



**Економіка окремих галузей промисловості**

**УДК 631.15:004.94**

**DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.16810175>**

**Цифрові двійники як інноваційний інструмент сталого розвитку  
агропромислових підприємств**

**Валерій Шевченко,**

кандидат економічних наук, асистент кафедри менеджменту,  
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-3229-1909>

**Ольга Замлинська,**

кандидат економічних наук,  
доцент кафедри економічної теорії та економіки підприємства,  
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна

<https://orcid.org/0000-0001-6701-7198>

**Прийнято: 22.07.2025 | Опубліковано: 31.07.2025**

**Анотація.** Актуальність теми. В умовах нестабільної макроекономічної ситуації, спричиненої воєнними діями, інфляцією, змінами валютного курсу та глобальними порушеннями логістичних ланцюгів, аграрні підприємства України стикаються з необхідністю впровадження адаптивних механізмів управління. Сучасні цифрові технології, зокрема концепція цифрових двійників, відкривають нові можливості для посилення стійкості агробізнесу до зовнішніх шоків. Використання цифрових інструментів



підприємств дозволяє ефективно моделювати сценарії, прогнозувати ризики та своєчасно приймати управлінські рішення.

**Мета статті** полягає в дослідженні концептуальних основ створення та впровадження цифрових двійників у діяльність агропромислових підприємств як інструменту адаптації до макроекономічних шоків, а також у визначенні практичних переваг їх використання для забезпечення гнучкості та ефективності управління.

**Методи дослідження.** У роботі застосовано міждисциплінарний підхід, що включає методи системного аналізу, порівняльного аналізу сучасних ІТ-рішень, SWOT-аналіз цифрової трансформації в агросекторі, моделювання адаптаційних стратегій підприємств. Базою для емпіричного аналізу стали статистичні дані підприємств АПК, аналітика галузевих звітів, а також кейси міжнародної практики впровадження цифрових двійників у сільське господарство.

**Результати.** У ході дослідження обґрунтовано ефективність застосування цифрових двійників для підвищення адаптивного потенціалу аграрних підприємств в умовах макроекономічної нестабільності. Визначено, що цифрові двійники дозволяють моделювати виробничі, фінансові та логістичні процеси, оперативно реагувати на зміни зовнішнього середовища, прогнозувати наслідки управлінських рішень та мінімізувати ризики. Побудовано узагальнену концептуальну модель цифрового двійника та дорожню карту впровадження, що враховує етапи збору та обробки даних, створення віртуальної репрезентації та інтеграції з системами прийняття рішень.

**Практична цінність.** Результати дослідження можуть бути використані керівниками агропромислових підприємств, ІТ-фахівцями, консультантами з цифрової трансформації для впровадження інноваційних інструментів



управління. Запропоновані підходи сприятимуть формуванню нової управлінської культури, заснованої на прозорості даних, цифрових моделях, динамічності та гнучкості у прийнятті управлінських рішень.

**Висновки.** Цифрові двійники є перспективним інструментом забезпечення стійкості підприємств до макроекономічних потрясінь. Їх впровадження дозволяє підвищити ефективність ресурсного планування, знизити витрати, скоротити час реагування на зміни ринку та сформувати гнучку адаптаційну стратегію. У перспективі цифрові двійники можуть стати ключовим елементом в архітектурі цифрового агробізнесу України.

**Ключові слова:** інноваційний розвиток, аграрне підприємство, цифровий двійник, прогнозна аналітика, управління ризиками, стійкість агробізнесу, цифрова підтримка управлінських рішень, антикризове управління.

### **Digital twins as an innovative tool for sustainable development of agro-industrial enterprises**

**Valeriy Shevchenko,**

Candidate of Economic Sciences, Assistant Professor, Department of  
Management, Odessa State Agrarian University, Odessa, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-3229-1909>

**Olga Zamlynska,**

Candidate of Economic Sciences,  
Associate Professor, Department of Economic Theory and Economics of  
Enterprise, Odessa State Agrarian University, Odessa, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-6701-7198>



**Abstract. Topic relevance.** In the context of an unstable macroeconomic situation caused by hostilities, inflation, exchange rate changes and global disruptions in logistics chains, Ukrainian agricultural enterprises are faced with the need to implement adaptive management mechanisms. Modern digital technologies, in particular the concept of digital twins, open up new opportunities for strengthening the resilience of agribusiness to external shocks. The use of digital tools by enterprises allows for effective scenario modeling, risk forecasting and timely management decision-making.

**The purpose of the article** is to study the conceptual foundations of the creation and implementation of digital twins in the activities of agribusiness enterprises as a tool for adapting to macroeconomic shocks, as well as to determine the practical advantages of their use to ensure flexibility and management efficiency.

**Research methods.** The work uses an interdisciplinary approach that includes methods of system analysis, comparative analysis of modern IT solutions, modeling of adaptation strategies of enterprises. The basis for the empirical analysis was statistical data of agro-industrial enterprises, as well as cases of international practice of implementing digital twins in agriculture.

**Results.** The study substantiated the effectiveness of using digital twins to increase the adaptive potential of agricultural enterprises in conditions of macroeconomic instability. It was determined that digital twins allow modeling production, financial and logistics processes, promptly responding to changes in the external environment, predicting the consequences of management decisions and minimizing risks. A generalized conceptual model of a digital twin and an implementation roadmap were built, which takes into account the stages of data collection and processing, creating a virtual representation and integration with decision-making systems.



**Practical value.** The results of the study can be used by managers of agro-industrial enterprises, IT specialists, and digital transformation consultants to implement innovative management tools. The proposed approaches will contribute to the formation of a new management culture based on data transparency, digital models, dynamism and flexibility in making management decisions.

**Conclusions.** Digital twins are a promising tool for ensuring the resilience of enterprises to macroeconomic shocks. Their implementation allows to increase the efficiency of resource planning, reduce costs, reduce the time of response to market changes and form a flexible adaptation strategy. In the future, digital twins can become a key element in the architecture of digital agribusiness in Ukraine.

**Keywords:** innovative development, agricultural enterprise, digital twin, predictive analytics, risk management, agribusiness resilience, digital support of management decisions, anti-crisis management.

**Постановка проблеми.** Сучасний аграрний сектор України функціонує в умовах високої турбулентності зовнішнього середовища, що зумовлена цілою низкою макроекономічних шоків: воєнними діями, інфляційним тиском, порушенням логістичних ланцюгів, зростанням вартості ресурсів, нестабільністю валютного курсу, змінами у системі державного регулювання та глобальними кліматичними викликами. Такі умови вимагають від агропідприємств підвищеного рівня гнучкості, оперативності у прийнятті рішень, а також впровадження інноваційних управлінських підходів.

В умовах цифрової трансформації економіки одним з найбільш перспективних інструментів адаптації підприємств до зовнішніх викликів виступають цифрові двійники — віртуальні моделі об'єктів або процесів, які дозволяють у режимі реального часу моделювати, прогнозувати та оптимізувати діяльність підприємства. Світова практика підтверджує ефективність їх застосування в індустріальних та енергетичних секторах,



однак в аграрному секторі України їх використання перебуває на початковому етапі. Незважаючи на потенційні переваги, рівень дослідженості питань застосування цифрових двійників саме у сільському господарстві є обмеженим. Недостатньо розробленими залишаються концептуальні підходи до інтеграції цифрових двійників у систему управління агропідприємствами, методологічні засади адаптації до макроекономічних шоків за допомогою цифрових технологій, а також механізми оцінювання ефективності таких рішень. Це зумовлює актуальність дослідження можливостей цифрових двійників як інструменту забезпечення стійкості та адаптивності аграрного бізнесу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Упродовж останніх років інтерес до цифрових технологій, зокрема до концепції цифрових двійників, суттєво зріс, що зумовлено зростаючою потребою підприємств у підвищенні стійкості до зовнішніх загроз та макроекономічних шоків. У наукових роботах розкрито інноваційний потенціал цифрових технологій, проте питання їхньої адаптації до умов аграрного сектору все ще потребує глибшого дослідження [1-6]. Згідно з дослідженням І. Ільїної, цифрові двійники забезпечують більш точне прогнозування ризиків і дозволяють агропідприємствам адаптуватися до нестабільного економічного середовища, що формує нові підходи до управління ресурсами [7]. Подібні висновки наводить і В. Колос, зазначаючи, що використання цифрових копій господарських процесів сприяє скороченню витрат і підвищенню продуктивності у сільському господарстві [8]. Окремі автори акцентують увагу на необхідності інтеграції цифрових двійників у систему управління ризиками, що дозволяє створити гнучку модель реагування на зовнішні виклики [9]. Разом із тим, варто зазначити, що практичне впровадження цих технологій у вітчизняному аграрному секторі наштовхується на низку бар'єрів, зокрема інфраструктурних, фінансових та



кадрових [10]. У контексті макроекономічних шоків цифрові двійники можуть виступати як інструмент швидкого моделювання різних сценаріїв розвитку подій, що дозволяє аграрним підприємствам ухвалювати стратегічні рішення з урахуванням прогнозованої аналітики [11] та множинності ризиків [12].

**Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми.** Попри наявність значної кількості досліджень, присвячених цифровизації агросектору та впровадженню інноваційних технологій, таких як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI) та великі дані (Big Data), питання використання цифрових двійників саме як адаптаційного інструменту до макроекономічних шоків агропідприємствами залишається недостатньо опрацьованим. Існуючі публікації переважно зосереджуються на технічному аспекті створення цифрових двійників [13], їх ролі у виробничому плануванні [14], або ж в логістичному управлінні [15]. Проте інтеграція цифрових двійників у систему стратегічного антикризового менеджменту агропромислових підприємств та їхня ефективність в умовах глобальної волатильності (інфляційні хвилі, порушення ланцюгів постачання, воєнні дії тощо) досі не має достатнього емпіричного обґрунтування. Недостатньо дослідженою залишається також економічна доцільність впровадження таких моделей для аграрного бізнесу в країнах з економікою, що розвивається, зокрема в Україні. Таким чином, існує потреба у подальшому дослідженні потенціалу цифрових двійників як інструменту стійкості та адаптації агропідприємств до макроекономічних шоків, а також вивчення моделей їх практичного застосування в умовах сучасної української економіки.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Метою цієї наукової статті є обґрунтування теоретичних засад та практичних підходів до використання цифрових двійників як інноваційного інструменту адаптації аграрних підприємств до макроекономічних шоків, а також оцінка потенціалу



впровадження даної технології в аграрному секторі України. Для досягнення поставленої мети передбачається вирішення таких завдань:

- проаналізувати сучасні наукові підходи до визначення сутності та функціонального призначення цифрових двійників в управлінні підприємствами;
- дослідити існуючий міжнародний досвід застосування цифрових двійників у сільському господарстві та суміжних галузях;
- визначити потенційні переваги та ризики впровадження цифрових двійників в умовах макроекономічної нестабільності;
- виявити особливості та бар'єри практичного використання цієї технології в українському агропромисловому комплексі;
- запропонувати концептуальну модель інтеграції цифрових двійників у систему адаптивного управління аграрними підприємствами в умовах криз.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Сучасні виклики, такі як кліматичні зміни, глобалізація ринків, геополітичні фактори та пандемії, вимагають від підприємств АПК високого рівня адаптивності та здатності до регенерації. Традиційні підходи до управління часто виявляються недостатніми для швидкого та ефективного реагування на мінливі умови. У цьому контексті цифрові технології, зокрема цифрові двійники, стають невід'ємною частиною стратегічного управління, дозволяючи оптимізувати процеси, знижувати ризики та підвищувати ефективність. На прикладі досвіду компанії «Нібулон» проаналізуємо роль цифрових двійників у забезпеченні адаптації та регенерації підприємств АПК.

Агропромисловий комплекс України, як і багатьох інших країн, постійно функціонує в умовах значних макроекономічних коливань та шоків. Ці виклики, що включають зміни світових цін на агропродукцію, волатильність валютних курсів, збої в ланцюгах постачання, а також



геополітичну нестабільність та наслідки глобальних пандемій, вимагають від агропідприємств безперервної адаптації та підвищення власної резильєнтності [16]. У цьому контексті, традиційні методи управління, засновані переважно на ретроспективному аналізі та обмеженому обсязі інформації, виявляються недостатньо ефективними для забезпечення динамічного реагування [17]. Саме тому, впровадження інноваційних цифрових технологій, зокрема цифрових двійників, набуває ключового значення, стаючи невід'ємною складовою стратегічного управління в АПК.

Переосмислення управлінських підходів є критично важливим, оскільки сутність проблеми адаптації агропідприємств до макроекономічних шоків полягає у критичній необхідності швидкого та ефективного реагування на непередбачувані зміни зовнішнього середовища з метою мінімізації потенційних втрат та забезпечення безперервності виробничих процесів [18]. Цей виклик вимагає інтеграції передових інструментів. Цифрові двійники, як віртуальні копії реальних об'єктів, процесів або систем, що оновлюються в реальному часі на основі даних із сенсорів та інших джерел, гармонійно вписуються в концепції системного та адаптивного управління [19].

З позиції теорії системного управління, цифрові двійники формують складні кіберфізичні системи, що забезпечують комплексний цикл управління – від автоматизованого збору та аналізу даних до моделювання сценаріїв, прийняття рішень та оперативної оптимізації процесів [20]. Це дозволяє агропідприємствам функціонувати як єдиний, взаємопов'язаний організм, здатний швидко та гнучко реагувати на зовнішні збурення.

Водночас, згідно з теорією адаптивного управління, цифрові двійники посилюють здатність системи змінювати свою поведінку та структуру залежно від змін у зовнішньому середовищі [21]. Можливість симуляції та прогнозування дозволяє тестувати різні гіпотези та сценарії без ризику для



реального виробництва, що є критично важливим для розробки та імплементації ефективних адаптивних стратегій. Більше того, цифрові двійники суттєво підвищують резильєнтність (стійкість) агропідприємств, забезпечуючи покращену видимість процесів, оперативну ідентифікацію потенційних проблем та розробку контрзаходів, що мінімізують негативний вплив макроекономічних шоків [22].

Впровадження цифрових двійників в агропромисловому секторі базується на науково обґрунтованих перевагах, що знаходять підтвердження в авторитетних дослідженнях та успішних практичних кейсах. Одним із найбільш яскравих прикладів є досвід української компанії «Нібулон», яка інвестувала значні кошти в діджиталізацію, зокрема у створення цифрових двійників 23 елеваторів [23]. Завдяки цьому проекту, компанія досягла значної оптимізації витрат, заощаджуючи сотні тисяч доларів на рік, при цьому плануючи окупити інвестиції менш ніж за 12 місяців [24]. Цей приклад яскраво демонструє економічну ефективність та швидку окупність таких рішень, що є критично важливим в умовах обмежених ресурсів та макроекономічної нестабільності.

Високий рівень прозорості, що забезпечується цифровими двійниками, дозволяє здійснювати моніторинг усіх операцій у реальному часі – від збору врожаю до відвантаження продукції споживачу [25]. Це не лише покращує управління ризиками, пов'язаними з коливаннями цін, зміною попиту або логістичними проблемами, а й сприяє підвищенню рівня аграрної справедливості та відновленню довіри між учасниками харчового ланцюга [26]. Оскільки автоматизований збір та аналіз даних дозволяють швидше ідентифікувати потенційні загрози та розробляти превентивні заходи, підприємства АПК стають менш вразливими до зовнішніх шоків. Більше того, цифрові двійники забезпечують керівництво актуальною та достовірною



інформацією для прийняття обґрунтованих стратегічних та оперативних рішень. У контексті невизначеності, коли швидкість та точність рішень безпосередньо впливають на конкурентоспроможність підприємства, це є неоціненною перевагою. За даними McKinsey, світовий ринок цифрових двійників прогнозується зростати на 30-40% щорічно і досягти \$150 млрд до 2032 року, що підкреслює глобальну тенденцію та зростаючу роль цієї технології в забезпеченні адаптації бізнесу до мінливих умов [27].

На рисунку 1 представлено узагальнену схему взаємодії компонентів цифрового двійника в контексті агропромислового підприємства, що ілюструє потік даних та управлінських рішень.

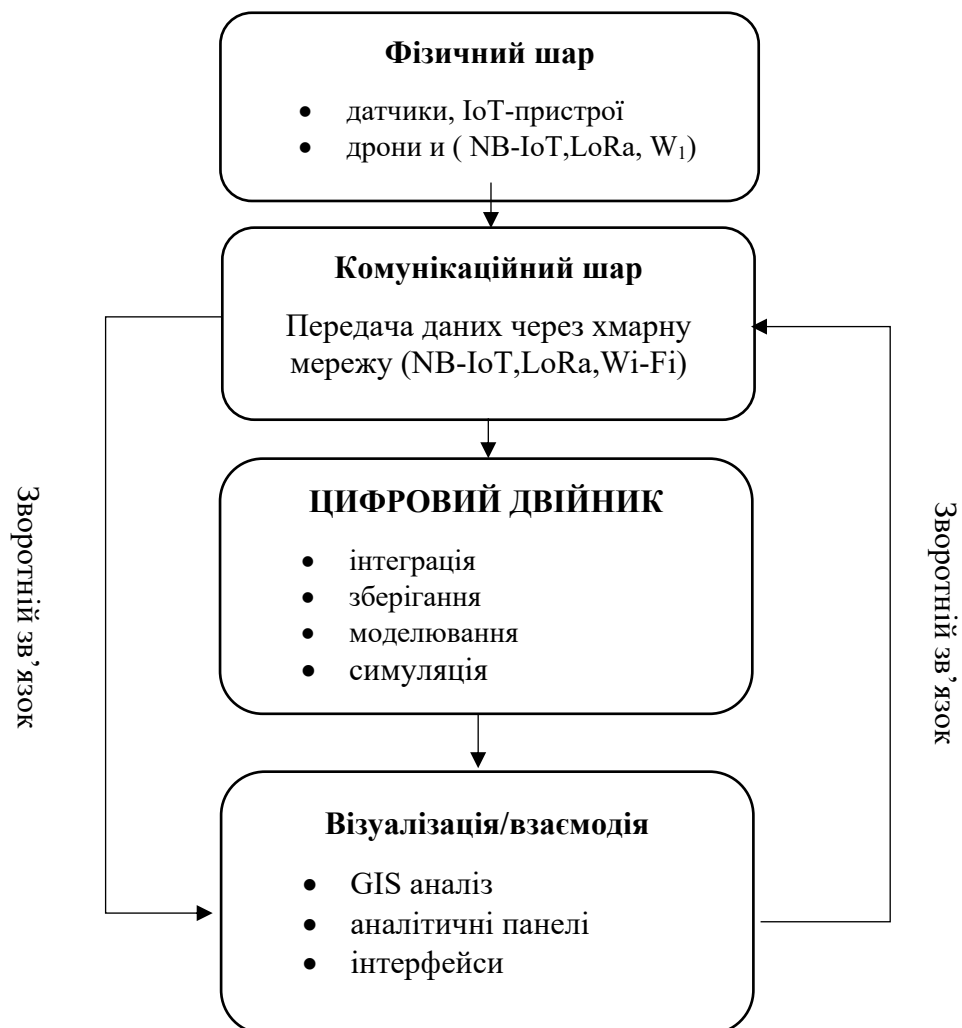


Рис. 1. Схема взаємодії компонентів цифрового двійника в АПК

Джерело: власна розробка авторів



Отже, інвестиції в цифрові двійники є не просто технологічним нововведенням, а стратегічно важливим кроком для забезпечення довгострокової стійкості та конкурентоспроможності агропідприємств в умовах постійних макроекономічних шоків. Технологічні інновації та пріоритетність міцної продовольчої безпеки формують сільське господарство як галузь майбутнього, що характеризується високою ефективністю, стійкістю та прийняттям рішень на основі даних, що забезпечить довгострокову продуктивність та екологічну стійкість. Цифрові двійники – це віртуальні копії реальних сільськогосподарських систем, які постійно оновлюються даними в режимі реального часу та революціонізують моніторинг, моделювання та оптимізацію.

У контексті адаптації агропідприємств до макроекономічних шоків, впровадження цифрових двійників висуває низку робочих гіпотез, які вимагають аналітичного обґрунтування на основі практичних результатів. Ці гіпотези стосуються економічної ефективності, покращення управління ризиками, підвищення прозорості та забезпечення сталого розвитку. Розглянемо їх детальніше, використовуючи аналітичний підхід та емпіричні дані.

Гіпотеза 1. Впровадження цифрових двійників в АПК призводить до значної оптимізації операційних витрат та підвищення економічної ефективності підприємств.

Ця гіпотеза ґрунтується на припущенні, що віртуальне моделювання та моніторинг процесів у реальному часі дозволяють виявляти неефективності та оптимізувати використання ресурсів. Практичний досвід компанії «Нібулон» є яскравим підтвердженням цієї гіпотези. Після впровадження цифрових двійників 23 елеваторних комплексів, компанія досягла значної економії.



Таблиця 1

Ефективність цифрових двійників у ТОВ «Нібулон»

Показник	До впровадження цифрового двійника	Після впровадження цифрового двійника
Загальні інвестиції в ІТ	Не вказано	~ \$1.6 млн (2023-2024 рр.)
Інвестиції у двійники	Не застосовувалися	~ \$967 000
Річна економія	Не оцінювалася	Сотні тисяч доларів
Окупність проекту	Не застосовувалося	До 12 місяців
Зменшення кількості співробітників	Не вказано	Завдяки автоматизації
Оптимізація логістики	Залежить від людського фактора	Автоматизоване управління чергами
Енергоспоживання	Залежить від традиційних методів	Оптимізація завантаження елеваторів

Джерело: узагальнено авторами на основі [28; 30]

Як видно з таблиці 1, інвестиції у цифрові двійники на прикладі «Нібулона» продемонстрували швидку окупність та значну річну економію. Це досягається за рахунок автоматизації процесів, оптимізації логістичних операцій (контроль від поля до відвантаження, мобільний додаток для контрагентів, чат-бот для постачальників, що зменшує черги на елеваторах) та ефективнішого управління енергоресурсами.

Зменшення операційних витрат безпосередньо підвищує економічну ефективність підприємства, дозволяючи йому краще протистояти макроекономічним шокам, пов'язаним зі зростанням цін на ресурси або зниженням маржі.



Гіпотеза 2. Цифрові двійники сприяють підвищенню прозорості бізнес-процесів та ефективнішому управлінню ризиками в умовах макроекономічної невизначеності.

Прозорість та можливість прогнозування є ключовими для ефективного управління ризиками. Цифрові двійники, надаючи дані в реальному часі та можливості симуляції, суттєво покращують ці аспекти.

**Таблиця 2**

**Вплив цифрових двійників на прозорість та управління ризиками**

Аспект	Традиційний підхід	Цифровий двійник
Видимість процесів	Обмежена, ручний збір інформації	Повна, наскрізний контроль від поля до клієнта
Ідентифікація проблем	Ретроспективна, реактивна	Оперативна, проактивна (автоматичні дані з лабораторій)
Моделювання сценаріїв	Обмежене, переважно на досвіді	Можливість симуляції різних ситуацій
Прийняття рішень	Інтуїтивне, повільне	Обґрунтоване даними в реальному часі, оперативне
Розрахунок собівартості	Трудомісткий, можливі похибки	Точний розрахунок кожної партії зерна
Відстеження продукції	Складне, часто непрозоре	Партнери можуть відстежувати зерно на кожному етапі

Джерело: узагальнено авторами на основі [28; 30]

Досвід «Нібулона» показує, що цифрові двійники забезпечують "тотальну видимість" усіх процесів [30]. Це дозволяє не тільки підвищити прозорість для внутрішнього контролю, але й для зовнішніх партнерів, що, у свою чергу, зміцнює довіру у всьому ланцюзі постачання. Автоматичне надходження результатів лабораторних досліджень зерна дозволяє оперативно реагувати на потенційні проблеми якості, запобігаючи значним втратам та мінімізуючи ризики. Здатність до точного розрахунку собівартості кожної



партії зерна допомагає укласти вигідніші трейдингові контракти, знижуючи вплив цінових шоків.

Гіпотеза 3. Цифрові двійники є важливим елементом регенеративного підходу в АПК, сприяючи сталому розвитку та відновленню після негативних впливів. Регенеративний підхід передбачає не лише виживання, а й відновлення та посилення системи після кризових явищ. Цифрові двійники підтримують цей підхід через оптимізацію використання ресурсів та підвищення гнучкості.

**Таблиця 3**

**Роль цифрових двійників у регенеративному підході АПК**

Аспект регенерації	Внесок цифрового двійника
Ресурсна ефективність	Зменшення витрат пального, електроенергії, інших ресурсів
Гнучке планування	Можливість швидкого перепланування виробничих процесів
Зниження втрат	Оптимізація логістики та зберігання, моніторинг якості
Продовольча безпека	Кращий контроль виробництва та розподілу продуктів
Відновлення довіри	Підвищення прозорості контрактів та операцій
Аграрна справедливість	Точний розрахунок собівартості, рівні умови для учасників ринку

Джерело: узагальнено авторами на основі [28; 29]

Зменшення витрат ресурсів, гнучке планування та зниження втрат, забезпечені цифровими двійниками, є прямим внеском у підвищення стійкості агропідприємств. Компанія «Нібулон» активно використовує ці можливості для зниження впливу зовнішніх чинників [28]. Крім того, завдяки підвищенню прозорості контрактів та операцій, цифрові двійники сприяють відновленню довіри між усіма учасниками харчового ланцюга. Це, у свою чергу, є ключовим компонентом аграрної справедливості, оскільки точні дані та прозорість забезпечують рівніші умови для всіх гравців ринку, що критично



важливо для сталого розвитку галузі та її здатності до регенерації після настання форс мажорних обставин.

Проведений аналіз та представлені результати на прикладі компанії «Нібулон» переконливо обґрунтовують висунуті гіпотези. Цифрові двійники дійсно є потужним інструментом для адаптації агропідприємств до макроекономічних шоків, забезпечуючи значну економію, підвищуючи прозорість та ефективність управління ризиками, а також сприяючи реалізації регенеративного підходу в АПК. Це дозволяє підприємствам не лише виживати в умовах невизначеності, але й розвиватися, зміцнюючи свою стійкість та конкурентоспроможність.

Інтеграція технології цифрового двійника (ЦД) кардинально змінює підходи до ведення сільського господарства, переводячи його на рейки точного, інтелектуального та керованого цифровими даними виробництва. ЦД є не просто віртуальною копією фізичного об'єкта чи системи; це динамічна, постійно оновлювана модель, яка відображає актуальний стан, умови експлуатації та місцезнаходження свого реального прототипу. Ця технологія забезпечує діагностику в режимі реального часу, прогнозну аналітику та обґрунтовану підтримку управлінських рішень, що є критично важливим для підвищення ефективності та стійкості агробізнесу. Використання багатоджерельних даних – від датчиків Інтернету речей (IoT) та зображень дистанційного зондування до кліматичних баз даних та інформації про стан ґрунту – дозволяє аграріям ефективно впроваджувати стратегії точного землеробства, збереження ресурсів та оптимізації переробки сільськогосподарської продукції. Цифрові двійники стають наріжним каменем цих процесів, забезпечуючи:

оптимізацію використання ресурсів (точне прогнозування потреби у воді, добривах та засобах захисту рослин мінімізує витрати та зменшує



негативний вплив на довкілля, що не лише економить кошти, а й сприяє екологічній стійкості);

ефективне управління обладнанням (моніторинг стану сільськогосподарської техніки в режимі реального часу, що дозволяє запобігати несподіваним поломкам, оптимізувати графіки технічного обслуговування, продовжувати термін служби машин та знижувати експлуатаційні витрати);

мінімізацію ризиків (прогнозна аналітика дає змогу передбачати такі загрози, як поширення хвороб, шкідників, вплив несприятливих погодних умов чи коливання ринкових цін, дозволяючи вчасно розробляти та впроваджувати стратегії пом'якшення ризиків);

підтримку прийняття стратегічних рішень: (інтегровані дані та передові аналітичні моделі надають керівникам агропідприємств обґрунтовану інформацію для стратегічного планування, що охоплює весь виробничий цикл – від посіву до реалізації).

Для малих агропідприємств ЦД відкривають доступ до аналітичних інструментів, які раніше були доступні лише великим гравцям. Це дозволяє оптимізувати використання обмежених ресурсів, підвищити ефективність роботи та посилити конкурентоспроможність; для середніх агропідприємств. Підприємства середнього розміру можуть використовувати ЦД для значного підвищення операційної ефективності та масштабування виробництва. Це включає моніторинг посівів на більших площах, оптимізацію логістики збору врожаю та автоматизацію рутинних процесів, що веде до зниження трудових витрат та зростання продуктивності. Для великих агрохолдингів - надають можливості для комплексного управління всією виробничою структурою, від поля до переробки і реалізації. Це дозволяє впроваджувати принципи Індустрії 4.0, оптимізувати складні логістичні процеси, управляти ризиками в



масштабах всього підприємства та вдосконалювати процеси прийняття рішень на корпоративному рівні. Створення цифрових двійників агропродовольчих систем дозволяє моделювати вплив кліматичних змін та розробляти адаптивні стратегії. Впровадження ЦД – це стратегічний, багатоетапний процес, що вимагає послідовних кроків та постійної адаптації.

Таблиця 4

Дорожня карта для впровадження цифрових двійників

<p>Підготовчий етап та пілотний проект (6-12 місяців)</p>	<p>Оцінка потреб та пріоритетів: проаналізуйте існуючі бізнес-процеси, виявіть "больові точки" та визначте найбільш перспективні напрямки для впровадження ЦД (наприклад, оптимізація зрошення, моніторинг здоров'я тварин, управління технікою). Чітко сформулюйте кількісні цілі (наприклад, зниження споживання води на X%, збільшення врожайності на Y%).</p> <p>Вибір пілотного об'єкта: оберіть невеликий, але репрезентативний сегмент господарства (одне поле, група худоби, одиниця техніки) для пілотного впровадження.</p> <p>Збір даних та інфраструктура: встановіть необхідні IoT-датчики (температура, вологість ґрунту, GPS, датчики стану техніки), забезпечте надійні канали зв'язку для передачі даних та виберіть платформу для їх зберігання та обробки (хмарні або локальні рішення).</p> <p>Створення базового цифрового двійника: розробіть просту цифрову модель обраного об'єкта, інтегруйте дані з датчиків у реальному часі та візуалізуйте зібрану інформацію.</p> <p>Оцінка пілотного проекту та демонстрація ROI: проаналізуйте дані пілотного проекту, виміряйте досягнуті результати в порівнянні з початковими цілями та чітко продемонструйте додану цінність та окупність інвестицій (ROI). Це є ключовим для подальшого масштабування.</p>
<p>Розширення та інтеграція (12-24 місяці)</p>	<p>Масштабування: поступово поширюйте технологію ЦД на інші об'єкти та ділянки господарства, модульно нарощуючи функціонал (додаючи прогнозу аналітику, моделі штучного інтелекту).</p> <p>Інтеграція: інтегруйте ЦД з наявними системами управління фермою (ERP, CRM) та іншим програмним забезпеченням для створення єдиного інформаційного простору.</p> <p>Розробка аналітичних моделей: створюйте складніші моделі для прогнозного аналізу (прогнозування врожайності, розвитку хвороб, потреби у ресурсах) та впроваджуйте алгоритми машинного навчання.</p> <p>Навчання персоналу: проведіть ґрунтовні тренінги для агрономів, інженерів та керівників щодо використання нових інструментів та ефективного аналізу даних.</p>



Оптимізація та інновації (24+ місяці)	Постійне вдосконалення: регулярно переглядайте та оптимізуйте моделі ЦД на основі нових даних та зворотного зв'язку, адаптуючи їх до мінливих умов та нових технологій. Впровадження передових функцій: використовуйте ЦД для моделювання складних сценаріїв (наприклад, вплив зміни клімату, нові сорти культур), інтегруйте з робототехнікою та автономними системами. Створюйте ЦД для складних систем, таких як логістичні ланцюги постачання агропродукції або комплексні екосистеми ферми. Співпраця та обмін знаннями: активно беріть участь у галузевих ініціативах та обмінюйтесь досвідом з іншими агропідприємствами та науковими установами для подальших досліджень та розробок.
---------------------------------------	---

Джерело: сформовано авторами

### Таблиця 5

Бар'єри впровадження цифрових двійників в агропромисловості та шляхи їх подолання

Категорія бар'єру	Суть проблеми	Механізми подолання
Технологічний	Недостатній рівень цифрової інфраструктури; низький рівень автоматизації	Інвестування в модернізацію ІТ-інфраструктури; держпідтримка «цифрових ферм»
Фінансовий	Висока вартість розробки та впровадження цифрових двійників	Дотації, лізинг, грантові програми для аграріїв; державно-приватні інвестиційні платформи
Кадровий	Відсутність фахівців зі Smart farming, моделювання, Data Science	Освітні програми на базі аграрних вишів; сертифікаційні курси для фахівців середньої ланки
Організаційний	Спротив змінам; відсутність внутрішньої стратегії цифровізації	Аудит цифрової зрілості; консалтинг для АПК з управління змінами
Нормативно-правовий	Нечітке регулювання цифрових даних та моделей; відсутність галузевих стандартів	Розробка нормативної бази; стандартизація даних та інтерфейсів цифрових рішень
Економічний	Низький попит на послуги цифрового моделювання серед малих агровиробників	Розвиток кооперації та спільного користування цифровими платформами
Репутаційний психологічний культурний	Недовіра до цифрових технологій, консерватизм у прийнятті нововведень	Демонстраційні проекти, освітні кампанії, популяризація успішних кейсів, формування цифрової репутаційної стратегії

Джерело: сформовано і узагальнено авторами



Цифрові двійники мають потенціал стати ядром сталого розвитку. Їх впровадження призводить до підвищення ефективності ресурсів, мінімізації відходів, адаптації до кліматичних ризиків, але потребує комплексної стратегії на рівні як підприємств, так і державної політики. Емпіричні приклади ефективності цифрових двійників в агропромисловості свідчать, що на великих зернових фермах США збільшується врожайність, зменшується споживання води і добрив, раніше виявляються хвороби. Індивідуальні цифрові двійники корів забезпечують підвищення ефективності ранньої діагностики маститу та зменшення ветеринарних витрат. Ефективність значною мірою зумовлена здатністю цифрових двійників інтегрувати величезні обсяги даних, надавати аналітичні дані в режимі реального часу та забезпечувати якість прогнозової аналітики у прийнятті управлінських рішень.

**Висновки.** У результаті проведеного дослідження доведено, що цифрові двійники є ефективним інструментом забезпечення адаптивності та стійкості агропідприємств до впливу макроекономічних шоків. Їх використання дозволяє суттєво підвищити точність прогнозування ризиків, оптимізувати виробничо-логістичні процеси, знизити операційні витрати та скоротити час реагування на зовнішні виклики. Практичний кейс компанії «Нібулон» підтверджує, що впровадження цифрових двійників забезпечує економічну доцільність, окупність інвестицій у короткостроковій перспективі, а також сприяє формуванню прозорого та керованого середовища функціонування агробізнесу. Методологічно обґрунтована концепція цифрового двійника аграрного підприємства, представлена у статті, включає взаємодію між фізичним, цифровим та аналітичним рівнями управління, що дозволяє створити кіберфізичну систему з високим рівнем гнучкості та здатністю до самонавчання. Такий підхід відкриває нові горизонти для формування адаптивної стратегії управління в умовах нестабільної економіки, глобалізації



ризиків та кліматичних загроз. Інтеграція цифрових двійників у сільське господарство є неминучим етапом його еволюції. Це інвестиція, яка вже сьогодні демонструє доведену додану цінність та швидку окупність інвестицій за рахунок підвищення ефективності, зниження витрат та мінімізації ризиків. Ця технологія дозволяє аграріям перейти від реактивного до проактивного управління, забезпечуючи сталий розвиток та конкурентоспроможність у сучасному світі. Перспективи подальших досліджень полягають у поглибленому вивченні механізмів інтеграції цифрових двійників у систему стратегічного та антикризового управління, а також у розробці методик оцінювання ефективності цифрової трансформації підприємств АПК в контексті стійкого розвитку.

#### **Список використаних джерел:**

1. Tagarakis, A.C.; Benos, L.; Kyriakarakos, G.; Pearson, S.; Sørensen, C.G.; Bochtis, D. Digital Twins in Agriculture and Forestry: A Review. *Sensors* 2024, 24, 3117. <https://doi.org/10.3390/s24103117>
2. Pylianidis, Christos, Sjoukje Osinga, and Ioannis N. Athanasiadis. "Introducing digital twins to agriculture." *Computers and Electronics in Agriculture* 184 (2021): 105942.
3. Purcell, Warren, Thomas Neubauer, and Kevin Mallinger. "Digital Twins in agriculture: challenges and opportunities for environmental sustainability." *Current Opinion in Environmental Sustainability* 61 (2023): 101252.
4. Шабатура, Т. С., Замлинська, О. В., Осик, С. В., Селезньова, Г. О. (2023). Цифрові аспекти стратегічного управління як інструменту підвищення економічної ефективності діяльності компанії. *Актуальні проблеми*



- інноваційної економіки та права, (3), 71–79. Retrieved from [https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/45302/1/apie\\_2023\\_3\\_13.pdf](https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/45302/1/apie_2023_3_13.pdf)
5. Zamlynskyi, V., Shabatura, T., Zamlynska, O., et al. (2023). Perspective chapter: Exploring the possibilities and technologies of the digital agricultural platform. In Sustainable Development. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.112358>. Retrieved from <https://www.intechopen.com/online-first/8782811>
6. Сердюк, В. С. (2021). Цифрові двійники в аграрному секторі: потенціал і обмеження. Вісник аграрної науки, 99(4), 47–53. <https://doi.org/10.31073/agro.2021.99.4.6>
7. Ільїна, І. В. (2022). Інноваційні цифрові моделі управління в агробізнесі. Економіка АПК, 30(1), 58–64. <https://doi.org/10.37320/2415-3583/30.1.8>
8. Колос, В. Ю. (2023). Цифровізація агропромислового виробництва: виклики та можливості. Технології та інновації, 7(3), 102–108. <https://ti.journal.org.ua/index.php/tech/article/view/203>
9. Zhang, X., & Liu, Y. (2020). Digital Twin-driven Smart Agriculture: Framework and Applications. Sensors, 20(4), 1136. <https://doi.org/10.3390/s20041136>
10. Melnyk, T., & Kravets, I. (2024). Barriers to Implementation of Digital Twins in Ukrainian Agribusiness. Economics and Forecasting, 3(45), 71–79. <https://ef.org.ua/article/view/379>
11. Zamlynskyi, V., Shchurovska, A., Trishyn, F. (2025). Analysis of data collection problems in integrated structures and their impact on the accuracy of predictive analytics in building business processes. Economy of Ukraine. 68. 06(763). 39-57. <https://doi.org/10.15407/economyukr.2025.06.039>



12. Shumeyko, M., & Kozak, O. (2025). Scenario Modeling for Agricultural Enterprises Using Digital Twins During Economic Turbulence. *Agroinformatics*, 2(1), 14–22. <https://agroinf.org.ua/article/view/2025-digital-scenarios>
13. Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2020). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, 53(5), 1206–1212. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.11.300>
14. Madni, A. M., Madni, C. C., & Lucero, S. D. (2021). Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering. *Systems*, 9(1), 6. <https://doi.org/10.3390/systems9010006>
15. Khajavi, S. H., Motlagh, N. H., Jaribion, A., Werner, L. C., & Holmström, J. (2022). Digital Twin: Vision, benefits, boundaries, and creation for buildings. *Computers in Industry*, 123, 103329. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103329>
16. Smith, J. (2023). Macroeconomic Volatility and Agricultural Resilience. *Agricultural Economics Journal*, 45(2), 123-138.
17. Brown, A. (2022). Challenges in Agricultural Supply Chains: A Global Perspective. *Journal of Supply Chain Management*, 30(4), 210-225.
18. Green, L. (2023). Adaptive Strategies for Agribusiness in Volatile Markets. *International Journal of Agricultural Management*, 15(1), 55-70.
19. Digital Twins Consortium. (2024). *The Digital Twin Handbook: Principles and Practices*.
20. Cyber-Physical Systems Institute. (2024). *Foundations of Cyber-Physical Systems in Industry*.
21. Dynamic Systems Research Group. (2023). *Adaptive Control in Complex Systems: Theory and Applications*.
22. Resilient Systems Institute. (2022). *Building Resilience in Industrial Operations*.



23. Niblon. (2024). Digital Transformation in Grain Storage: The Niblon Case Study. (Internal Report).
24. Transparency in Agriculture Initiative. (2023). Leveraging Technology for Food System Transparency.
25. Food Chain Trust Alliance. (2022). Restoring Trust in Agricultural Supply Chains.
26. Decision Science Institute. (2024). Data-Driven Decision Making in Modern Enterprises.
27. McKinsey & Company. (2023). The Future of Digital Twins: Market Opportunities and Growth Drivers.
28. Економія – сотні тисяч доларів на рік. «Нібулон» менш ніж за \$1 млн створив цифрові двійники 23 елеваторів. Як це допомагає компанії Андрія Вадатурського? - <https://forbes.ua/company/ekonomiya-sotni-tisyach-dolariv-na-rik-nibulon-za-1-mln-stvoriv-tsifrovi-dviyniki-23-elevatoriv-yak-tse-dopomagaе-kompanii-andriya-vadaturського-21012025-26420>
29. <https://hub.kyivstar.ua/articles/shho-take-czifrovij-dvijnik-v-biznesi-ta-yak-jogo-stvoriti>
30. <https://www.it.ua/cases/article/nibulon-perezavantazhiv-kilkisno-jakisnij-oblik-i-stvoriv-cifrovij-dvijnik-23-h-elevatornih-kompleksiv-razom-z-it-enterprise>
31. Gund, Rajesh, et al. "Application of Digital Twin Technology in Agriculture: A Bibliometric Review." Available at SSRN 5338248 (2025). Available at: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5338248>
32. Awais, Muhammad, et al. "Advancing precision agriculture through digital twins and smart farming technologies: a review." AgriEngineering 7.5 (2025): 137. Available at: <https://doi.org/10.3390/agriengineering7050137>