

УДК 004.738.5:631.3:658.5

*Свидрук І. І.,
irena_svidruk@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-3099-6449,
Researcher ID: F-8502-2019,
д.е.н., проф., професор кафедри менеджменту, Львівський торговельно-економічний університет,
м. Львів*

*Куцик В. І.,
valentynakutsyk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8230-9436,
к.е.н., проф., професор кафедри економіки, Львівський торговельно-економічний університет,
м. Львів*

*Турянський Ю. І.,
yurtur@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4892-0653,
Researcher ID: <https://publons.com/researcher/3347338>,
д.е.н., проф., професор кафедри менеджменту, Львівський торговельно-економічний університет,
м. Львів*

*Коцупей В. М.,
kotsupeivolodymyr1957@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0663-4859,
Researcher ID: E-7481-219,
к.е.н., доц., доцент кафедри менеджменту, Львівський торговельно-економічний університет,
м. Львів*

ОСОБЛИВОСТІ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (ІОТ) ЯК ДРАЙВЕРУ ІННОВАЦІЙ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ СЕКТОРІ

Анотація. В статті обґрунтовано, як технологічні інновації агропромисловості у поєднанні з інтелектуальними системами управління (Інтернетом речей (ІоТ), бездротовими мережами на основі штучного інтелекту та блокчейну) окреслили нові підходи до сільськогосподарського виробництва. Дослідження присвячено виявленню особливостей запровадження ІоТ в управління сільськогосподарськими процесами та напрацюванню рекомендацій щодо використання інноваційних технологій управління для післявоєнної відбудови агропромислового сектору України. Виявлені особливості запровадження ІоТ диференційовано за адитивними рівнями технологічного, організаційного і комунікаційного забезпечення. Показано особливості створення цифрових копій об'єктів управління на технологічному рівні, описано інструменти передавання інформації за допомогою бездротових технологій зв'язку. Висвітлено технологічні особливості поєднання та інтерпретації даних на організаційному рівні для подальшого використання зацікавленими сторонами – учасниками ланцюга постачання. Показано можливості динамічного використання даних для відстеження результативності, ціноутворення, логістики тощо. З'ясовано, що фізичні об'єкти на рівні комунікаційного забезпечення логічно поєднуються з цифровими копіями, що дозволяє рекомендувати використання віртуалізованого досвіду управлінських інновацій без ризиків фінансових втрат та генерації нових знань для підвищення продуктивності в усьому ланцюзі постачання. Зважаючи на важливість завдання післявоєнного відновлення агропромислової галузі на інноваційних засадах, із урахуванням поточного стану впровадження smart-технологій в аграрних підприємствах України, запропоновано інтегровану систему для впровадження нових технологій управління на основі ІоТ. Рекомендована система з симбіотичним зв'язком між рівнями дозволяє збір, накопичення і передачу даних в режимі реального часу із достатнім рівнем забезпечення захищеності і цілісності, дозволить стимулювати інноваційний розвиток агропромисловості. Надано рекомендації з оптимізації бізнес-моделей у галузі з використанням можливостей ІоТ для продуктивного і ресурсоощадливого розвитку агропромислового сектору економіки, що дозволяє оптимізувати використання виділених на післявоєнну відбудову коштів.

Ключові слова: агропромисловий комплекс, інноваційні технології управління, ланцюг постачання, Інтернет речей (ІоТ), віртуалізований досвід.

Svydruk I. I.,

irena_svidruk@ukr.net,

ORCID ID: 0000-0002-3099-6449, Researcher ID: F-8502-2019,

Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Management, Lviv University of Trade and Economics, Lviv

Kutsyk V. I.,

valentynakutsyk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8230-9436,

Ph.D., Professor, Professor of the Department of Economics, Lviv University of Trade and Economics, Lviv

Turyanskyy Yu. I.,

yurtur@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4892-0653,

Researcher ID: <https://publons.com/researcher/3347338>,

Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Management, Lviv University of Trade and Economics, Lviv

Kotsupey V. M.,

kotsupeivolodymyr1957@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0663-4859,

Researcher ID: E-7481-219,

Ph.D, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management, Lviv University of Trade and Economics, Lviv

FEATURES OF THE INTRODUCTION OF THE INTERNET OF THINGS (IOT) AS A DRIVER OF INNOVATION IN THE AGRO-INDUSTRIAL SECTOR

Abstract. *The article substantiates how technological innovations in the agro-industry, combined with intelligent management systems (Internet of Things (IoT), wireless networks based on artificial intelligence and blockchain), have outlined new approaches to agricultural production. The study is devoted to identifying the features of the introduction of IoT in the management of agricultural processes and developing recommendations for the use of innovative management technologies for the post-war reconstruction of the agro-industrial sector of Ukraine. The identified features of the introduction of IoT are differentiated by additive levels of technological, organizational and communication support. The features of creating digital copies of management objects at the technological level are shown, and tools for transmitting information using wireless communication technologies are described. The technological features of combining and interpreting data at the organizational level are highlighted for further use by stakeholders - participants in the supply chain. The possibilities of dynamic use of data for tracking performance, pricing, logistics, etc. are shown. It was found that physical objects at the communication support level are logically combined with digital copies, which allows us to recommend the use of virtualized experience of management innovations without the risks of financial losses and the generation of new knowledge to increase productivity throughout the supply chain. Given the importance of the task of post-war restoration of the agro-industrial sector on an innovative basis, taking into account the current state of implementation of smart technologies in agricultural enterprises of Ukraine, an integrated system for the implementation of new management technologies based on IoT is proposed. The recommended system with a symbiotic connection between levels allows for the collection, accumulation and transmission of data in real time with a sufficient level of security and integrity, will stimulate the innovative development of the agro-industry. Recommendations are provided for optimizing business models in the industry using IoT capabilities for the productive and resource-saving development of the agro-industrial sector of the economy, which allows optimizing the use of funds allocated for post-war reconstruction.*

Keywords: *agro-industrial complex, innovative management technologies, supply chain, Internet of Things (IoT), virtualized experience.*

JEL Classification: C45; D81; Q16; M20

DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-1205-2025-81-01>

Постановка проблеми. Аграрне виробництво впродовж всієї історії людської цивілізації відіграло роль рушійної сили технологічного прогресу, а в сучасному світі його інноваційний розвиток, що забезпечується біотехнологічними та інтелектуальними технологіями, сприяє кращому використанню дефіцитних природних ресурсів. Технологічні інновації агропромисловості у поєднанні з інтелектуальними системами управління, зокрема Інтернетом речей (IoT), бездротовими мережами на основі штучного інтелекту та блокчейну, окреслили нові підходи до сільськогосподарського виробництва, концептуалізовані як “Agritech”, сектор якого демонструє останнє десятиліття неймовірні темпи зростання у 20-25% на рік, досягнувши приблизно восьми мільярдів доларів венчурних інвестицій у всьому світі [4]. Очікується, що інноваційна організація процесів виробництва і застосування нових технологій в агропромисловості, спрямовані на зростання продуктивності за рахунок smart-моніторингу в землеробстві і тваринництві, безпілотного чи автономного землеробства, віддаленого управління будівлями та обладнанням, сприятимуть до 2030 р. зростанню вкладу галузі у світове ВВП у розмірі понад 120 млрд дол. США [13]. Отож, набувають актуальності питання аналізу існуючих і створення інноваційних систем організації агропромислового виробництва з використанням технологій IoT для досягнення кращої продуктивності в галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі до сьогодні є лише незначна кількість системних досліджень із аналізу особливостей, проблем чи перспектив застосування технологій IoT в агропромисловості. Українські науковці розглядають проблеми поживлення інноваційних процесів у цьому секторі економіки як основного напрямку його післявоєнного відновлення. Так, Д. Бондаренко аналізував методи впровадження технологій IoT в аграрному виробництві для покращення результатів вирощування рослин [1], О. Купіна та О. Дуришев описали основні переваги і виклики використання IoT в управлінні сільськогосподарськими процесами [2], В. Ступка вказав на важливість розвитку smart-технологій для повоєнного відновлення вітчизняного сільського господарства [3].

Серед закордонних дослідників інноваційні процеси в управлінні сільськогосподарським виробництвом та експертиза досягнень зазвичай описуються з точки зору евристики управління за концепцією ефекту вирішення проблем невизначеності, що передбачає високу ймовірність інновацій за умови прийнятних співвідношень між ризиками та винагородами. Так, V. Jafari-Sadeghi et al. дослідили можливості зростання гнучкості, швидкості реагування та результативності процесів багатокритеріального ухвалення управлінських рішень у високотехнологічних сільськогосподарських підприємствах малого і середнього бізнесу [12]. L. de Gomes et al. систематизували евристичний досвід дрібних фермерів із запровадження технологій IoT та блокчейну за архетипами: накопичувач, аутсорсинг

ризик, імітатор, інтегратор і покращувач [7]. M. Wilczynski та H. Schanz дійшли висновку про важливість об'єднання учасників аграрного ринку та інших зацікавлених сторін для кращої ефективності запровадження інноваційних технологій, що забезпечить кращу відповідь управлінської IoT-мережі на поточні виклики [18].

Аналізуючи вплив IoT на агропромисловість, дослідники зосереджуються на різних варіантах його використання, які мають трансформаційний потенціал. Так, Y. Akkem et al. доводять важливість інтелектуального моніторингу для оптимізації врожайності агрокультур і використання ресурсів [5], A. Nafeez et al. вказують на роль безпілотного землеробства для забезпечення ефективного дистанційного втручання [11], M. Alipio та M. Villena підкреслюють важливість smart-моніторингу у тваринництві [6].

Застосування IoT в сільському господарстві детально дослідили O. Friha et al., підкресливши важливість аналітики великих даних для сприяння точному землеробству, управлінню ресурсами і підвищенню врожайності. Однак автори також висвітлили проблеми сумісності і конфіденційності даних для їх подальшого використання у моделях прогнозування на основі ШІ для покращення результативності сільськогосподарського виробництва [10].

У центрі уваги дослідження A. Shahid et al. [15] та A. Vangala et al. [17] було впровадження IoT в ланцюги постачання сільськогосподарської продукції, для яких питання походження, відстежуваності і прозорості є ключовими факторами розвитку на всіх етапах, включаючи виробництво, збір урожаю, його зберігання, обробку, розподіл, продажі та споживання. Динамічність управління ланцюгами постачання та залучення до них посередників ускладнюють завдання управління даними, тому IoT визначається науковцями як революційна технологія, що забезпечує надійні рішення щодо відстеження сільськогосподарської продукції. Приклад результативної інтеграції IoT у ланцюги постачання наводять A. El Manea et al. [8], презентуючи модель автоматизації сільськогосподарських процесів із використанням інтелектуальних кодів для мінімізації ризиків. Поглиблене дослідження проблем забезпечення безпеки і конфіденційності на основі IoT представили M. Ferrag et al., які запропонували чотирирівневу архітектуру захисту та збереження у додатках IoT в агропромисловості [9].

Як бачимо, напрями дослідження запровадження IoT в сільськогосподарському виробництві є доволі розгалуженими. Тим не менше поза увагою дослідників все ще залишаються певні аспекти, зокрема проблеми масштабованості інноваційних зрушень у конкретних агропромислових господарствах, спричинених інтеграцією технологій інтенсивного використання даних в їх усталені системи управління, із акцентуванням на питаннях забезпечення економічної безпеки.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз особливостей запровадження IoT в управління сільськогосподарськими процесами та формування рекомендацій щодо використання інноваційних

технологій управління для післявоєнної відбудови агропромислового сектору України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Функціонування систем IoT організаційно забезпечується трьома рівнями. На першому використовуються фізичні пристрої, зазвичай із незначними обчислювальними можливостями та енергетичними обмеженнями [14], функціональною особливістю яких є використання наперед визначеного протоколу взаємообміну даними щодо температури, вологості або інших життєво важливих для об'єкта управління констант. Другий рівень організації IoT забезпечує отримання та обробку даних і найчастіше ґрунтується на використанні хмарних технологій або виділених серверів. Третій рівень забезпечує взаємодію з користувачами шляхом візуалізації інформації для подальшого прийняття рішень і планування конкретних завдань.

Зважаючи на важливість завдання післявоєнного відновлення вітчизняної агропромислової галузі на сучасних інноваційних засадах та з врахуванням поточного стану впровадження smart-технологій в аграрних підприємствах України, пропонуємо інтегровану систему для впровадження нових технологій управління на основі IoT. Система має класичну трирівневу побудову з симбіотичним і послідовним зв'язком між рівнями технологічного, організаційного і комунікаційного забезпечення IoT (табл. 1), що дозволяє збір, накопичення і передачу даних у режимі реального часу із достатнім рівнем забезпечення їх захищеності і цілісності, а отже,

дозволить стимулювати інноваційний розвиток і підвищити загальну ефективність агропромисловості.

Для кращого розуміння запропонованої системи впровадження IoT продемонструємо її використання на умовному проєкті оптимізації управління теплицями. По-перше, технологічний рівень IoT відповідає за створення цифрової версії теплиці, що можна визначити як цифровий еквівалент реальної, оскільки вона достовірно емулює всі стани її функціонування, включаючи поточні досягнення і проблеми. По-друге, цифрова копія теплиці дозволяє здійснювати спостереження з віддаленого мобільного чи віртуального пристрою, функціональність якого дозволяє постійне оновлення даних щодо продуктивності, технічного обслуговування чи інших станів працездатності впродовж усього життєвого циклу цієї теплиці. Використання цифрової копії дозволяє відокремити управлінські дії від необхідності фізичного контакту і забезпечити надійне інформаційне підґрунтя для дистанційного управління, повноцінно охоплюючи функції контролювання і координування.

Технічне забезпечення технологічного рівня впровадження IoT призначене для формування первинного набору даних у режимі поточного часу. При цьому телекомунікаційні технології IoT для збору даних можна і доцільно варіювати для кожної конкретної цілі розвитку агропромисловості (табл. 2).

Таблиця 1

Рівні системи впровадження IoT в агропромисловість

Рівень	Місія	Функція	Взаємозв'язок із іншими рівнями
Технологічний	Підґрунтя інноваційного розвитку	Створення цифрових версій фізичних об'єктів агропромисловості з використанням smart-пристроїв і датчиків IoT для збору даних.	Накопичені дані є основою для функціонування організаційного рівня, гарантуючи точність у реальному часі, що стосується фізичних умов функціонування агропромислових підприємств.
Організаційний	Безпечний обмін даними	Захист, збереження та управління даними для забезпечення їх цілісності, відстежуваності і доступності для всіх зацікавлених сторін у ланцюзі постачання.	Отримані з технологічного рівня дані обробляються і систематизуються для подальшого використання на рівні комунікаційного забезпечення.
Комунікаційного забезпечення	Інноваційне управління	Об'єднання фізичного і цифрового середовищ для забезпечення оптимізації бізнес-моделей і формування ефективної політики розвитку агропромисловості.	Використовуються дані, захищені на організаційному рівні, для формування програм динамічного відстеження, ціноутворення, логістики тощо.

Джерело: авторська розробка

Таблиця 2

Телекомунікаційні технології IoT для збору даних у ланцюзі постачання агропромислової продукції

Технологічне рішення	Дальність зв'язку	Функціональні характеристики
QR-коди	Діапазон огляду камери	Ідентифікація або запис даних
Bluetooth із низьким енергоспоживанням	< 10 м	Ідентифікація, зберігання та обмін щодо незначних обсягів даних, потребує ефективного коннекту пристроїв
Wi-Fi 6/7	до 50 м	Покращена швидкість, підвищена ефективність підключення до Інтернету
5G	до 600 м	Висока швидкість, надійність, енергоефективність, надвисока щільність з'єднання
NB-IoT	до 15 км	Використання глобальної мережі, підтримка значної щільності пристроїв IoT для передачі даних без обмежень робочого циклу.
LoRa	до 30 км	Підтримка значної щільності пристроїв IoT із невеликими обсягами передачі даних із робочим циклом <1%
Навколоземна орбіта	Надвелика дальність	Глобальне покриття через супутниковий зв'язок, зменшення затримки передавання даних порівняно з іншими рішеннями

Джерело: авторська розробка за [16]

Організаційний рівень використовує технології блокчейну для організації передачі оброблених в хмарному середовищі даних між польовими дослідженнями і зовнішніми зацікавленими сторонами, які входять до визначеного ланцюга постачання агропромислової продукції. Обрання оптимальної для певного агропромислового підприємства технології блокчейн має ґрунтуватися на врахуванні факторів масштабованості інновацій, можливості інтегрування в існуючі системи управління та забезпечення економічної безпеки. В межах визначеного ланцюга постачання агропромислової продукції доцільно використовувати спільний блокчейн, рівень безпеки якого забезпечується можливістю функціонально обумовленого обмеження доступу до даних.

Заявленої цілі стимулювання інновацій в агропромисловості можна досягти на комунікаційному рівні впровадження IoT за допомогою функцій візуалізації даних, генерації нових знань і децентралізації обробки даних. Зокрема, агротехнологічні рішення на основі IoT враховують доступність технологічної інфраструктури, земельних, водних, енергетичних та інших ресурсів, що дозволяє приймати інноваційні рішення щодо їх збереження, особливо в середовищі малого і середнього підприємництва.

Спрямованість інноваційного розвитку на досягнення мети зростання ефективності агропромислового виробництва спонукає підприємців оцінювати рівень прийнятних фінансових ризиків, що дозволяє їх мінімізувати за рахунок віртуалізації процесів оптимізації ланцюгів постачання, експериментування з новими технологіями, не ризикуючи реальними активами. Формування ефективного партнерства в агропромисловості на основі запровадження технологій IoT створюватиме колективний досвід ефективного використання обмежених ресурсів учасниками агропромислової екосистеми, що сприятиме злагодженій організації

співпраці між різними суб'єктами післявоєнного відновлення, включаючи органи влади і місцевого самоврядування, фермерів, постачальників та дистриб'юторів. Включення принципів ефективності в розробку агротехнічних рішень на основі IoT може зумовити кращу адаптивність стійких управлінських рішень, орієнтованих на кінцевого споживача, надаючи пріоритетності організації співпраці, інноваційності та зменшенню ризиків, що особливо важливо в процесах відбудови української економіки.

Водночас, варто зауважити і про проблеми, пов'язані з впровадженням IoT в агропромисловість. Зокрема, використання цифрових копій реальних об'єктів управління, які забезпечують візуалізацію та аналітику даних і дозволяють віртуалізувати в реальному часі процеси моделювання до ухвалення остаточного рішення, є доволі вартісною технологією. Крім того, реальний досвід поєднання IoT і цифрових копій має бути повнофункціональним, інтерактивним та автентичним, що передбачає наявність передумов щодо якості обслуговування, синхронізації даних, пропускну здатності, надійності та якості взаємодії з користувачем телекомунікаційних мереж. Це потребує вирішення питання узгодженості інноваційних технологічних рішень IoT в агропромисловості з розвитком високошвидкісного зв'язку в Україні, зокрема щодо поширення технологій 5G і поступової орієнтації на 6G.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Особливості запровадження IoT в управління сільськогосподарськими процесами визначаються на трьох згуртованих адитивних рівнях: технологічному, організаційному та комунікаційного забезпечення. На технологічному рівні створюються цифрові копії об'єктів управління з використанням інформації від різноманітних датчиків, поєднаних за допомогою бездротових технологій зв'язку. На організаційному рівні дані

поєднуються та інтерпретуються для подальшого використання зацікавленими сторонами, які є ланками єдиного ланцюга постачання, що дозволяє динамічне використання даних для відстеження результативності, ціноутворення, логістики тощо. Рівень комунікаційного забезпечення логічно поєднує фізичні об'єкти з цифровими копіями, що дозволяє віртуалізувати досвід управлінських інновацій без ризиків фінансових втрат та генерувати знання для підвищення продуктивності в усьому ланцюзі постачання, оптимізувати бізнес-моделі в галузі та створювати можливості для продуктивного і ресурсоощадливого розвитку агропромислового сектору економіки, оптимізуючи використання виділених на післявоєнну відбудову коштів.

Зважаючи на важливість, актуальність і нерозробленість обраної тематики, в подальшому доцільно здійснювати як системні дослідження інноваційних перспектив агропромисловості, так і розгалужені, прицільні дослідження щодо окремих напрямів запровадження IoT у технологічне оновлення сільськогосподарського комплексу України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бондаренко Д. А. Застосування технологій Інтернету речей в сільському господарстві. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2022. Вип. 2. С. 61-68. DOI: 10.31673/2412-4338.2022.026167.
2. Купіна О. А., Дуришев О. А. Використання Інтернету речей (IoT) для контролю та управління сільськогосподарськими процесами. *Технологія-2024 : матеріали міжн. наук.-практ. конф.* (Київ, 24.05.2024). Київ : Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, 2024. С. 213.
3. Ступка В. В. Smart Agricultural як пріоритетний напрям повоєнного відновлення сільського господарства України. *Пріоритетні напрямки повоєнного відновлення аграрного сектору в аспекті досягнення цілей сталого розвитку : матеріали міжн. наук.-практ. конф.* (Біла Церква, 6-7.06.2024). Біла Церква : БНАУ, 2024. С. 89-92.
4. Farm Tech Investment Report. Research. *AgFunder*. 2021. URL: <https://agfunder.com/research/2021-farm-tech-investment-report>.
5. Akkem Y., Biswas S. K., Varanasi A. Smart farming using artificial intelligence: A review. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2023. Vol. 120, art. 105899. DOI: 10.1016/j.engappai.2023.105899.
6. Alipio M., Villena M. L. Intelligent wearable devices and biosensors for monitoring cattle health conditions: A review and classification. *Smart Health*. 2023. Vol. 27, art. 100369. DOI: 10.1016/j.smhl.2022.100369.
7. de Vasconcelos Gomes L. A., Saes M. S. M., Nunes R., Vilpoux O. F. Heuristics and farm heterogeneity: Evidence from small-scale farmers in Brazil. *Journal of Rural Studies*. 2022. Vol. 92. P. 328-341. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2022.04.010.
8. El Mane A., Tatane K., Chihab Y. Transforming agricultural supply chains: Leveraging blockchain-enabled java smart contracts and IoT integration. *ICT*

Express. 2024. Vol. 10, Is. 3. P. 650-672. DOI: 10.1016/j.icte.2024.03.007.

9. Ferrag M. A., Shu L., Yang X., Derhab A., Maglaras L. Security and privacy for green IoT-based agriculture: Review, blockchain solutions, and challenges. *IEEE access*. 2020. Vol. 8. P. 32031-32053. DOI: 10.1109/access.2020.2973178.

10. Friha O., Ferrag M. A., Shu L., Maglaras L., Wang X. Internet of things for the future of smart agriculture: A comprehensive survey of emerging technologies. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*. 2021. Vol. 8(4). P. 718-752. DOI: 10.1109/jas.2021.1003925.

11. Hafeez A., Husain M. A., Singh S. P., Chauhan A. Implementation of drone technology for farm monitoring pesticide spraying: A review. *Information processing in Agriculture*. 2023. Vol. 10(2). P. 192-203. DOI: 10.1016/j.inpa.2022.02.002.

12. Jafari-Sadeghi V., Mahdiraji H. A., Busso D., Yahiaoui D. Towards agility in international high-tech SMEs: Exploring key drivers and main outcomes of dynamic capabilities. *Technological Forecasting and Social Change*. 2022. Vol. 174, art. 121272. DOI: 10.1016/j.techfore.2021.121272.

13. Lutz Goedde, Joshua Katz, Alexandre Ménard and Julien Revellat Agriculture's connected future: How technology can yield new growth. *McKinsey Company*. October 9, 2020. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/agricultures-connected-future-how-technology-can-yeild-new-growth>.

14. Sanchez-Iborra R., Cano M. D. State of the art in LP-WAN solutions for industrial IoT services. *Sensors*. 2016. Vol. 16(5). P. 708. DOI: 10.3390/s16050708.

15. Shahid A., Almogren A., Javaid N., Al-Zahrani F. A., Zuair M., Alam M. Blockchain-based agri-food supply chain: A complete solution. *Ieee Access*. 2020. Vol. 8. P. 69230-69243. DOI: 10.1109/access.2020.2986257.

16. Tasic I., Cano M. D. An orchestrated IoT-based blockchain system to foster innovation in agritech. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*. 2024. Vol. 6(2), art. e12109. DOI: 10.1049/cim2.12109.

17. Vangala A., Das A. K., Kumar N., Alazab M. Smart secure sensing for IoT-based agriculture: Blockchain perspective. *IEEE Sensors Journal*. 2020. Vol. 21(16). P. 17591-17607. DOI: 10.1109/jsen.2020.3012294.

18. Wilczynski M., Schanz H. The role of market perceptions in bridging the innovation gap of bio-based markets: the example of biomass-to-liquid in Germany. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 291(125926). P. 1-21. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.125926.

REFERENCES

1. Bondarenko, D. A. (2022), Zastosuvannia tekhnolohij Internetu rechej v sil'skomu hospodarstvi. *Telekomunikatsijni ta informatsijni tekhnolohii*, vyp. 2, S. 61-68. DOI: 10.31673/2412-4338.2022.026167.

2. Kupina, O. A. and Duryshch, O. A. (2024), Vykorystannia Internetu rechej (IoT) dlia kontroliu ta upravlinnia sil'skohospodars'kymy protsesamy. *Tekhnolohiia-2024 : materialy mizhn. nauk.-prakt. konf.* (Kyiv, 24.05.2024). Skhidnoukr. nats. un-t im. V. Dalia, Kyiv, s. 213.
3. Stupka, V. V. (2024), Smart Agricultural iak priorytetnyj napriam poveiennoho vidnovlennia sil's'koho hospodarstva Ukrainy. *Priorytetni napriamky poveiennoho vidnovlennia ahrarnoho sektoru v aspekti dosiahnennia tsilej staloho rozvytku : materialy mizhn. nauk.-prakt. konf.* (Bila Tserkva, 6-7.06.2024). BNAU, Bila Tserkva, s. 89-92.
4. Farm Tech Investment Report. Research. AgFunder. 2021, available at: <https://agfunder.com/research/2021-farm-tech-investment-report>.
5. Akkem Y., Biswas, S. K. and Varanasi A. (2023), Smart farming using artificial intelligence: A review. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 120, art. 105899. DOI: 10.1016/j.engappai.2023.105899.
6. Alipio M. and Villena, M. L. (2023), Intelligent wearable devices and biosensors for monitoring cattle health conditions: A review and classification. *Smart Health*, vol. 27, art. 100369. DOI: 10.1016/j.smhl.2022.100369.
7. de Vasconcelos Gomes L. A., Saes M. S. M., Nunes R., Vilpoux O. F. (2022), Heuristics and farm heterogeneity: Evidence from small-scale farmers in Brazil. *Journal of Rural Studies*, vol. 92, p. 328-341. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2022.04.010.
8. El Mane A., Tatane K. and Chihab Y. (2024), Transforming agricultural supply chains: Leveraging blockchain-enabled java smart contracts and IoT integration. *ICT Express*, Vol. 10, Is. 3, p. 650-672. DOI: 10.1016/j.icte.2024.03.007.
9. Ferrag M. A., Shu L., Yang X., Derhab A., Maglaras L. (2020), Security and privacy for green IoT-based agriculture: Review, blockchain solutions, and challenges. *IEEE access*, vol. 8, p. 32031-32053. DOI: 10.1109/access.2020.2973178.
10. Friha O., Ferrag M. A., Shu L., Maglaras L., Wang X. (2021), Internet of things for the future of smart agriculture: A comprehensive survey of emerging technologies. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, vol. 8(4), p. 718-752. DOI: 10.1109/jas.2021.1003925.
11. Hafeez A., Husain, M. A. Singh, S. P. and Chauhan A. (2023), Implementation of drone technology for farm monitoring pesticide spraying: A review. *Information processing in Agriculture*, vol. 10(2), p. 192-203. DOI: 10.1016/j.inpa.2022.02.002.
12. Jafari-Sadeghi V., Mahdiraji, H. A., Busso D., Yahiaoui D. (2022), Towards agility in international high-tech SMEs: Exploring key drivers and main outcomes of dynamic capabilities. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 174, art. 121272. DOI: 10.1016/j.techfore.2021.121272.
13. Lutz Goedde, Joshua Katz, Alexandre Ménard and Julien Revellat Agriculture's connected future: How technology can yield new growth. *McKinsey Company*. October 9, 2020, available at: <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/agriculture-connected-future-how-technology-can-yield-new-growth>.
14. Sanchez-Iborra R. and Cano, M. D. (2016), State of the art in LP-WAN solutions for industrial IoT services. *Sensors*, vol. 16(5), p. 708. DOI: 10.3390/s16050708.
15. Shahid A., Almogren A., Javaid N., Al-Zahrani, F. A., Zuair M., Alam M. (2020), Blockchain-based agri-food supply chain: A complete solution. *Ieee Access*, vol. 8, p. 69230-69243. DOI: 10.1109/access.2020.2986257.
16. Tasic I. and Cano, M. D. (2024), An orchestrated IoT-based blockchain system to foster innovation in agritech. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, Vol. 6(2), art. e12109. DOI: 10.1049/cim2.12109.
17. Vangala A., Das, A. K., Kumar N., Alazab M. (2020), Smart secure sensing for IoT-based agriculture: Blockchain perspective. *IEEE Sensors Journal*, vol. 21(16), p. 17591-17607. DOI: 10.1109/jsen.2020.3012294.
18. Wilczynski M. and Schanz H. (2021), The role of market perceptions in bridging the innovation gap of bio-based markets: the example of biomass-to-liquid in Germany. *Journal of Cleaner Production*, vol. 291(125926), p. 1-21. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.125926.

Стаття надійшла до редакції 15 січня 2025 року