

## Digital technologies in the management of phytosanitary risks in agricultural production

V. Pysarenko<sup>✉</sup> | O. Shereshylo

### Article info

Correspondence Author

V. Pysarenko

E-mail:

[viktor.pysarenko@pdaa.edu.ua](mailto:viktor.pysarenko@pdaa.edu.ua)Poltava State Agrarian  
University,  
Skovoroda St., 1/3,  
Poltava, 36000, Ukraine**Citation:** Pysarenko, V., & Shereshylo, O. (2025). Digital technologies in the management of phytosanitary risks in agricultural production. *Scientific Progress & Innovations*, 28 (2), 31–36. doi: 10.31210/spi2025.28.02.05

The intensification of phytosanitary risks in the agricultural sector is driven by a combination of factors, among which climate change, the expansion of international trade, the increasing biological adaptability of harmful organisms to protective agents, and the declining effectiveness of traditional monitoring and control systems are predominant. As a result, the threat of the spread of quarantine organisms intensifies, the phytosanitary condition of crops deteriorates, and crop losses increase. This situation necessitates the search for innovative risk management approaches, with digital technologies playing a key role. The application of digital solutions enables rapid data collection, processing, and visualization, supports the forecasting of pest and disease dynamics, and facilitates informed decision-making both at the individual farm level and within regional agro-systems. The aim of this study is to analyze the potential of digital tools for monitoring, forecasting, and mitigating phytosanitary risks in agricultural production, as well as to assess their effectiveness and limitations. The review employs systems and comparative analysis, synthesis of scientific sources, content analysis of English-language publications from Scopus/Web of Science databases, case studies of leading digital platforms (EOS Crop Monitoring, Cropio, Xarvio, BAS Agro), and an examination of the regulatory framework for implementing digital technologies in the agricultural sector. A typology of phytosanitary risks is identified- biological, agro-climatic, managerial, economic, regulatory, and technological- and their impact on agricultural production efficiency is analyzed. The digital technologies used for risk management are described, including monitoring systems based on drones, sensors, satellite imagery, as well as forecasting models utilizing GIS technologies and machine learning methods. Examples of the effective use of online platforms for threat detection, damage assessment, and decision support are presented. It has been established that digital solutions contribute to improving the profitability of agribusiness, provide a foundation for the environmental sustainability of production, and ensure the flexibility and adaptability of agricultural enterprises to external challenges. At the same time, key implementation barriers have been identified – infrastructure, financial, educational, and regulatory – which require targeted support from the state, innovative businesses, and educational institutions.

**Keywords:** phytosanitary security, digital technologies, agricultural production, pest monitoring, agro-monitoring platforms, satellite data, risk management.

## Цифрові технології в управлінні фітосанітарними ризиками аграрного виробництва

В. М. Писаренко | О. О. Шерешило

Полтавський державний  
аграрний університет,  
м. Полтава, Україна

Підвищення інтенсивності фітосанітарних ризиків в аграрному секторі зумовлене сукупністю чинників, серед яких домінують зміни клімату, активізація міжнародної торгівлі, зростання біологічної адаптивності шкідливих організмів до засобів захисту, а також зниження ефективності традиційних систем моніторингу і контролю. У результаті загострюється загроза поширення карантинних організмів, погіршення фітосанітарного стану посівів і, відповідно, втрати врожаю. Це обумовлює необхідність пошуку інноваційних підходів до управління ризиками, серед яких важливе місце належить цифровим технологіям. Застосування цифрових рішень дає змогу здійснювати оперативний збір, обробку та візуалізацію даних, прогнозувати динаміку розвитку шкідників і хвороб, а також забезпечувати прийняття обґрунтованих управлінських рішень як на рівні окремого господарства, так і на рівні регіональних агросистем. Метою даного дослідження є аналіз потенціалу цифрових інструментів для моніторингу, прогнозування та мінімізації фітосанітарних ризиків в аграрному виробництві, а також оцінка їх ефективності й обмежень. У огляді застосовано системний і порівняльний аналіз, узагальнення наукових джерел, контент-аналіз англомовних публікацій з баз даних Scopus/Web of Science, кейс-метод щодо провідних цифрових платформ (EOS Crop Monitoring, Cropio, Xarvio, BAS Agro), а також аналіз нормативної бази щодо впровадження цифрових технологій у агросекторі. Визначено типологію фітосанітарних ризиків (біологічні, агрокліматичні, управлінські, економічні, регуляторні та технологічні) та проаналізовано їхній вплив на ефективність агровиробництва. Описано цифрові технології, що застосовуються в управлінні ризиками, зокрема моніторингові системи на основі дронів, сенсорних пристроїв, супутникових знімків, а також моделі прогнозування з використанням ГІС-технологій і методів машинного навчання. Наведено приклади ефективного використання онлайн-платформ для виявлення загроз, оцінки втрат і підтримки прийняття рішень. Встановлено, що цифрові рішення сприяють підвищенню рентабельності агробізнесу, формують підґрунтя для екологічної стійкості виробництва, а також забезпечують гнучкість та адаптивність аграрних підприємств до викликів зовнішнього середовища. Водночас виявлено ключові бар'єри впровадження – інфраструктурні, фінансові, освітні та регуляторні, які потребують підтримки з боку держави, інноваційного бізнесу та освітніх інституцій.

**Ключові слова:** фітосанітарна безпека, цифрові технології, аграрне виробництво, моніторинг шкідників, платформи агромоніторингу, супутникові дані, ризик-менеджмент.

**Бібліографічний опис для цитування:** Писаренко В. М., Шерешило О. О. Цифрові технології в управлінні фітосанітарними ризиками аграрного виробництва. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (2). С. 31–36.

В умовах кліматичних змін, інтенсифікації аграрного виробництва та відкритості до міжнародної торгівлі фітосанітарна безпека набуває особливого значення. Підвищення температур, нерівномірні опади та подовження вегетаційного періоду сприяють появі нових шкідників і посиленню існуючих загроз. Унаслідок цього аграрії стикаються з економічними втратами, зокрема через пошкодження урожаю, логістичні ускладнення, обмеження на експорт та зниження якості продукції [1].

На цьому тлі цифрові технології виступають ефективним інструментом для моніторингу, прогнозування та швидкого реагування. Інтеграція супутникових знімків, дронів, сенсорних систем і програмного забезпечення дає змогу виявляти осередки ураження, оптимізувати витрати на захист рослин і приймати обґрунтовані рішення. Такі платформи, як EOS Crop Monitoring, Cropio, BAS Agro, сприяють підвищенню економічної ефективності агровиробництва [2, 3].

Питання фітосанітарної безпеки досліджується в економічній, екологічній, біологічній та цифровій площинах. Сучасні публікації акцентують увагу на цифровізації моніторингу, прогнозуванні ризиків і автоматизованому управлінні даними. Наукові роботи доводять ефективність впровадження цифрових платформ у сфері захисту рослин як засобу скорочення витрат і підвищення оперативності [4].

Крім наукового підходу, важливу роль відіграє регуляторне середовище – зокрема Міжнародна конвенція із захисту рослин (IPPC) [5], угоди СОТ щодо санітарних та фітосанітарних заходів, а також Закон України «Про карантин рослин» [6]. Аналіз джерел дозволяє визначити сучасні підходи до управління фітосанітарними ризиками та роль цифрових рішень у зміцненні продовольчої й економічної безпеки.

У дослідженні Hideo Ishii-Adajar, Katherine Cameron, Claire Palmer, Angel O. K. Li, Mariam A. T. J. Kadzamira, Sarah Fleming, Manju Thakur, Adewale Ogunmodede [7] узагальнено внесок цифрових інструментів CABI у покращення фітосанітарного нагляду та управління ризиками шкідників. Автори проаналізували шість цифрових сервісів, що сприяють швидкому доступу до інформації та прийняттю рішень, є відкритими та масштабованими. Встановлено, що їх ефективність зростає за умов врахування локальних особливостей, покращення доступу в сільській місцевості та подолання соціальних і гендерних бар'єрів. Оцінка здійснена з урахуванням Принципів цифрового розвитку.

У статті Venkateswara S., Padmanabhan J. Deep [8] представлено інноваційний підхід до автоматизованої ідентифікації та класифікації шкідників у межах розумного землеробства. Узагальнено важливість точного визначення шкідників для збереження врожайності та підвищення ефективності аграрного виробництва. Встановлено, що застосування глибинного навчання на основі набору даних IP102 дозволяє ідентифікувати 82 класи шкідників із високою точністю – 84,95 %. Використання авто-

енкодера для балансування даних, методів сегментації за кольоровим кодуванням RGB та за розвинених неймереж забезпечило високу ефективність (IoU – 80 %). Автори доводять, що запропонований метод здатен трансформувати традиційні методи моніторингу шкідників у більш точну та проактивну систему контролю.

У статті Dai M., Shen Y., Li X., Liu J., Zhang S., Miao H. [9] представлено цифрову двійникову систему для управління шкідниками сільськогосподарських культур на прикладі вирощування перцю. Узагальнено проблеми надмірного використання пестицидів та суб'єктивності рішень у традиційній системі захисту рослин. Встановлено, що запропонована модель, побудована на інтеграції даних і методі випадкових лісів з генетичною оптимізацією, прогнозує динаміку популяції попелиць із точністю понад 85 % та підвищує економічну ефективність більш ніж на 20 %. Система підтримує прийняття рішень щодо втручання у захисті рослин, зменшуючи залежність від людського фактора. Доведено ефективність концепції «цифрового двійника» як інструмента інтегрованого управління фітосанітарними ризиками, орієнтованого на динаміку популяцій.

У статті Cardim Ferreira Lima M., Damascena de Almeida Leandro M. E., Valero C., Pereira Coronel L. C., Gonçalves Bazzo C. O. [10] узагальнено науковий доробок і технічні рішення щодо автоматичного виявлення та моніторингу комах-шкідників у межах концепції точного землеробства. Представлено огляд сучасних сенсорних технологій, що використовуються для потреб інтегрованого захисту рослин (IPM), зокрема інфрачервоні сенсори, аудіосенсори та системи ідентифікації шкідників на основі зображень. Встановлено, що автоматичні пастки, доповнені алгоритмами машинного навчання й рішеннями Інтернету речей (IoT), є перспективними для раннього виявлення агресивних та карантинних шкідників. Авторами представлено приклади застосування таких технологій, їхні переваги та напрями подальшого розвитку, включаючи створення систем підтримки прийняття рішень для аграрного сектору.

У статті Shamshiri R.R., Sturm B., Weltzien C., Fulton J., Khosla R., Schirrmann M., Raut S., Basavegowda D.H., Yamin M. i Hameed I.A. [11] узагальнено вплив цифровізації на трансформацію сільського господарства в аспектах підвищення ефективності, продуктивності та точності аграрних процесів. Наведено приклади застосування цифрових технологій у відкритому та закритому ґрунті для збору агроданих і прийняття управлінських рішень. Встановлено, що цифровізація сприяє зниженню витрат, мінімізації екологічного впливу та зменшенню трудових витрат. Окреслено основні бар'єри впровадження – високу вартість, складність масштабування та технічні обмеження. Автори підкреслюють, що попри значний потенціал цифрових технологій для сталого агровиробництва, необхідне подолання низки техніко-економічних викликів.

У дослідженні Carlos Parra-López, Liliana Reina-Usuga, Guillermo Garcia-Garcia, Carmen Carmona-Torres [12] узагальнено очікування щодо впровадження цифрових фітосанітарних систем (DPS) у сільському господарстві, зокрема в оливковому секторі. Зазначено, що темпи їх поширення залишаються помірними, а прогнози органів влади та науковців більш оптимістичні, ніж у виробників. Запропоновано політичні заходи для стимулювання DPS – від акценту на екологічних перевагах до фінансової підтримки та пілотних проєктів. Підкреслено, що успішність таких рішень залежить не лише від технологій, а й від відповідності регуляторним вимогам і цілям сталого розвитку.

У дослідженні Stefano Abbate, Piera Centobelli, Roberto Cerchione [13] узагальнено сучасні підходи до інтеграції цифрових технологій (індустрія 4.0) із концепцією сталого розвитку агропродовольчого сектору. Підкреслено, що для задоволення попиту до 2050 року необхідно збільшити виробництво, мінімізуючи використання ресурсів і екологічний вплив. Для аналізу публікацій застосовано методи машинного навчання – автоматизовану класифікацію та контент-аналіз. Визначено 10 тематичних кластерів, ключові країни та журнали. Зроблено висновок, що агрофірми мають переосмислити бізнес-моделі, орієнтуючись на довгострокову цінність. Цифрові технології сприяють екологічному та соціально відповідальному розвитку агро-виробництва.

У дослідженні Carlo Giua, Valentina Cristiana Materia, Luca Samanzi [14] проаналізовано чинники впровадження технологій розумного землеробства (SFT), як елементів кіберфізичних систем, що оптимізують управління господарством. Встановлено, що такі технології генерують великі масиви даних, корисні не лише на рівні ферми, а й усього аграрного ланцюга. Автори застосували SEM-моделювання та Zero-Inflated Poisson Regression для аналізу як намірів, так і реальних рішень фермерів щодо SFT. Показано, що на наміри впливають очікувана ефективність, складність і соціальний тиск, а на фактичне впровадження – інтегрованість у ланцюги, розмір господарства та спеціалізація. Зроблено висновок про важливість врахування соціальних і організаційних чинників для інклюзивної цифровізації агросектору.

Огляд останніх досліджень засвідчує зростаючий інтерес до застосування цифрових технологій у фітосанітарному управлінні, зокрема – до використання штучного інтелекту, систем моніторингу, цифрових двійників та автоматизованих пасток. Науковці акцентують увагу на їхній ефективності в ранньому виявленні шкідників, оптимізації обробки культур та зниженні витрат на пестициди. Водночас підкреслюється потреба у врахуванні соціального контексту, доступності технологій для агровиробників та інтеграції таких інструментів у практику малих і середніх господарств [15].

Проведення огляду було спрямоване на вивчення ролі цифрових технологій у зменшенні фітосанітарних ризиків в аграрному виробництві,

закцентом на економічну ефективність та управлінський потенціал їх впровадження. Це дозволяє поєднати теоретичні напрацювання з практичними аспектами аграрного менеджменту та сприяти розвитку стійкого, технологічно оснащеного сільського господарства.

В роботі застосовано міждисциплінарний підхід, який об'єднує методи економічного аналізу, елементів агроменеджменту та цифрових технологій у сільському господарстві. Основними джерелами інформації стали: наукові публікації з баз Scopus, Web of Science, Google Scholar, аналітичні звіти міжнародних організацій (FAO, OECD, EIP-AGRI), нормативно-правові документи, що регулюють фітосанітарну безпеку, дані реальних кейсів використання цифрових систем моніторингу в аграрному секторі України та країн ЄС.

Методологічну основу становить порівняльний аналіз інструментів цифрового моніторингу, контент-аналіз наукових джерел, а також експертне оцінювання переваг та викликів впровадження цифрових рішень у систему управління фітосанітарними ризиками. Додатково застосовано кейс-метод для описового висвітлення практик використання цифрових платформ Cropio, BAS Agro, EOS Crop Monitoring, Xarvio у вітчизняному та зарубіжному агробізнесі, з наведенням джерел, що дозволяють здійснити подальшу верифікацію наведених прикладів.

Поняття фітосанітарного ризику охоплює сукупність загроз для рослинницької продукції, які можуть бути спричинені шкідниками, хворобами або карантинними організмами. Джерелами таких ризиків виступають як природні фактори, так і людський фактор - зокрема, недосконалість систем виявлення, пізнє реагування або неналежне агротехнічне управління [4, 15].

Фітосанітарні ризики є важливою складовою ризик-менеджменту в аграрному виробництві. Вони можуть мати як безпосередній вплив на урожай, так і опосередкований – через зниження якості продукції, зростання витрат на засоби захисту або ускладнення виходу на ринки збуту. Нижче (*таблиця 1*) подано класифікацію основних фітосанітарних ризиків із прикладами їх прояву та можливими наслідками для підприємств аграрного сектору [4, 15].

Як видно з таблиці, ризики мають мультифакторний характер і здатні суттєво впливати на прийняття управлінських рішень. Це підкреслює необхідність системного моніторингу, запровадження цифрових інструментів і чіткої стратегії реагування, що й стане предметом подальшого розгляду – систем і технологій фітосанітарного моніторингу [19].

Традиційні підходи до моніторингу та управління фітосанітарними ризиками включають візуальні огляди посівів, пастки, ручний облік чисельності шкідників, інтерпретацію даних агрономами за допомогою щоденників спостережень. Ці методи часто є трудомісткими, залежними від людського чинника та не забезпечують достатньої оперативності у прийнятті рішень. Це зумовлює потребу в автоматизації процесів та інтеграції цифрових інструментів [20].

Таблиця 1

Класифікація фітосанітарних ризиків та їх вплив на аграрне виробництво

| Тип ризику     | Конкретні прояви (приклади)                                                                                                                                           | Вплив на аграрне виробництво                                                                                                                                                           |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Біологічні     | - масове поширення шкідників (совки, лучний метелик, попелиця);<br>- хвороби рослин (фузаріоз, іржа, бактеріози);<br>- втрата стійкості до пестицидів                 | - зниження врожайності та якості продукції;<br>- підвищення витрат на засоби захисту;<br>- обмеження експорту через карантинні вимоги                                                  |
| Агрокліматичні | - нетипові зміни клімату (аномальні температури, посухи, надлишок опадів);<br>- мікрокліматичні умови, сприятливі для розвитку збудників                              | - створення сприятливого середовища для поширення шкідників;<br>- зміщення строків обробки посівів;<br>- зниження ефективності традиційних методів захисту                             |
| Управлінські   | - відсутність системного моніторингу;<br>- повільне реагування на спалахи;<br>- недостатня кваліфікація персоналу;<br>- відсутність чітких протоколів реагування      | - втрати часу при прийнятті рішень;<br>- необґрунтоване застосування засобів захисту рослин;<br>- репутаційні та фінансові втрати через невиконання контрактів або втрату сертифікації |
| Економічні     | - зростання цін на засоби захисту рослин, паливо, агросервіси;<br>- зниження платоспроможності господарств;<br>- витрати на ліквідацію наслідків інфекцій або інвазій | - недофінансування превентивних заходів;<br>- вимушене скорочення площ посівів або перехід на менш вразливі, але й менш прибуткові культури                                            |
| Регуляторні    | - зміни у законодавстві щодо застосування пестицидів;<br>- введення обмежень на експорт/імпорт через фітосанітарні вимоги                                             | - порушення зовнішньоекономічних контрактів;<br>- витрати на переатестацію/сертифікацію;<br>- затримки з реалізацією продукції                                                         |
| Технологічні   | - застаріле або неадаптоване обладнання для обробки;<br>- низький рівень цифровізації управлінських рішень                                                            | - неможливість оперативного реагування;<br>- високий рівень ручної праці;<br>- зниження конкурентоспроможності                                                                         |

Джерело: узагальнено на підставі [1, 4, 15–18].

Після аналізу традиційних підходів до фітосанітарного моніторингу, стає очевидним, що сучасні виклики аграрного виробництва вимагають впровадження цифрових технологій. Ці інноваційні інструменти дозволяють не лише оперативно виявляти та прогнозувати фітосанітарні ризики, але й ефективно управляти ними, забезпечуючи сталий розвиток агросектору [21–24].

1. Агрорішення на базі дронів, супутникових знімків, сенсорів. Сучасні аграрні підприємства активно впроваджують безпілотні літальні апарати (дрони), супутникові знімки та сенсори для моніторингу стану посівів. Ці технології дозволяють отримувати точну інформацію про розвиток рослин, виявляти осередки ураження шкідниками та хворобами, а також оптимізувати використання ресурсів [25].

2. Системи моделювання поширення шкідників (GIS, machine learning). Геоінформаційні системи (GIS) та методи машинного навчання використовуються для моделювання поширення шкідників. Це дозволяє прогнозувати можливі спалахи шкідників, враховуючи агрокліматичні умови, типи культур та інші фактори, що впливають на їх розвиток [26].

3. Онлайн-платформи для фітосанітарного моніторингу та аналітики. Існує низка онлайн-платформ, які надають аграріям інструменти для моніторингу та аналізу фітосанітарного стану полів. Розглянемо деякі з них:

- *Cropio*: Платформа для дистанційного моніторингу полів, яка використовує супутникові знімки для оцінки стану посівів. Cropio дозволяє аграріям оперативно реагувати на зміни в полі та приймати обґрунтовані рішення щодо обробки культур. Платформа Cropio, яка згодом трансформувалася в Cropwise Operations, активно використовується в Україні. Зокрема, Міністерство аграрної політики та

продовольства України впроваджує цей сервіс для визначення меж полів, ідентифікації вирощуваних культур та прогнозування врожайності. Система підтримує 17 культур і досягає точності розпізнавання до 95 %, охоплюючи близько 98 % посівних площ країни;

- *EOS Crop Monitoring*: Сервіс, що надає дані про стан рослинності, погодні умови та інші агрономічні показники на основі супутникових знімків. EOS Crop Monitoring допомагає аграріям виявляти проблемні ділянки та оптимізувати агротехнічні заходи;

- *BAS Agro*: Українська платформа, яка інтегрує дані з різних джерел для комплексного управління аграрним виробництвом. BAS Agro забезпечує аграріїв інструментами для планування, моніторингу та аналізу фітосанітарного стану полів. Платформа дозволяє вести облік посівних площ, врожайності, витрат на добрива, паливо та інші ресурси. Зокрема, вона використовується для автоматизації обліку на підприємствах з переробки зерна, таких як елеватори, млини та комбикормові заводи;

- *Xarvio*: Платформа, що використовує штучний інтелект для аналізу даних з полів та надає рекомендації щодо захисту рослин. Xarvio допомагає аграріям приймати обґрунтовані рішення щодо застосування засобів захисту рослин, зменшуючи витрати та підвищуючи ефективність. У Європі, зокрема в Німеччині, Xarvio допомагає аграріям приймати обґрунтовані рішення щодо застосування засобів захисту рослин, зменшуючи витрати та підвищуючи ефективність [27–30].

Впровадження цих цифрових технологій в аграрне виробництво дозволяє підвищити ефективність фітосанітарного моніторингу, зменшити ризики втрат врожаю та забезпечити сталий розвиток агросектору.

Ці приклади демонструють, як цифрові технології впроваджуються в аграрному секторі для підвищення ефективності фітосанітарного моніторингу та управління ризиками [31]. Вони дозволяють аграріям оперативно реагувати на зміни в полі, оптимізувати використання ресурсів та забезпечувати сталий розвиток агросектору [32, 33].

Зважаючи на активне впровадження цифрових технологій у сферу фітосанітарного моніторингу, постає низка викликів, що ускладнюють повномасштабну та системну цифровізацію в агросекторі. Передусім, це обмежена цифрова інфраструктура у сільській місцевості, особливо в регіонах із недостатнім покриттям мобільного інтернету. Фінансова доступність таких рішень також залишається гострою проблемою для малих і середніх господарств, які не завжди мають змогу інвестувати в дрони, сенсори чи комерційні платформи. Окремим бар'єром виступає дефіцит цифрової грамотності серед аграріїв та брак фахівців, здатних інтерпретувати аналітичні дані, отримані з цифрових систем.

Водночас перспективи цифровізації в управлінні фітосанітарними ризиками виглядають досить обнадійливо. Системи дистанційного моніторингу, геоаналітика, машинне навчання та мобільні додатки вже демонструють реальні результати – зменшення втрат урожаю, раціональне застосування пестицидів, покращення планування та документування заходів захисту. Цифровізація відкриває можливості для розробки інтегрованих систем раннього попередження, які дозволяють реагувати на фітосанітарні загрози до появи видимих наслідків. Крім того, вона сприяє підвищенню прозорості аграрного виробництва та полегшує сертифікацію та експортну діяльність.

Таким чином, поєднання технічного вдосконалення, державної підтримки, агроосвіти та міжсекторальної співпраці здатне трансформувати цифрові рішення у стійкі інструменти управління фітосанітарною безпекою як на рівні господарства, так і на рівні національної аграрної політики.

## Висновки

Мета здійснення огляду літературних джерел у конкретній праці полягала в проведенні аналізу можливостей використання цифрових інструментів для моніторингу, прогнозування та зниження фітосанітарних ризиків в аграрному виробництві, а також визначення їх ефективності й обмежень. У роботі розкрито значення цифрових технологій як ефективного інструменту управління фітосанітарними ризиками аграрного виробництва в умовах зростаючих викликів, спричинених кліматичними змінами, біологічною агресією шкідників та обмеженнями традиційних методів захисту. На основі проведеного аналізу сучасних наукових джерел та практичного досвіду впровадження, узагальнено напрями використання дронів, супутникових технологій, сенсорів, систем моделювання поширення шкідників та цифрових платформ, що дозволяють оперативно і точно виявляти загрози, оцінювати втрати та

приймати обґрунтовані управлінські рішення. Визначено, що цифрові рішення сприяють підвищенню рентабельності агробізнесу, забезпечують екологічну стійкість агровиробництва та дозволяють адаптувати господарства до умов невизначеності. Разом з тим, окреслено наявні бар'єри – інфраструктурні, фінансові, освітні – які потребують цілеспрямованої підтримки з боку держави та агротехнологічного сектору.

*Перспективи подальших досліджень.* Майбутні дослідження доцільно спрямувати на оцінку економічної ефективності цифрових рішень для різних типів господарств, розробку моделей інтеграції фітосанітарних даних у системи агрологістики та прогнозування, а також формування механізмів стимулювання цифрової трансформації на рівні аграрної політики.

## Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

## References

1. Karpinska, N. V. (2021). *Zastosuvannya sanitarnykh ta fitosanitarnykh zakhodiv: problemy pravovoho zabezpechennia u konteksti vymoh SOT ta YeS: monohrafiia*. Luts'k: SPD Hadyak Zhanna Volodymyrivna, drukarnia "Volynpolihraf" [in Ukrainian]
2. Yak suputnykovyi monitorynh dopomahaie pidhotuvaty polia do posivnoi? (2023). *Aggeek*. Retrieved from: <https://aggeek.net/ru-blog/yak-suputnikovij-monitoring-dopomagaie-pidgotuvaty-polya-do-posivnoi> [in Ukrainian]
3. Briukhanov, A. (2023). *Systema Cropio dopomahaie kontroliuvaty stan posiviv u rezhymy realnogo chasu*. Retrieved from: *AgroTimes*. <https://agrotimes.ua/tehnika/systema-cropio-dopomagaie-kontroliuvaty-stan-posiviv-u-rezhymy-realnogo-chasu> [in Ukrainian]
4. Demianenko, S. I., & Nivievskyi, O. V. (2015). *Systema rehuliuuvannya fitosanitarnykh zakhodiv v Ukraini. Ekonomika APK*, 5, 28–33. [in Ukrainian]
5. *Mizhnarodna konventsiiia pro zakhyst roslyn*. Ukaz Prezydenta vid 31.01.2006 № 81/2006 (81/2006). *Verkhovna Rada Ukrainy*. Retrieved from: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_805#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_805#Text) [in Ukrainian]
6. *Pro karantyn roslyn*. *Zakon Ukrainy 4341-IX redaktsiia vid 19.04.2025*. *Verkhovna Rada Ukrainy*. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3348-12#Text> [in Ukrainian]
7. Ishii-Adajar, H., Cameron, K., Palmer, C., Li, A. O. K., Kadzamia, M. A. T. J., Fleming, S., Thakur, M., & Ogunmodede, A. (2024). A review of CABi digital tools for plant health and pest risk management. *Journal of Agricultural & Food Information*, 25 (1–4), 3–24. <https://doi.org/10.1080/10496505.2025.2467731>
8. Venkateswara, S., & Padmanabhan, J. (2025). Deep learning based agricultural pest monitoring and classification. *Scientific Reports*, 15, 8684. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92659-5>
9. Dai, M., Shen, Y., Li, X., Liu, J., Zhang, S., & Miao, H. (2024). Digital twin system of pest management driven by data and model fusion. *Agriculture*, 14 (7), 1099. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071099>
10. Cardim Ferreira Lima, M., Damascena de Almeida Leandro, M. E., Valero, C., Pereira Coronel, L. C., & Gonçalves Bazzo, C. O. (2020). Automatic detection and monitoring of insect pests: A review. *Agriculture*, 10 (5), 161. <https://doi.org/10.3390/agriculture10050161>
11. Shamshiri, R. R., Sturm, B., Weltzien, C., Fulton, J., Khosla, R., Schirrmann, M., Raut, S., Basavegowda, D. H., Yamin, M., & Hameed, I. A. (2024). Digitalization of agriculture for sustainable crop production: A use-case review. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1375193. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1375193>

12. Parra-López, C., Reina-Usuga, L., Garcia-Garcia, G., & Carmona-Torres, C. (2024). Designing policies to promote the adoption of digital phytosanitation towards sustainability: The case of the olive sector in Andalusia. *Agricultural Systems*, 221, 104147. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.104147>
13. Abbate, S., Centobelli, P., & Cerchione, R. (2023). The digital and sustainable transition of the agri-food sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 187, 122222. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122222>
14. Giua, C., Materia, V. C., & Camanzi, L. (2022). Smart farming technologies adoption: Which factors play a role in the digital transition? *Technology in Society*, 68, 101869. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101869>
15. Lishchuk, A., Parfeniuk, A., Horodyska, I., Boroday, V., & Draga, M. (2022). Main levers of environmental risk management in agroecosystems. *Agroecological Journal*, 2, 74–85. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2022.263320>
16. Dolia, M. M., Drozd, P. Yu., & Bilousova, T. V. (2020). The features of formation and monitoring of the physiological and phytosanitary condition in the chain crop rotation of “winter wheat – tomatoes” under modern technologies of cultivation in Ukraine. *Taurian Scientific Herald*, 1 (116), 40–46. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.5>
17. Derkach, O. (2019). Tsyfrovii tekhnolohii u zemlerobstvi: problemy ta perspektyvy. *Propozitsiya*, 10. Retrieved from: <https://propozitsiya.com/articles/analitika/tsyfrovii-tekhnolohii-u-zemlerobstvi-problemy-ta-perspektyvy> [in Ukrainian]
18. Lazebnyk, L., & Voitenko, V. (2022). Digital technologies in agricultural enterprise management. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*, 6 (41), 203–210. <https://doi.org/10.18371/fcaptp.v6i41.251440>
19. Yaroshchuk, R. (2024). The influence of digital technologies on increasing the efficiency of agricultural production. *Economy and Society*, 68. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-68-58>
20. Gorobets, N. (2022). Digital technologies in the system of strategic management of agricultural enterprises. *Agrosvit*, 1, 36. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2022.1.36>
21. EOS Data Analytics nadaie ukrainskym fermeram bezplatnyi dostup do analitichnoi platformy monitorynhu urozhainosti. (2024). *GrowHow.in.ua*. Retrieved from: <https://www.growhow.in.ua/eos-data-analytics-nadaie-ukrainskym-fermeram-bezplatnyy-dostup-do-analitichnoi-platformy-monitorynhu-urozhainosti/> [in Ukrainian]
22. EOS Data Analytics Gives Free Access to its Crop Monitoring Service for Ukrainian Farmers. (2024). *OrbitalToday*. Retrieved from: <https://orbitaltoday.com/2024/04/28/eos-data-analytics-gives-free-access-to-its-crop-monitoring-service-for-ukrainian-farmers/>
23. Tamavsky, E., Rossi, M., Bussay, A., Morel, J., Biavetti, I., Bratu, M., Cerrani, I., Claverie, M., De Palma, P., Fumagalli, D., Manfron, G., Niemeyer, S., Nisini Scacchiafichi, L., Panarello, L., Seguíni, L., Van Den Berg, M., & Zucchini, A. (2024). Crop monitoring in Europe. *JRC MARS Bulletin*, 32 (1). Retrieved from: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/4e0c8221-b9ac-11ee-b164-01aa75ed71a1/language-en>
24. Forum «Den Ahronoma»: vid platformy profesiinoho rozvytku do novatorskykh idei dlia vsoho ahrosektoru. (2025). *BAS*. Retrieved from: <https://bas.ua/posts/category/news/forum-day-of-the-agronomist> [in Ukrainian]
25. Kohut, P. (2023). Drony i suputnyky v sil'skomu hospodarstvi: shcho krashche? *EOS Data Analytics*. Retrieved from: <https://eos.com/uk/blog/drony-ta-suputnyky/> [in Ukrainian]
26. Ivanchenko, O. (2023). Vykorystannia tsyfrovyykh rishen' ta smart-tekhnolohii v ahrovyrobnytstvi. *Informatsiini tekhnolohii v ahrobiznesi ta ahrarnii osviti: tezy dopovidei XI Vseukrains'koi naukovo-praktychnoi konferentsii*. (pp. 7–9). Dnipro: DDAEU [in Ukrainian]
27. Pepelia, V. (2024). Minahropolityky rozvyvatyme tsyfrovii ahroservis. *Landlord.ua*. Retrieved from: <https://landlord.ua/news/tehnologii/minahropolityky-rozvyvatyme-cyfrovyy-agroservis> [in Ukrainian]
28. Babiichuk, N. (2022). Platforma xarvio® — «Sotsionika» v ahrobiznesi. *iFarming.ua*. Retrieved from: <https://ifarming.ua/upravlinnia/platforma-xarvio-socionika-v-agrobiznesi> [in Ukrainian]
29. Tekhnolohiia tsyfrovoho silskoho hospodarstva BASF Digital Farming xarvio (ADE). (2021). *Traktorist.ua*. Retrieved from: <https://traktorist.ua/technologies/tehnologiya-cifrovogo-silskogo-gospodarstva-basf-digital-farming-xarvio-ade> [in Ukrainian]
30. How satellites are revolutionizing crop health monitoring. (2025). *TechSci Research*. Retrieved from: <https://www.techsciresearch.com/blog/how-satellites-are-revolutionizing-crop-health-monitoring/4644.html>
31. Gorobets, N., Khomyakova, D., & Starykovska, D. (2021). Prospects of using digital technologies in the activities of agricultural enterprises. *Efektivna Ekonomika*, 1. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.1.90>
32. Lucas, K. R. G., Ventura, M. U., Barizon, R. R. M., Folegatti-Matsuura, M. I. da S., Ralisch, R., Mrtvi, P. R., & Possamai, E. J. (2023). Environmental performance of phytosanitary control techniques on soybean crop estimated by life cycle assessment (LCA). *Environmental Science and Pollution Research*, 30 (20), 58315–58329. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26633-x>
33. Labadessa, R., Adamo, M., Tarantino, C., & Vicario, S. (2024). The side effects of the cure: Large-scale risks of a phytosanitary action plan on protected habitats and species. *Journal of Environmental Management*, 371, 123285. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123285>

ORCID

V. Pysarenko 

<https://orcid.org/0000-0002-0184-3929>



2025 Pysarenko V. and Shereshylo O. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.