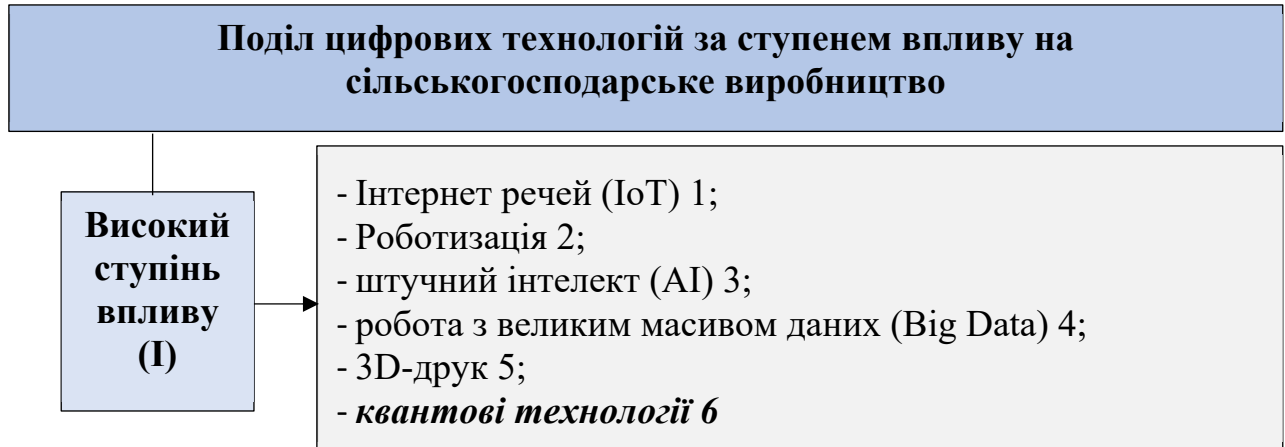


Рис. 1. Систематизація ключових цифрових технологій високого рівня впливу в аграрному виробництві

Джерело: складено автором

У сучасних умовах розвитку аграрного виробництва технології Інтернету речей (IoT) (блок I, 1) набувають системоутворюючого значення у процесі переходу від традиційних підходів до інтелектуалізованих моделей управління аграрними процесами. Інтеграція сенсорних мереж, аналітичних платформ обробки даних та автоматизованого технологічного обладнання забезпечує безперервний моніторинг параметрів виробничого середовища, акумулювання великих масивів агрономічної інформації та її подальшу трансформацію в управлінські рішення.

Такий підхід формує основу для впровадження проактивного управління, заснованого на даних у реальному часі, що підвищує точність агротехнологічних операцій, оптимізує використання ресурсів та мінімізує виробничі ризики. У результаті забезпечується зростання продуктивності, зниження операційних витрат і підвищення екологічної збалансованості агровиробництва, що відповідає принципам сталого розвитку галузі.

У таблиці 2 систематизовано структурні компоненти IoT-систем у сільському господарстві, а також узагальнено сучасні напрями їх технологічного розвитку. Представлена в таблиці модель відображає не лише технологічну



архітектуру IoT-рішень, а й їхню стратегічну роль у підвищенні ефективності, адаптивності та інноваційності сучасного аграрного сектору.

Таблиця 2

**Основні елементи Інтернету речей (IoT) у сільськогосподарському
виробництві**

№ з/п	Компонент системи	Тип пристрою / технології	Функціональне призначення	Очікуваний ефект / Вигода
1.	Сенсори (волога, рН, температура)	Ґрунтові та кліматичні сенсори	Безперервний збір даних про стан середовища	Підвищення точності агротехнічних рішень
2.	Дрони та супутники	Аерознімальні комплекси	Дистанційний моніторинг стану полів і вегетації культур	Своєчасне виявлення проблем (шкідники, дефіцити)
3.	Автоматизоване обладнання	Роботизовані трактори, сівалки	Виконання завдань без постійного нагляду людини	Зменшення потреби в людських ресурсах
4.	IoT-шлюзи	Комунікаційні модулі	Передача зібраних даних у хмарну або локальну інфраструктуру	Забезпечення стабільності та швидкості обміну
5.	Централізована база даних	Хмарні платформи, сервери	Зберігання, агрегація та архівування сільськогосподарських даних	Можливість довгострокового аналізу та звітності
6.	Аналітичні модулі та ШІ	Алгоритми машинного навчання, AI	Побудова моделей, прогнозів, рекомендацій на основі великих даних	Інтелектуалізація агровиробництва
7.	Управлінські рішення	ERP-системи, мобільні застосунки	Візуалізація даних, ухвалення рішень у режимі реального часу	Оперативність та точність управлінських дій
8.	Системи оповіщення	SMS/Push-сповіщення, мобільні інтерфейси	Повідомлення користувачів про критичні події	Швидка реакція на ризики і зменшення втрат
9.	<i>Wearable-пристрої для тваринництва</i>	<i>IoT-комірці, GPS-трекери, сенсори температури й активності</i>	<i>Моніторинг стану тварин, раннє виявлення хвороб, поведінка</i>	<i>Покращення добробуту тварин, збільшення продуктивності</i>
10.	<i>Edge-обчислення</i>	<i>Обробка AI-алгоритмів на місці (локально)</i>	<i>Зниження затримок, робота в умовах обмеженої мережі</i>	<i>Швидші рішення в реальному часі, автономність у віддалених районах</i>



11.	Стійкість та інтеграція IoE/IoNT з	Наносенсори, біосенсори, IoE-мережі	Моніторинг на молекулярному рівні, точне дозування біоінпутів та ресурсів	Екологічна безпека, точність у ресурсах, інноваційність
-----	------------------------------------	-------------------------------------	---	---

Джерело: складено та згруповано автором

Таблиця систематизує ключові компоненти IoT-систем у сільському господарстві, охоплюючи повний функціональний ланцюг – від первинних сенсорних елементів та засобів автоматизації до аналітичних платформ, хмарної інфраструктури й мобільних інтерфейсів управління. Базові компоненти (пп. 1-8) формують технологічну основу сучасного точного та сталого агровиробництва, забезпечуючи безперервний моніторинг параметрів середовища, збір і передачу даних, їх аналітичну обробку та трансформацію в управлінські рішення.

У межах проведеного дослідження автором розширено традиційний перелік складових IoT шляхом включення новітніх напрямів розвитку, актуальних для 2025 року. Запропоновані доповнення відображають сучасні технологічні тенденції цифрової трансформації аграрного сектору та поглиблюють концептуальне розуміння еволюції IoT-екосистем у контексті переходу до інтелектуалізованих, автономних і високоточно керованих агросистем:

- *Wearable-сенсори для тварин* (п. 9) – розширюють сферу IoT на тваринництво та благополуччя тварин;
- *Edge-обчислення* (п. 10) – дозволяє забезпечити автономність та швидкість аналітики в умовах обмеженого зв'язку;
- *IoE / IoNT компонент* (п. 11) – виводять сенсорну мережу на новий рівень точності і включають нанотехнології та біологічну інтеграцію.

Такі доповнення в таблиці, на думку автора, суттєво модернізують та удосконалюють цифрову економіку, роблячи її сучасною, надаючи глибоку технологічну перспективу – від ресурсного моніторингу до інтелектуальних рекомендацій і біомедійного контролю. Це формує технічну основу висвітлення



IoT в аграрному контексті, акцентуючи на високоінноваційних компонентах, актуальних для 2025 року.

Отже, інтеграція IoT технологій виступає ключовою складовою сучасного аграрного виробництва, формуючи основу для переходу від традиційної реактивної до інноваційної проактивної моделі управління. Такий підхід забезпечує не лише оперативне прийняття управлінських рішень на основі даних у реальному часі, але й суттєво підвищує адаптивність та конкурентоспроможність аграрного сектору в умовах глобальних кліматичних, економічних та технологічних викликів.

Впровадження робототехніки та технологій штучного інтелекту (блок I, 2 та 3) в аграрне виробництво спрямоване на автоматизацію ключових операцій з метою підвищення ефективності, точності та раціонального використання ресурсів. Системи, що імітують людські дії у взаємодії з цифровими платформами, здатні вирішувати профільні завдання в реальному часі, забезпечуючи стабільність та прогнозованість виробничих процесів. Разом з тим, інтеграція таких технологій вимагає особливої уваги до контролю доступу, управління програмними агентами (ботами) та протидії потенційним загрозам у кіберпросторі.

Оскільки сучасні цифрові агенти можуть переконливо відтворювати поведінку людини, це створює виклики у сфері безпеки даних і загрозу несанкціонованого втручання в IT-системи. Ефективна робота ШІ-рішень потребує постійного моніторингу, що передбачає щоденне формування звітності та аналітики для оперативного реагування на зміни у виробничому середовищі. Водночас критично важливо забезпечити захист конфіденційної інформації, особливо в умовах автоматизації економічних і фінансових процесів.

З урахуванням широкого спектра напрямів застосування робототехнічних систем і технологій штучного інтелекту в аграрному секторі виникає потреба у їх структуризації та системному узагальненні. З метою комплексного відображення сфер впровадження, функціональних характеристик та очікуваних



соціально-економічних ефектів доцільним є представлення відповідних результатів у вигляді узагальнюючої таблиці 3.

Таблиця 3

Ключові напрями впровадження робототехніки та штучного інтелекту в аграрному виробництві

№ з/п	Напрямок впровадження	Технології / Пристрої	Функціональні можливості	Очікувані переваги
1.	Автоматизоване землеробство	Роботизовані трактори, GPS-навігація	Посів, культивування, обприскування без участі оператора	Підвищення точності, зниження затрат пального
2.	Роботи для збирання врожаю	Збиральні роботи з AI	Збір овочів, фруктів за станом дозрілості	Мінімізація втрат, скорочення сезонної зайнятості
3.	Точне моніторування стану культур	AI-дрони, сенсори, комп'ютерний зір	Виявлення хвороб, шкідників, нестачі поживних речовин	Раннє втручання, зниження втрат урожаю
4.	Управління ресурсами (вода, добрива)	III-алгоритми оптимізації	Розрахунок точного обсягу внесення ресурсів	Зниження екологічного навантаження, економія
5.	Предиктивна аналітика	Алгоритми машинного навчання	Прогноз погоди, врожайності, попиту на ринку	Планування, зменшення ризиків
6.	Тваринництво	Роботизоване доїння, AI-аналіз стану тварин	Моніторинг здоров'я, добробуту, автоматизоване годування	Підвищення надоїв, покращення умов утримання
7.	Управління виробництвом	ERP-системи з III, аналітичні панелі	Оптимізація логістики, планування ресурсів	Зростання ефективності управлінських рішень
8.	Локальний прогноз погоди (real-time)	IoT-метеодатчики, AI-платформи	Прогноз метеоумов на рівні полів для погодозалежних операцій	Точність планування, адаптивність до кліматичних змін
9.	Цифрові двійники (Digital Twins)	Віртуальні моделі, ML, IoT, супутникові / дрон-зображення	Симуляція сценаріїв, оптимізація агротехнологій, тестування перед польовими випробуваннями	Зниження ризиків, ефективність ресурсів, інноваційність
10.	Біотехнології / Нанотехнології / Агро-волтаїка	Наносенсори, CRISPR-селекція, агро-волтаїка	Моніторинг ґрунту, біоінновації, комбіноване виробництво енергії та сільськогосподарської продукції	Екологічна безпека, ресурсозбереження, додатковий дохід



11.	Генеративний AI та агропоради	Generative AI-моделі	Автоматизовані агрорекомендації, прогноз ринку, аналіз урожайності та оптимізація процесів	Доступність інтелектуальних рішень, зменшення інформаційного бар'єру, персоналізація
-----	-------------------------------	----------------------	--	--

Джерело: складено та згруповано автором

Представлена таблиця 3 окреслює ключові напрями впровадження робототехніки та технологій штучного інтелекту в аграрному виробництві, що охоплюють основні сегменти цифрової трансформації агросектору – від автоматизованого землеробства до управління ресурсами та ERP-систем. Ці напрями вже сьогодні демонструють високу ефективність у підвищенні продуктивності, точності агрооперацій, а також у забезпеченні стійкості виробничих процесів. Разом з тим, автором було включено у таблицю ще чотири додаткові напрями, що відображають сучасні тренди, які актуальні на міжнародному рівні, а саме:

- *локальний прогноз погоди в реальному часі* (п. 8) – дозволяє оперативно адаптувати агротехнічні дії відповідно до гіперлокальних погодних змін, що особливо важливо в умовах кліматичної нестабільності;
- *цифрові двійники (Digital Twins)* (п. 9) – забезпечують моделювання та оптимізацію виробничих сценаріїв на основі реальних даних, що підвищує ефективність управлінських рішень;
- *біотехнології, наносенсори та агроvoltaїка* (п. 10) – формують новий рівень сталого агровиробництва, поєднуючи енергозбереження, біоінновації та моніторинг навколишнього середовища. Це інноваційна технологія, яка поєднує сільськогосподарське виробництво та виробництво електроенергії з сонячних панелей, встановлених над посівами або пасовищами. Це дозволяє ефективно використовувати землю, отримуючи подвійну вигоду: енергію та сільськогосподарську продукцію;



- *генеративний AI для аграрних рішень* (п. 11) – відкриває можливості автоматизованої підтримки прийняття рішень навіть для малих фермерських господарств, значно знижуючи інформаційний бар'єр.

Таким чином, таблиця не лише фіксує сучасний стан розвитку робототехніки та штучного інтелекту в аграрному секторі, але й орієнтує на майбутні вектори інновацій, що формують цифрове сільське господарство нового покоління.

Технологія обробки великих обсягів даних (Big Data) (блок I, 4) являє собою комплекс методів та інструментів, що дозволяють ефективно працювати з динамічно зростаючими обсягами інформації, отриманої з різноманітних джерел. З урахуванням специфіки фінансово-економічних процесів, які характеризуються опрацюванням значних обсягів даних, застосування технологій Big Data в системах бухгалтерського обліку та аудиту розглядається як один з найперспективніших напрямів їх подальшого розвитку та удосконалення. Умови повноцінного впровадження цієї технології у сільське господарство України передбачають адаптацію підприємств до нових вимог, що зумовлює необхідність виконання значного обсягу підготовчих робіт на початковому етапі.

Big Data забезпечує ефективний та оперативний збір даних із численних джерел (веб-платформ, мобільних пристроїв, внутрішніх інформаційних систем тощо) і з'являється можливість отримання щохвилинних аналітичних зведень. Представлена таблиця 4 демонструє традиційні сфери застосування Big Data у сільському господарстві та відзначено актуальні напрямки, що формують передовий технологічний ландшафт агротехнологій.



Застосування сучасних технології Big Data в аграрному секторі

№ з/п	Сфера застосування	Джерела даних	Функціональне призначення	Очікувані результати
1.	Агрометеорологічний моніторинг	Метеостанції, супутники	Прогнозування погодних умов, виявлення кліматичних ризиків	Своєчасне планування агротехнічних заходів
2.	Аналіз стану ґрунтів	Сенсори, дрони, лабораторії	Визначення структури, вологості, кислотності, родючості	Оптимізація внесення добрив і зрошення
3.	Біомоніторинг культур	ІоТ-пристрої, зображення, дистанційне зондування	Виявлення шкідників, хвороб, дефіцитів	Підвищення урожайності, зменшення втрат
4.	Планування врожаю та виробництва	Аналітика історичних та поточних даних	Прогноз врожайності, оптимізація сівозмін	Зменшення операційних ризиків
5.	Управління ресурсами	ERP-системи, мобільні додатки	Аналіз використання води, добрив, пального	Рационалізація витрат, зниження екологічного навантаження
6.	Маркетинг та логістика	Дані про споживачів, попит, ціни	Оптимізація збуту, логістичних маршрутів	Підвищення прибутковості, мінімізація втрат
7.	Соціально-економічний аналіз	Державна статистика, геодані	Планування розвитку територій, дотацій	Підвищення ефективності аграрної політики
8.	Картографування полів (VRA)	Супутники, дрони, сенсори	Створення карт полів, варіабельне внесення ресурсів	Зменшення витрат, оптимізація врожайності
9.	Прогнозна аналітика	Дані про погоду, хвороби, біометрика	Передбачення розвитку культур, хвороб, шкідників	Своєчасне втручання, зниження втрат
10.	Управління ланцюгом постачання та блокчейн	Логістичні дані, токенизовані об'єкти	Відстеження продукції, підтвердження якості	Прозорість, зменшення втрат, підвищення довіри
11.	Екологічне моделювання	Сенсори, супутники, CO ₂ -аналітика	Аналіз викидів, екологічна відповідність	Виконання ESG-вимог, сталий розвиток
12.	Генеративний AI та агропоради	AI-моделі, історія господарства	Формування інтелектуальних рекомендацій щодо агропрактик	Персоналізація рішень, доступність для малих господарств

Джерело: складено та згруповано автором



Представлена таблиця ілюструє широкий спектр застосування технології Big Data в аграрному секторі. Базові напрямки охоплюють агрометеорологічний моніторинг, аналіз ґрунтів, біомоніторинг, управління ресурсами, логістикою та соціально-економічне планування. Ці сфери вже демонструють практичну ефективність і активно впроваджуються в агровиробництві. Разом із тим, у таблицю автор інтегрувала трендові напрями 2025 року, які відображають новітні виклики та можливості цифрової трансформації сільського господарства. Йдеться, зокрема, про:

- *картографування полів (VRA) (п. 8)* – створює детальні карти полів із варіабельним внесенням добрив і ресурсів, що дозволяє оптимізувати витрати та підвищити врожайність завдяки диференційованому підходу;
- *прогнозна аналітика (п. 9)* – аналізує дані про погоду, хвороби та біометричні показники культур, що забезпечує своєчасне передбачення ризиків і оперативне втручання для мінімізації втрат;
- *управління ланцюгом постачання та блокчейн (п. 10)* – відстежує рух продукції та підтверджує її якість за допомогою блокчейн-технологій, підвищуючи прозорість, довіру та зменшуючи втрати в логістиці;
- *екологічне моделювання (п. 11)* – використовує дані сенсорів та супутників для аналізу викидів і контролю екологічної відповідності, що сприяє виконанню ESG-вимог та сталому розвитку;
- *генеративний AI та агропоради (п. 12)* – формує інтелектуальні рекомендації на основі штучного інтелекту та історії господарства, забезпечуючи персоналізовані рішення, доступні навіть для малих агровиробників.

Загалом, ці доповнення дозволяють поглибити аналітичне розуміння ролі великих даних в агросекторі, зробити акцент на інноваціях, адаптації до змін клімату, підвищенні прозорості та сталості аграрних систем. Таким чином, Big



Data постає як ключовий чинник розвитку високопродуктивного, екологічно відповідального і технологічно розвинуеного сільського господарства.

Технологія тривимірного друку (3D-друку) (блок I, 5) знаходить практичне застосування переважно у сфері землеробства, де використовується для створення сенсорів та пристроїв, здатних акумулювати дані щодо вологості ґрунту, температурних режимів і концентрації поживних речовин. Це забезпечує оптимальні умови для розвитку сільськогосподарських культур, особливо чутливих до змін у ґрунтово-кліматичних умовах, та сприяє досягненню високої врожайності. 3D-друк реалізується за допомогою поетапного накладання шарів матеріалу на основі цифрових моделей, що дозволяє створювати об'ємні об'єкти з високим ступенем точності. Проте, висока вартість впровадження та експлуатації 3D-друку створює фінансові бар'єри для його масового застосування.

На нашу думку, технологію 3D-друку доцільно використовувати для окремих компонент агровиробництва у поєднанні з іншими цифровими інструментами, що дозволить досягти синергетичного ефекту. Основні напрями використання 3D-друку представлені у таблиці 5.

Таблиця 5

Застосування сучасних технологій 3D-друку в аграрному секторі

№ з/п	Сфера використання	Приклади виробів	Переваги застосування	Потенційний ефект
1.	Технічне обслуговування	Запасні частини до сільгосптехніки	Оперативне виготовлення, зниження залежності від постачань	Зменшення простоїв, скорочення витрат
2.	Інструменти та допоміжне обладнання	Дозатори, форсунки, дрібні механічні вузли	Індивідуалізація під конкретні умови та культури	Оптимізація агротехнічних операцій
3.	Тваринництво	Протези, елементи утримання тварин	Підвищення добробуту тварин, індивідуальні рішення	Зростання продуктивності тварин
4.	Лабораторне обладнання	Модулі для пробовідбору, біореактори	Зниження вартості дослідницького інвентарю	Доступність агробіотехнологічних рішень



5.	Освітні та демонстраційні цілі	3D-моделі ґрунтів, рослин, техніки	Візуалізація процесів, спрощення навчання	Підвищення якості аграрної освіти
6.	Біодрук та агробіотехнології	Живі клітини, структури тканин	Потенційна розробка нових методів вирощування	Біоінженерні рішення для майбутнього агробіотехнології
7.	Ремонт та модернізація дронів і робототехніки	Корпуси, деталі для безпілотних літальних апаратів	Швидке відновлення працездатності техніки	Підвищення ефективності безпілотного моніторингу
8.	Виробництво індивідуалізованих систем зрошення	Унікальні фітинги, розпилювачі для краплинного зрошення	Підвищена адаптація до конкретних умов поля	Раціональне використання водних ресурсів
9.	Виробництво біорозкладних матеріалів	Пакування, одноразові інструменти	Екологічність, зменшення впливу на навколишнє середовище	Сприяння сталому розвитку агросектору
10.	Персоналізовані дизайн теплиць і сільськогосподарських споруд	Модульні конструкції, вентиляційні елементи	Швидка адаптація та модифікація споруд	Покращення мікроклімату та ефективності виробництва

Джерело: складено та згруповано автором

Сучасна технологія тривимірного друку демонструє значний потенціал у підвищенні адаптивності та автономності агровиробництва. Завдяки можливості швидкого виготовлення деталей, прототипів та біоінженерних структур безпосередньо на місці, 3D-друк забезпечує економію часу та ресурсів, скорочення логістичних ланцюгів і підтримку локальної інженерної інфраструктури. Його застосування особливо актуальне в умовах віддалених фермерських господарств, інноваційного тваринництва та аграрної освіти. Надалі очікується поглиблена інтеграція 3D-друку з іншими цифровими технологіями, зокрема IoT і AI, що відкриває новий етап у розвитку індустрії "Агро 4.0".

Крім загальновідомих напрямів автор розширила застосування цієї технології на такі напрями:



- *ремонт та модернізація дронів і робототехніки (п. 7)* – дозволяє швидко виготовляти корпуси та деталі для безпілотних літальних апаратів і аграрних роботів, що сприяє зниженню простоїв і підвищенню ефективності точного землеробства;
- *виробництво індивідуалізованих систем зрошення (п. 8)* – створює унікальні фітинги та розпилувачі, адаптовані до конкретних умов поля, що оптимізує використання води і підвищує врожайність;
- *виробництво біорозкладних матеріалів (п. 9)* – застосовує 3D-друк для створення екологічного пакування і одноразових інструментів, що зменшує негативний вплив на навколишнє середовище та підтримує сталий розвиток;
- *персоналізований дизайн теплиць і сільськогосподарських споруд (п. 10)* – забезпечує виготовлення модульних конструкцій та вентиляційних елементів з можливістю швидкої адаптації до потреб господарства, що покращує мікроклімат і продуктивність.

Отже, інтеграція 3D-друку у різні напрями аграрної діяльності сприяє підвищенню гнучкості, інноваційності та екологічності виробництва, що відповідає сучасним викликам та спрямована на довгострокову стійкість галузі.

У XXI столітті наука зробила надзвичайно амбітний крок у напрямку розробки квантових технологій, що відкривають нові горизонти в різних галузях економіки, зокрема й у сільському господарстві. Впровадження квантових рішень у цю сферу формує нову парадигму аграрного виробництва, де ефективність, точність, екологічна безпека та інформаційна захищеність, які стають пріоритетами. Квантові комп'ютери мають здатність вирішувати складні оптимізаційні задачі, які класичним комп'ютерам не під силу або ж вони потребують значного часу для обчислень.

У сільському господарстві квантові технології здатні знаходити оптимальні шляхи у складних багатофакторних умовах – наприклад, у плануванні сівозміни або логістиці. У поєднанні з цифровими генетичними базами такі технології можуть прискорити розробку нових сортів культур через



симуляцію взаємодії генів і моделювання розвитку рослин. Крім цього, квантові обчислення дозволяють обробляти величезні обсяги аграрних даних, моделювати складні біохімічні процеси, прогнозувати кліматичні загрози та оптимізувати агротехнологічні цикли. Квантова хімія сприяє створенню нових, більш ефективних добрив та засобів захисту рослин, тоді як квантова криптографія стає запорукою безпеки ланцюгів постачання та ринку агропродукції.

У середньостроковій перспективі квантові рішення можуть значно підвищити конкурентоспроможність національного агросектору на світовому ринку, так як вони відкривають новий рівень точності, прогнозування та ефективності у сільському господарстві, а також сприятимуть розвитку точного землеробства, зменшенню витрат та зростанню врожайності.

Отже, квантові технології можуть стати рушієм інновацій у сільському господарстві, забезпечуючи прорив у точності аналізу, ефективності управління та сталості виробництва. Їх інтеграція в аграрну практику вимагає координації між науковими установами, державними структурами та аграрним бізнесом. Для цього необхідна подальша наукова розробка прикладних рішень, а також створення інфраструктури та підготовка спеціалістів для ефективного впровадження таких технологій. Однак широке впровадження цих технологій потребує значних інвестицій, технічної підготовки кадрів та оновлення інфраструктури.

Висновки і перспективи подальших досліджень. У результаті проведеного дослідження встановлено, що сучасне сільське господарство перебуває на етапі глибокої цифрової трансформації, зумовленої поєднанням демографічних, економічних, кліматичних та технологічних чинників. Зростання населення, дефіцит трудових ресурсів, кліматична нестабільність і необхідність підвищення продуктивності аграрного виробництва формують об'єктивні передумови для впровадження високотехнологічних рішень у агропромисловому комплексі.



Дослідження довело, що ключову роль у формуванні цифрової економіки в сільському господарстві відіграють технології Інтернету речей (IoT), робототехніка, штучний інтелект, Big Data, 3D-друк та квантові технології. Їх інтеграція забезпечує перехід від традиційної, реактивної моделі управління агровиробництвом до проактивної, інтелектуалізованої системи, заснованої на аналізі даних у реальному часі та автоматизованому прийнятті рішень.

Систематизація демографічних і технологічних факторів дозволила визначити структурно-логічні взаємозв'язки між попитом на продовольство, автоматизацією, дефіцитом робочої сили та впровадженням цифрових інновацій. Встановлено, що IoT-системи формують базову інфраструктуру «розумного» сільського господарства, забезпечуючи безперервний моніторинг ресурсів, стану ґрунтів, культур і тварин, тоді як штучний інтелект і Big Data виступають інструментами глибокої аналітики, прогнозування та оптимізації аграрних процесів.

Робототехніка та автономні системи довели свою ефективність у зниженні залежності агросектору від людської праці, підвищенні точності агрооперацій і раціональному використанні ресурсів. Технології 3D-друку, у свою чергу, розширюють можливості локальної інженерної підтримки агровиробництва, сприяють скороченню логістичних витрат і підвищують адаптивність фермерських господарств. Особливо перспективним напрямом визначено квантові технології, які потенційно здатні забезпечити прорив у сфері складних оптимізаційних задач, кліматичного прогнозування, агробіотехнологій та інформаційної безпеки аграрних систем.

Узагальнюючи результати дослідження, можна зробити висновок, що цифровізація аграрного сектору є стратегічно важливим чинником забезпечення сталого розвитку, продовольчої безпеки та конкурентоспроможності сільського господарства України в умовах глобальних трансформацій. Перспективи подальших наукових досліджень доцільно зосередити на таких напрямках:



- розроблення економіко-математичних моделей оцінювання ефективності впровадження IoT, AI та Big Data в аграрних підприємствах різних масштабів;
- дослідження кібербезпеки та захисту даних у цифрових агросистемах, зокрема в умовах автоматизації фінансово-економічних процесів;
- обґрунтування механізмів державної підтримки цифрової трансформації агросектору з урахуванням регіональних особливостей України;
- вивчення практичних можливостей інтеграції квантових технологій у точне землеробство, агрологістику та агробіотехнології;
- аналіз соціально-економічних наслідків цифровізації сільського господарства для розвитку сільських територій та ринку праці.

Список використаних джерел

1. Casino F., Dasaklis T. K., Patsakis C. A systematic literature review of blockchain-based applications: current status, classification and open issues. *Telematics and Informatics*. 2019. Vol. 36. P. 55–81. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.11.006> (дата звернення: 06.02.2026).
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Digital technologies in agriculture and rural areas: status report. Rome, 2019. URL: <https://www.fao.org/3/ca4985en/ca4985en.pdf> (дата звернення: 02.02.2026).
3. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Digital technologies in the grain sector of Ukraine: survey-based report. Rome, 2023. URL: <https://openknowledge.fao.org/> (дата звернення: 04.02.2026).
4. Gebbers R., Adamchuk V. I. Precision agriculture and food security. *Science*. 2010. Vol. 327(5967). P. 828–831. URL: <https://doi.org/10.1126/science.1183899> (дата звернення: 03.02.2026).
5. Kamilaris A., Prenafeta-Boldú F. X. Deep learning in agriculture: a survey. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. Vol. 147. P. 70–90. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016> (дата звернення: 05.02.2026).



6. Klerkx L., Jakku E., Labarthe P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*. 2019. Vol. 90–91. URL: <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315> (дата звернення: 03.02.2026).
7. Liakos K. G., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochtis D. Machine learning in agriculture: a review. *Sensors*. 2018. Vol. 18(8). URL: <https://doi.org/10.3390/s18082674> (дата звернення: 04.02.2026).
8. Ministry of Digital Transformation of Ukraine. Level of internet development in regions: digital index analysis. Kyiv, 2024. URL: <https://thedigital.gov.ua/> (дата звернення: 07.02.2026).
9. OECD. The digitalisation of agriculture. Paris: OECD Publishing, 2019. URL: <https://doi.org/10.1787/18156797> (дата звернення: 08.02.2026).
10. Rose D. C., Chilvers J. Agriculture 4.0: broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2018. Vol. 2. URL: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087> (дата звернення: 04.02.2026).
11. Stender S., Bulkot O., Iastremska O., Saienko V., Pereguda Y. Digital transformation of the national economy of Ukraine: challenges and opportunities. *Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice*. 2024. Vol. 2(55). P. 333–345. URL: <https://doi.org/10.55643/fcaptp.2.55.2024.4328> (дата звернення: 05.02.2026).
12. Stender S., Tsvihun I., Balla I., Borkovska V., Haibura Y. Innovative approaches to improving the agricultural sector in the era of digitalization of the economy. *Scientific Horizons*. 2024. Vol. 27(3). P. 154–163. URL: <https://doi.org/10.48077/scihor3.2024.154> (дата звернення: 05.02.2026).
13. Talavera J. M., Tobón L. E., Gómez J. A. et al. Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017. Vol. 142. P. 283–297. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.015> (дата звернення: 07.02.2026).



14. Tzounis A., Katsoulas N., Bartzanas T., Kittas C. Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. *Biosystems Engineering*. 2017. Vol. 164. P. 31–48. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007> (дата звернення: 09.02.2026).
15. Verdouw C. N., Sundmaeker H., Tekinerdogan B., Conzon D., Montanaro T. Architecture framework of IoT-based food and farm systems. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. Vol. 165. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104939> (дата звернення: 07.02.2026).
16. Villa-Henriksen A., Edwards G. T. C., Pesonen L. A., Green O., Sørensen C. A. G. Internet of Things in arable farming: implementation and challenges. *Biosystems Engineering*. 2020. Vol. 191. P. 60–84. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.12.013> (дата звернення: 06.02.2026).
17. Walter A., Finger R., Huber R., Buchmann N. Smart farming is key to developing sustainable agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2017. Vol. 114(24). P. 6148–6150. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.1707462114> (дата звернення: 05.02.2026).
18. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. Big Data in Smart Farming: a review. *Agricultural Systems*. 2017. Vol. 153. P. 69–80. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023> (дата звернення: 09.02.2026).
19. World Bank. A national broadband development strategy and implementation plan: recommendations to the Ministry of Digital Transformation, Government of Ukraine. Washington, 2021. URL: <https://documents.worldbank.org/> (дата звернення: 06.02.2026).
20. IT Ukraine Association. Ukrainian AgriTech Industry Navigator. Kyiv, 2024. URL: <https://itukraine.org.ua/> (дата звернення: 09.02.2026).