

**Г. В. Чепіль<sup>1</sup>, А. В. Панченко<sup>2</sup>,**  
ORCID: <sup>1</sup> 0009-0006-3386-6320; <sup>2</sup> 0000-0001-8658-1691  
Національний університет “Львівська політехніка”  
Кафедра економіки підприємства та інвестицій

## **КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ТРЕНДИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ 4.0 АГРАРНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ**

<https://doi.org/10.23939/smeu2024.01.153>

© Чепіль Г. В., Панченко А. В., 2024

**Стаття присвячена дослідженню теоретичних та практичних аспектів використання технологій 4.0 та цифрової трансформації у підприємствах агропромислового сектору. Проаналізовано основні тенденції розвитку цифрового сільського господарства в Україні та світі. Виділено й описано основні елементи концепції “розумного сільського господарства”. Наведено приклад розрахунку економічного ефекту від впровадження технологій точного хліборобства, який може бути значним для фермерських господарств.**

**Ключові слова:** розумне сільське господарство; діджиталізація; цифрова трансформація; технології 4.0; ефективність виробництва.

### **Постановка проблеми**

Ми живемо в епоху завершення третьої та початку четвертої цифрової революції, що почалася в другій половині минулого століття. Провідним її трендом є Промисловість 4.0 (Industry 4.0). Її характерними рисами є повністю автоматизовані виробництва, на яких керівництво процесами здійснюється в режимі реального часу з урахуванням мінливості зовнішніх факторів. Кіберфізичні системи створюють віртуальні копії фізичних об'єктів, контролюють процеси і ухвалюють децентралізовані рішення. Вони можуть об'єднуватися в одну мережу, взаємодіяти в режимі реального часу, автоматично регулюватися і самонавчатися. Інтернет-технології забезпечують комунікації між персоналом та машинами. Підприємства виготовляють продукцію згідно з вимогами індивідуального замовника, оптимізуючи собівартість виробництва.

Проте цифровізація майже не торкається української промисловості, яка демонструє тенденцію до стрімкого скорочення темпів власного розвитку. Для України критичною проблемою є технологічне відставання. Через гальмування цифрової трансформації вітчизняні агропідприємства втрачають позиції не тільки на зовнішніх ринках, але й на внутрішньому. Це посилює актуальність дослідження процесу цифрової трансформації діяльності вітчизняних підприємств.

Згідно з Економічною стратегією України 2030 [5], агропереробна галузь є однією із цільових галузей в Україні для реалізації відповідних ініціатив та проектів Індустрії 4.0. Дослідження в цьому напрямку набуло особливої актуальності, оскільки проблеми розвитку та використання цифрових технологій в аграрному секторі перейшли з теоретичної площини у площину практичних рішень. Важливо дослідити перспективу проникнення технологій та інновацій в аграрній промисловості галузі економіки, які потенційно могли б показати значне зростання.

### **Актуальність дослідження**

Система українського сільського господарства 4.0 перебуває на стадії становлення. Великі українські аграрії вже почали використовувати цифрові технології. Популярними є бездротові мережі сенсорів – для моніторингу стану здоров'я тварин; безпілотні літальні апарати – для оброблення дронами-оприскувачими полів, хмарні обчислення – для моніторингу техніки і контролю витрат. Наведені технології використовують великі аграрні холдинги, і їх майже не використовують дрібний і середній агробізнес. Попри високу ціну на деякі технології, на світовому ринку дедалі більше з'являється цікавих продуктів, які можна використовувати українським сільськогосподарським компаніям. Проте низька поінформованість у цій сфері робить ці технології закритими для українського ринку. Актуально систематизувати способи застосування технології 4.0 аграрними підприємствами, визначити світові і вітчизняні тренди їх використання, дослідити можливі ефекти від цифрової трансформації бізнесу для українських аграріїв.

### **Формулювання мети та завдань статті**

Метою цієї статті є аналіз і розподіл за категоріями теоретичних та практичних аспектів використання технологій 4.0 та цифрової трансформації у підприємствах агропромислового сектору.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Актуальні аспекти розвитку цифрової економіки висвітлювали у своїх працях Д. Тапскотт, Т. Месенбург, К. Шваб, Н. Краус. Використання цифрових технологій в агробізнесі досліджували О. Вишневський, О. Гудзь, С. Коляденко, Е. Кривда, В. Ляшенко, М. Руденко, В. Фіщук та ін. Стратегічні засади управління аграрними підприємствами на підставі інформаційного забезпечення розглядали у своїх наукових працях Р. Бруханський, Н. Васильєва, В. Гармашов, Г. Калетнік, В. Каплуненко, П. Коваленко, В. Мазур, Л. Мармуль, М. Роїк, М. Ромашенко, П. Саблук.

Значну увагу в цих та низці інших досліджень зосереджено на висвітленні тенденцій розвитку цифрової економіки, постійному зростанні її частки в структурі ВВП провідних економік світу, сучасних процесах цифрової трансформації економіки тощо.

Водночас проблеми діджиталізації вітчизняних агропромислових підприємств є недостатньо вивченими та потребують подальших досліджень.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Промисловість 4.0, або четверта промислова революція, перетворює кожен сектор, визначаючи нові стратегії. Це стратегічна ініціатива, яка містить використання нових проривних цифрових технологій для досягнення цифрової трансформації в промисловості. Впровадження цих технологій в сільське господарство породжує наступне покоління промислового сільського господарства, відомого як сільське господарство 4.0, розумне сільське господарство або цифрове сільське господарство [1].

Система сільського господарства 4.0 надає фермерам розширений набір інструментів для розв'язання проблем виробництва сільськогосподарської продукції. Виробничі рішення в сільському господарстві пов'язані з продуктивністю ферми, впливом на навколишнє середовище, продовольчою безпекою та втратами врожаю. Наприклад, за допомогою систем активованих інтернетом речей (IoT) та бездротових мереж сенсорів (WSN) фермери можуть дистанційно під'єднуватися до своїх ферм для моніторингу та керування сільськогосподарськими операціями, незалежно від місця їх перебування і часу. Дрони з гіперспектральними камерами можуть збирати дані з різних джерел на сільськогосподарських землях. Техніки аналізу даних можна використовувати для обробки отриманих даних, а комп'ютерні програми допомагають фермерам у прийнятті рішень. Також у розумному сільському господарстві можна відстежувати та аналізувати різні параметри, такі як умови навколишнього середовища, стан ґрунту, графік поливу, використання гербіцидів та пестицидів, для збільшення врожайності та покращення якості продукції за допомогою сучасних систем [2].

Українські дослідники діджиталізації аграрної промисловості пропонують об'єднати “розумні” технології в сільському господарстві в чотири кластери: точне сільське господарство, сільськогосподарські роботи, ІТ-платформи / ІТ-додатки, Big Data [3].

З огляду на стрімкий розвиток технологій та їх диверсифікацію, доцільно доповнити концепцію розумного сільського господарства додатковими елементами, враховуючи їх технологічну належність.



Рис. 1. Складники концепції “розумного сільського господарства”  
(складено автором, використовуючи джерела [2, 3])

#### Безпілотні літальні апарати

Безпілотні літальні апарати (БЛА) або повітряні роботи – це літальні апарати без людського пілота на борту. Залежно від типу використаної технології та рівня автономії, існує велика різноманітність БЛА [6]. Дрони, які піднімаються та приводяться в рух чотирма (квадрокоптер) або шістьма (гексакоптер) роторами, стають популярними в сільському господарстві через їхню механічну простоту. Обладнані відповідними сенсорами (візійні, інфрачервоні, багатоспектральні та гіперспектральні камери і т. ін.), сільськогосподарські БЛА дають можливість фермерам отримувати дані про вегетацію, площу листя та індекси відбиття. Такі динамічні зміни в урожаї не можливо виявити під час обходження місцевості [6]. Ці дані дають змогу фермерам планувати можливі заходи для збільшення врожаю: наприклад, іригацію, внесення добрив, боротьбу з бур’янами. Проте більша частина систем, згаданих вище, все ще перебуває на стадії досліджень і не має широкого комерційного застосування.

#### Інтернет речей

Internet of Things (IoT) – це сукупність взаємопов’язаних обчислювальних пристроїв, сенсорів, побутових приладів та машин, з’єднаних за допомогою інтернету, кожен з унікальними ідентифікаторами і здатностями для виконання віддалених вимірювань та моніторингу [1].

В сільськогосподарській галузі пристрої IoT на фізичному рівні збирають дані, пов’язані з екологічними та параметрами врожаю, такими як температура, вологість, рН, рівень води, колір листя, вага свіжого листя тощо. Передання цих даних відбувається на рівні мережі, дизайн якого залежить від вибору відповідних технологій зв’язку, що відповідають розміру поля, місцю розташування ферми та типу сільськогосподарського методу.

Для зберігання даних у рівні служб використовуються техніки хмарного обчислення. Ці дані пізніше використовуються в рівні додатків для створення розумних додатків, які застосовують фермери, сільськогосподарські експерти та фахівці з ланцюга постачання для підвищення моніторингу ферми та продуктивності. Інтеграція IoT у сільське господарство призначена для надання фермерам інструментів ухвалення рішень та технологій автоматизації, які безперервно інтегрують знання, продукти та послуги для досягнення високої продуктивності, якості та прибутку.

### *Бездротові мережі сенсорів*

Бездротова мережа сенсорів (БМС) розглядається як технологія, що використовується в системі інтернету речей (IoT). Її можна визначити як групу просторово розподілених сенсорів для моніторингу фізичних умов навколишнього середовища, тимчасового зберігання зібраних даних і передавання нагромадженої інформації у центральне місце [1].

БМС для розумного сільського господарства складається з численних вузлів сенсорів, які з'єднані за допомогою бездротового модуля зв'язку. У цих вузлах є різні можливості (наприклад, обробка, передавання та відчуття), що дають їм змогу самоорганізуватися, самоконфігуруватися та самодіагностуватися.

Є різні типи БМС, які класифікуються залежно від середовища, де вони використовуються. До них належать територіальні бездротові мережі сенсорів, бездротові підземні мережі сенсорів (БПМС), бездротові мережі сенсорів у воді, бездротові мультимедійні мережі сенсорів та мобільні бездротові мережі сенсорів.

### *Аналітичні інструменти обробки даних*

Швидкі темпи розвитку технологій інтернету речей (IoT, internet of things) та технологій обчислення у хмарі (CC, cloud computing) надзвичайно збільшили обсяг даних. Ці дані, також відомі як Big Data (BD), містять текстовий та мультимедійний контент (наприклад, відео, зображення, аудіо) [11]. Процес аналізу цих даних для виявлення прихованих закономірностей, невідомих кореляцій, ринкових тенденцій, вподобань споживачів тощо називається аналітикою великих даних (BDA).

Зібрані дані зберігаються в комп'ютерних базах даних та обробляються комп'ютерними алгоритмами для аналізу характеристик насіння, погодних умов, властивостей ґрунту (таких як рН чи вміст поживних речовин), управління маркетингом та торгівлею, поведінкою споживачів та управління запасами.

Є позитивна тенденція до застосування BD-орієнтованого смарт-сільського господарства, оскільки вона може спричинити революційні зміни в ланцюгу постачання продуктів харчування та продовольчій безпеці через збільшення виробництва. Проте більша частина систем усе ще перебуває в стані прототипу.

### *Штучний інтелект*

Штучний інтелект (ШІ) передбачає розробку теорії та комп'ютерних систем, здатних виконувати завдання, що потребують інтелекту людини, такі як сенсорне сприйняття та прийняття рішень. В поєднанні із хмаровим обчисленням, інтернетом речей (IoT) та великими даними, ШІ, зокрема у сфері машинного навчання (ML) та глибокого навчання (DL), вважається одним із основних елементів діджиталізації сільського господарства [1]. Розробляються кілька інтелектуальних сільськогосподарських систем, які використовують алгоритми ML та DL для визначення різних параметрів, таких як виявлення бур'янів, передбачення врожаю чи ідентифікація хвороб. Випадки використання все ще перебувають в дослідній фазі, і наразі про комерційне використання не повідомляється.

### *Програмне забезпечення і додатки*

Програмне забезпечення та додатки в сільському господарстві – це комп'ютерні програми, які використовуються для автоматизації та оптимізації різних завдань у сільському господарстві. Вони можуть використовуватися для управління посівами, тваринами, ланцюгами поставок та іншими аспектами сільськогосподарської діяльності.

Типи програмного забезпечення та додатків у сільському господарстві:

- Програмне забезпечення для управління фермою: використовується для організації та аналізу даних про ферму.
- Програмне забезпечення точного хліборобства: використовує дані із супутників, дронів та інших датчиків для оптимізації використання ресурсів на полях.

- Програмне забезпечення для моделювання культур: використовується для моделювання росту та розвитку культур.
- Програмне забезпечення для управління тваринництвом: використовується для управління здоров'ям, виробництвом та розведенням тварин.
- Програмне забезпечення для управління ланцюгами поставок: використовується для управління потоком сільськогосподарської продукції від ферми до споживача.

Програмне забезпечення та додатки в сільському господарстві можуть бути цінним інструментом для підвищення ефективності та рентабельності фермерських господарств. Підсумковий аналіз трендів розвитку цифрового сільського господарства в Україні і світі подано в таблиці.

Таблиця

### Тренди цифрових технологій в аграрному бізнесі

Приклади використання	Світові тренди	Українські тренди
1	2	3
<b>Безпілотні літальні апарати</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Моніторити поля та аналізувати стан рослин і ґрунтів</li> <li>– Ідентифікація проблемних ділянок з високою точністю</li> <li>– Складання 3D мапи полів</li> <li>– Контроль якості виконання посівів чи роботи агротехніки</li> <li>– Внесення добрива, розпилювання ЗЗР, зрошування поля, тощо</li> </ul>	<p>Головні гравці на ринку сільськогосподарських дронів:</p> <p>Китай: DJI;</p> <p>США: Precision Hawk, Trimble, Aero Vironment та інші;</p> <p>Франція: Parrot Drones, Delair;</p> <p>Японія: Yamaha Motor Co., Ltd., Nileworks Inc.;</p> <p>Нідерланди: ATMOS UAV;</p> <p>Обсяг ринку агродронів у світі \$4,5 мільярда у 2023 році і планується, що він досягне \$17,9 мільярда до 2028 року [7, 8]</p>	<p>На ринку переважають сервісні компанії, які надають послуги із використанням БПЛА.</p> <p>Площа оброблених дронами-обприскувачами полів – 2,2 млн га, що становить приблизно 5,2 % загального земельного с/г фонду [5, 9].</p> <p>За підсумками 2022 року, ринок сільськогосподарської робототехніки було збільшено на 20 %, що є одним з найкращих показників у Європі [6]</p>
<b>Аналітичні інструменти обробки даних</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Узагальнення та інтерпретація історичних даних</li> <li>– Прогнозування майбутніх подій (погодні умови, врожайність)</li> <li>– Застосування машинного навчання та ШІ для обробки й аналізу величезних наборів даних у реальному часі</li> <li>– Візуалізація даних для представлення складної аналітики в зрозумілому форматі [10, 13]</li> </ul>	<p>Головні гравці ринку:</p> <p>США: Conservis, Agdna, Awhere;</p> <p>Канада: Onfarm, Farmersedge;</p> <p>Велика Британія: The Climate;</p> <p>Обсяг глобальної аналітики великих даних на світовому ринку сільського господарства становив \$817,57 мільйона у 2021 році і планується, що він досягне \$1709,17 мільйона до 2031 року, показуючи середньорічний темп зростання 7,65 % впродовж прогнозованого періоду [11, 12]</p>	<p>Миронівський хлібопродукт (МХП) реалізує портфель проєктів у напрямку digital-трансформації:</p> <p>SAP S/4 Hana – управління ресурсами підприємства;</p> <p>SAP CRM – управління взаємовідносинами з клієнтами на базі SAP Customer Experience;</p> <p>SAP Ariba – управління закупками;</p> <p>vZoo – управління процесом вирощування птиці</p>
<b>Роботи зі штучним інтелектом</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Техніки ШІ в агрокультурі (нечітка логіка, штучна нейронна мережа, генетичний алгоритм, оптимізація рою частинок, штучне потенційне поле)</li> <li>– Безпілотні трактори</li> <li>– Розумні сівалки, зрошувачі та комбайни</li> <li>– Автоматизовані прополювачі</li> <li>– Збирачі даних на основі LiDAR</li> <li>– Роботи-пастухи [14]</li> </ul>	<p>Найбільші компанії:</p> <p>США: International Business Machines Corp. (IBM), John Deere, Microsoft, The Climate;</p> <p>Канада: Farmers Edge;</p> <p>Іспанія: ec2ce [15, 16].</p> <p>Обсяг робототехніки на світовому ринку сільського господарства становив \$13,5 мільярда у 2023 році і планується, що він досягне \$ 40,1 мільярда до 2028 року [17]</p>	<p>Компанія “Агро-Інвест” впроваджує систему автоматизації складських процесів на основі роботів. Роботи сортують, пакують та навантажують сільськогосподарську продукцію, що дає змогу підвищити ефективність логістики та поліпшити якість продукції</p>

1	2	3
Бездротові мережі сенсорів		
<p>– Хімічні сенсори (датчик рН, газу, біосенсор)</p> <p>– Фізичні сенсори (датчики температури, вологості, водяного знака, електропровідності, забруднення ґрунту)</p> <p>– Механічні сенсори (детектор шкідників, датчики тиску, вібрації, вітру, руху, рівня води) [18]</p>	<p>Найбільші компанії:</p> <p>Очікується, що ринок точного хліборобства досягне 19 мільярдів доларів до 2025 року, зростаючи на 17 % у середньому впродовж прогнозованого періоду.</p> <p>Дослідження, проведене Європейською комісією, показало, що точне хліборобство може зменшити використання пестицидів на 25 % і призвести до зменшення внесення азотних добрив на 30 % [19].</p> <p>США: John Deere, Trimble, The Climate Corporation, METER Corporation, Sentra, Stevens;</p> <p>Іспанія: Libelium;</p> <p>Австрія: Pessl Instruments;</p> <p>Японія: Topcon Positioning Systems [20]</p>	<p>Компанія “Агротехніка” використовує БНС для моніторингу стану здоров’я тварин. БНС збирають дані про температуру тіла, частоту дихання та частоту пульсу. Ці дані використовуються для раннього виявлення захворювань.</p> <p>Компанія “Агро-Інвест” використовує БНС для контролю якості сільськогосподарської продукції. БНС збирають дані про температуру та вологість продукції. Ці дані використовуються для забезпечення якості продукції</p>
Хмарні обчислення		
<p>– Програмне забезпечення як послуга (SAAS): містить інструменти робочого середовища ІКТ, такі як програмне забезпечення, вебпрограми тощо, без покупки/завантаження і встановлення на певних машина та ін.</p> <p>– Платформа як послуга (PAAS): вона надає клієнтам обчислювальну платформу для проектування та розробки спеціальних додатків з мінімальною надмірністю</p> <p>– Інфраструктура як послуга (IAAS): містить як матеріальні, так і нематеріальні компоненти, які використовуються в послугах ІКТ, такі як віртуальні комп’ютери, моніторинг і перенаправлення трафіку, базові мережеві компоненти тощо [22]</p>	<p>Загальні глобальні витрати підприємств на IaaS, PaaS і SaaS у 2021 році становили 340,4 мільярда доларів США. Очікується, що середній темп зростання ринку досягне понад 17 % між 2021 і 2026 роками. SaaS становить найбільшу частину глобального доходу від хмарних послуг і залишатиметься на цьому місці це домінування впродовж наступних років.</p> <p>Провідні постачальники хмарних обчислень: Alibaba, Alphabet (материнська компанія Google) і Amazon</p> <p>Провідні адаптери хмарних обчислень: AGCO, Bayer і Cargill [21]</p>	<p>Одним з українських хмарних сервісів є проєкт Soft.Farm, який пропонує комплексний підхід до автоматизації сільгосппідприємства.</p> <p>В одному сервісі об’єднані агрономічні ІТ-інструменти, які потрібні для впровадження точного хліборобства та інших технологій: управління земельним банком; агротехнологія; GPS моніторинг техніки; агроскаутинг, контроль витрат та інші.</p> <p>Ще один відомий український хмарний оператор, який можна використовувати аграріям – GIGACLOUD. GigaCloud входить в групу компаній GigaGroup, в складі якої також є телеком-провайдер GigaTrans і комерційний дата-центр GigaCenter рівня Tier III</p>

1	2	3
Програми і додатки		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ефективне керування агропідприємством (графіки посівів, збирання врожаю, застосування добрив та інших агротехнічних заходів)</li> <li>– Управлінські рішення сільськогосподарства (оптимізація використання землі, води, добрив та інших ресурсів)</li> <li>– Моніторинг та аналітика в сільському господарстві (стану посівів, погодних умов тощо)</li> <li>– Точне хліборобство (інтеграція аграрних систем з технологіями GPS і дронів) [23]</li> </ul>	<p>Очікується, що розмір глобального ринку інтелектуального сільськогосподарства досягне оцінки в 54,75 мільярда доларів США до 2030 року, зростаючи на 13,5 % CAGR упродовж прогнозованого періоду (2023–2030).</p> <p>Основні гравці:          США: Deere &amp; Company, Trimble Inc, AGCO;          Швеція: DeLaval, Heliospectra AB;          Норвегія: AKVA Group          Ізраїль: Afimilk Ltd. [24]</p>	<p>Агрохолдинг “Кернел” є найбільшим в Україні виробником та експортером соняшникової олії. 100 % полів компанії покриті якісними RTK сигналами, що є основою для точного хліборобства і моніторяться за допомогою супутникових знімків, коптерів, а також IT-інструментів, з якими працюють агрономи безпосередньо в полях</p>

Загалом можливі прямі економічні ефекти від використання технологій 4.0 в сільському господарстві можна розділити на три групи:

- Збільшення продуктивності: оптимізація використання ресурсів, що призводить до підвищення врожайності та прибутку.
- Зменшення витрат: мінімізація відходів та ризиків, що призводить до зниження витрат.
- Покращення рентабельності: підвищення продуктивності та зниження витрат.

Варто зазначити, що складники концепції “розумного сільськогосподарства” можуть бути імплементовані як окремою категорією, так і в комплексі. Для розвитку цього твердження пропонуємо провести розрахунки економічної ефективності використання агродронів для внесення пестицидів. Згідно з науковими дослідженнями, 3–6 % всієї засіяної площі поля гине під колесами колісних транспортних засобів [7]. Завдяки точності обробки та відсутності перекриття під час обробки засобами захисту рослин, використання безпілотного комплексу дає змогу збільшити врожайність до 20 % і скоротити витрати до 15 %.

За даними Мінагрополітики, середня врожайність пшениці в сезоні 2022/2023 р. становить 4,7 т/га. Середня закупівельна ціна за період 30.11.2023 – 07.12.2023 р. становила 5022 грн/т. [8]. Лише через те, що немає технологічних колій (до 5 % посівів), ми отримуємо  $4,7 \cdot 5022 \cdot 0,05 = 1180,17$  грн/га. Крім того, очікується економія на гербіцидах і пальному. Відповідно для купівлі дрона-оприскувача XAG V40 вартістю 328 тис. грн [6] достатньо буде обробляти ним  $328000/1180,17 = 278$  га для повернення коштів.

Проте вважаємо, що синергія, яка буде досягнута від використання технологій в комплексі, дасть набагато кращі результати. Наприклад, розглянемо, як об’єднання технологій інтернету речей, бездротової мережі сенсорів та аналітичних інструментів обробки даних може призвести до значного економічного ефекту для фермерських господарств. Для розрахунку економічного ефекту вирощування пшениці скористаємось показниками врожайності і ціни, які ми використовували в попередніх розрахунках. Також врахуємо, що витрати на обробку пестицидами: 3500 грн/га, а витрати на добрива: 2700 грн/га [12].

Ефект від оптимізації витрат:

- Пестициди: за допомогою технологій точного хліборобства фермер може оптимізувати внесення пестицидів на 20 %, тобто  $3500 \cdot 0,2 = 700$  грн/га.

- Добрива: за допомогою технологій точного хліборобства фермер може оптимізувати внесення добрив на 15 %.  $2700 \cdot 0,15 = 405$  грн/га.

Ефект від збільшення продуктивності:

- Врожайність: за допомогою технологій точного хліборобства фермер може підвищити врожайність пшениці на 10 %. Це може призвести до додаткового врожаю  $4,7 \text{ т/га} \cdot 0,1 = 0,47 \text{ т/га}$ . Отже, загальний додатковий дохід від підвищення врожайності становить  $0,47 \text{ т} \cdot 5022 \text{ грн/т} = 2358,94 \text{ грн/га}$ .

Загальний економічний ефект:  $700+405+2358,44 = 3463,44$  грн/га.

Звичайно, цей результат є лише умовним, оскільки реальний економічний ефект буде залежати від конкретних умов фермерського господарства, таких як площа посівів, культура, що вирощується, і рівень автоматизації. Однак навіть за цих умов впровадження технологій точного хліборобства може бути економічно доцільним для фермерських господарств.

### Висновки

Отже, можна підсумувати, що цифрова трансформація агробізнесу є основним фактором підвищення конкурентоспроможності та ефективності сільськогосподарських підприємств. Вона дає змогу автоматизувати процеси, підвищити ефективність використання ресурсів, приймати більш обґрунтовані управлінські рішення та адаптуватися до змінних умов навколишнього середовища. Цифрова трансформація агробізнесу є складним і тривалим процесом, який потребує значних інвестицій та зусиль від як самих підприємств, так і держави. Однак переваги, які вона може принести, є значними і можуть забезпечити українському агробізнесу конкурентні переваги на світовому ринку.

### Перспективи подальших досліджень

Цифрова трансформація агробізнесу є складним і багатогранним процесом, який потребує подальших досліджень. На основі аналізу наявних досліджень можна сформулювати такі рекомендації для подальших досліджень у цій галузі:

- Розробка методів та інструментів управління цифровими технологіями в агробізнесі.
- Аналіз економічних та соціальних ефектів від цифровізації агробізнесу.
- Розробка нормативно-правової бази, яка сприятиме розвитку цифровізації в агробізнесі.

Конкретні дослідження мають бути розроблені з урахуванням конкретних потреб та проблем українського агробізнесу.

### Список літератури

1. Abbasi Rabiya, Martinez Pablo, Ahmad Rafiq. (2022). *The digitization of agricultural industry – a systematic literature review on agriculture 4.0*, Smart Agricultural Technology 2, No. 100042, pp. 10–13.
2. Gacar A., Aktas H., Ozdogan B. (2017). *Digital agriculture practices in the context of agriculture 4.0*, Pressacademia 4, pp. 184–191.
3. Коляденко С. В. (2022). *Тенденції розвитку сільського господарства України в умовах цифровізації та євроінтеграції*, тези доповідей та статей учасників Міжнародної науково-практичної конференції, Вінниця, 29–30 березня 2022, с. 263.
4. Гаск Є. А. (2020). *Аналіз впровадження інтелектуальних технологій в сільське господарство*, Молодь і технічний прогрес в АПВ, с. 181–182.
5. Фішук Валерій, Матюшко Володимир. *Україна 2030Е – країна з розвинутою цифровою економікою*, доступно за посиланням: <https://strategy.uifuture.org/kraina-z-rozvinutoyu-cifrovoyu-ekonomikoyu.html> (доступ 17.03.2024).
6. *Сайт компанії Drone.UA*, доступно за посиланням: <http://drone.ua/> (доступ: 17.03.2024).
7. Muraru S. L., Cardei P., Muraru V., Sfiru R., Condruz P. (2019). *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019*. Conference Proceedings, pp. 683–690.
8. Сайт компанії “Агробіржа “Трипілля”, доступно за посиланням: <https://tripoli.land/ua/analytics/pshenitsa-furazh> (доступ: 17.03.2024).



9. Сайт “Діло ЮА”, доступно за посиланням: <https://delo.ua/business/rinok-agrodroniv-prodovzuje-rozvitok-v-casi-viini-yaki-trendi-417876/> (доступ: 17.03.2024).
10. Сайт “Маркетс енд Маркетс”, доступно за посиланням: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/agriculture-drones-market-23709764.html> (доступ: 17.03.2024).
11. Sivarajah U., Kamal MM., Irani Z., Weerakkody V. (2017). *Critical analysis of Big Data challenges and analytical methods*, J. Bus. Res. 70, pp. 263–286.
12. Мірзоева Т. В., Гуртовенко В. О. (2018). *Економічна ефективність виробництва пшениці озимої в розрізі виробничих витрат*, Бізнесінформ, № 10, с. 203–208.
13. Kaledio P. (2023). *Big Data and Analytics in Precision Livestock Farming (PLF)*, Russell E 25 th, Oct 2023, pp. 24–25.
14. *Big data analytics in agriculture market report overview* (2024), доступно за посиланням: <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/big-data-analytics-in-agriculture-market-102725> (доступ: 17.03.2024).
15. Wakchaure Manas Patle B. K., Mahindrakar A. K. (2023). *Application of AI techniques and robotics in agriculture*. Artificial Intelligence in the Life Sciences, Volume 3, December (2023), 100057, p. 176.
16. *Artificial intelligence in the agri-food sector Applications, risks and impacts*. (2023). STUDY Panel for the Future of Science and Technology. EPRS | European Parliamentary Research Service Scientific Foresight Unit (STOA) PE 734.711 – March 2023.
17. *Agriculture robots market* (2023), доступно за посиланням: [https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/agricultural-robot-market-173601759.html?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAiA4smsBhAEEiwAO6DEjb6At3gpppshAvzG8D6PAxEuJ9fd0Uj65-7CFxS8dbXc8NVIjx5i3RoCaVwQAvD\\_BwE](https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/agricultural-robot-market-173601759.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA4smsBhAEEiwAO6DEjb6At3gpppshAvzG8D6PAxEuJ9fd0Uj65-7CFxS8dbXc8NVIjx5i3RoCaVwQAvD_BwE) (доступ 17.03.2024).
18. Rahu Mushtaque Ahmed, Karim Sarang (2022). *Sensor Networks-based Smart Agriculture: Sensing Technologies, Application and Future Directions*, IBA Sukkur University, December 2022, pp. 23–32.
19. *Utilities One. Revolutionizing Agriculture Innovations in Wireless Communication Infrastructure* (2024), доступно за посиланням: <https://utilitiesone.com/revolutionizing-agriculture-innovations-in-wireless-communication-infrastructure#anchor-0> (доступ: 17.03.2024).
20. *Top Agricultural Sensors Companies In the World* (2024), доступно за посиланням: <https://www.reportsanddata.com/blog/top-agricultural-sensors-companies-in-the-world> (доступ: 17.03.2024).
21. *Global Data. Cloud Computing in Agriculture – Thematic Intelligence*, доступно за посиланням: <https://www.globaldata.com/store/report/cloud-computing-in-agriculture-theme-analysis/> (доступ: 17.03.2024).
22. *Application of Cloud Computing in Agricultural Sectors for Economic Development*, доступно за посиланням: [https://www.researchgate.net/publication/233910963\\_Application\\_of\\_Cloud\\_Computing\\_in\\_Agricultural\\_Sectors\\_for\\_Economic\\_Development](https://www.researchgate.net/publication/233910963_Application_of_Cloud_Computing_in_Agricultural_Sectors_for_Economic_Development) (доступ: 17.03.2024).
23. *Роль програмного забезпечення для аграрної галузі*, доступно за посиланням: <https://wezom.com.ua/pz-dlya-agrarnoyi-galuzi> (доступ: 17.03.2024)
24. *Straits research. Smart Agriculture Market*, доступно за посиланням: <https://straitsresearch.com/report/smart-agriculture-market> (доступ: 17.03.2024).
25. Меметов Айяр. (2022). *Практика діджиталізації підприємств вітчизняного агровиробництва*, Економічний аналіз. 2022, том 32. № 1, с. 75–76.

## References

1. Abbasi, Rabiya, Martinez, Pablo, Ahmad, Rafiq. (2022). *The digitization of agricultural industry – a systematic literature review on agriculture 4.0*, Smart Agricultural Technology 2, No. 100042, pp. 10–13.
2. Gacar, A., Aktas, H., Ozdogan, B. (2017). *Digital agriculture practices in the context of agriculture 4.0*, Pressacademia 4, pp. 184–191.
3. Koliadenko, S. V. (2022). *Tendentsii rozvytku silskoho hospodarstva ukrainy v umovakh tsyvrovizatsii ta yevrointehratsii*”, tezy dopovidei ta statei uchasnykiv Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, Vinnytsia, 29–30 bereznia 2022, p. 263.
4. Haiek, Ye. A. (2020). *Analiz vprovadzhennia intelektualnykh tekhnolohii v silske hospodarstvo*, Molod i tekhnichniy prohres v APV, p. 181–182.
5. Fishchuk, Valerii, Matiushko, Volodymyr. *Ukraina 2030E – kraina z rozvynutoiu tsyvrovoiu ekonomikoiu*, dostupno za posylanniam: <https://strategy.uifuture.org/kraina-z-rozvinutoyu-cifrovoyu-ekonomikoju.html> (dostup 17.03.2024).

6. *Sait kompanii Drone. UA*, dostupno za posylanniam: <http://drone.ua/> (dostup 17.03.2024).
7. Muraru, S. L., Cardei, P., Muraru, V., Sfiru, R., Condruz, P. (2019). *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019*. Conference Proceedings, pp. 683–690.
8. *Sait kompanii "Ahrobirzha "Trypillia"*, dostupno za posylanniam: <https://tripoli.land/ua/analytics/pshenitsa-furazh>, (dostup 17.03.2024).
9. *Sait "Dilo YuA"*, dostupno za posylanniam: <https://delo.ua/business/rinok-agrodroniv-prodovzujer-zvitok-v-casi-viini-yaki-trendi-417876/> (dostup 17.03.2024).
10. *Sait "Markets end Markets"*, dostupno za posylanniam: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/agriculture-drones-market-23709764.html> (dostup 17.03.2024).
11. Sivarajah, U., Kamal, M. M., Irani, Z., Weerakkody, V. (2017). *Critical analysis of Big Data challenges and analytical methods*, J. Bus. Res. 70, pp. 263–286.
12. Mirzoieva, T. V., Hurtovenko, V. O. (2018). *Ekonomichna efektyvnist vyrobnytstva pshenytsi ozymoi v rozrizi vyrobnychkh vytrat*, Biznesinform, No. 10, p. 203–208.
13. Kaledio, P. (2023). *Big Data and Analytics in Precision Livestock Farming (PLF)*, Russell E 25 th, Oct 2023, pp. 24–25.
14. *Big data analytics in agriculture market report overview* (2024), dostupno za posylanniam: <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/big-data-analytics-in-agriculture-market-102725> (dostup 17.03.2024).
15. Wakchaure, Manas, Patle, B. K., Mahindrakar, A. K. (2023). *Application of AI techniques and robotics in agriculture* Artificial Intelligence in the Life Sciences Volume 3, December (2023), 100057, p. 176.
16. *Artificial intelligence in the agri-food sector Applications, risks and impacts* (2023), STUDY Panel for the Future of Science and Technology. EPRS | European Parliamentary Research Service Scientific Foresight Unit (STOA) PE 734.711 – March 2023.
17. *Agriculture robots market* (2023), dostupno za posylanniam: [https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/agricultural-robot-market-173601759.html?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAiA4smsBhAEEiwAO6DEjb6At3gpppshAvzG8D6PAxEuJ9fd0Uj65-7CFxS8dbXc8NVIjx5i3RoCaVwQAvD\\_BwE](https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/agricultural-robot-market-173601759.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA4smsBhAEEiwAO6DEjb6At3gpppshAvzG8D6PAxEuJ9fd0Uj65-7CFxS8dbXc8NVIjx5i3RoCaVwQAvD_BwE) (dostup 17.03.2024).
18. *Mushtaque Ahmed Rahu, Sarang Karim* (2022). *Sensor Networks-based Smart Agriculture: Sensing Technologies, Application and Future Directions*, IBA Sukkur University, December 2022, pp. 23–32.
19. *Utilities One. Revolutionizing Agriculture Innovations in Wireless Communication Infrastructure* (2024), dostupno za posylanniam: <https://utilitiesone.com/revolutionizing-agriculture-innovations-in-wireless-communication-infrastructure#anchor-0> (dostup 17.03.2024).
20. *Top Agricultural Sensors Companies In the World* (2024), dostupno za posylanniam: <https://www.reportsanddata.com/blog/top-agricultural-sensors-companies-in-the-world> (dostup 17.03.2024).
21. *Global Data. Cloud Computing in Agriculture – Thematic Intelligence*, dostupno za posylanniam: <https://www.globaldata.com/store/report/cloud-computing-in-agriculture-theme-analysis/> (dostup 17.03.2024).
22. *Application of Cloud Computing in Agricultural Sectors for Economic Development*, dostupno za posylanniam: [https://www.researchgate.net/publication/233910963\\_Application\\_of\\_Cloud\\_Computing\\_in\\_Agricultural\\_Sectors\\_for\\_Economic\\_Development](https://www.researchgate.net/publication/233910963_Application_of_Cloud_Computing_in_Agricultural_Sectors_for_Economic_Development) (dostup 17.03.2024).
23. *Rol prohramnoho zabezpechennia dlia ahrarnoi haluzi*, dostupno za posylanniam: <https://wezom.com.ua/ua/pz-dlya-agrarnoyi-galuzi> (dostup 17.03.2024).
24. *Straits research. Smart Agriculture Market*, dostupno za posylanniam: <https://straitsresearch.com/report/smart-agriculture-market> (dostup 17.03.2024).
25. Memetov, Aiiar. (2022). *Praktyka didzhitalizatsii pidpriemstv vitchyznianoho ahrovyrobnytstva*, Ekonomichnyi analiz. 2022, tom 32. No. 1, p. 75–76.

**G. V. Chepil, A.V. Panchenko**

Lviv Polytechnic National University  
Department of Business Economy and Investment

**CLASSIFICATION AND TRENDS OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGY APPLICATION  
BY AGRICULTURAL ENTERPRISES**

© Chepil G. V., Panchenko A. V., 2024

The article is devoted to the study of theoretical and practical aspects of using Industry 4.0 technologies and digital transformation in the agricultural sector enterprises. The main trends in the development of digital agriculture in Ukraine and worldwide are analyzed. The authors identify and describe the main elements of the “smart agriculture” concept:

- Unmanned aerial vehicles
- Internet of Things
- Wireless sensor networks
- Data processing analytics tools
- Artificial Intelligence
- Software and applications.

The article investigates that unmanned aerial vehicles are effective for monitoring the condition of plants and soils, making 3D maps, applying fertilizers and irrigating fields. Analytical data processing tools are presented, global trends in their use for summarizing historical data and forecasting weather conditions, yield and visualization of complex analytics are determined. The trends and ways of using robots with artificial intelligence by world farmers are presented, in particular for the design of unmanned tractors, automated sprayers, and shepherd robots. The ways of using wireless sensor networks by the world’s agrarians have been identified – the installation of physical and mechanical sensors for the analysis of natural phenomena, soil, and water. Cloud computing has been proven to be an important technology for global agribusiness, using it as a computing platform PAAS, software SAAS, infrastructure as a service IAAS. The article also systematizes programs and applications used by agrarians, in particular for managing agribusiness, optimizing the use of land, water, and fertilizers.

The article examines the direct economic effects of the use of 4.0 technologies in agriculture. The effect of cost optimization and the effect of increased productivity when domestic farmers use 4.0 technologies are determined. An example of calculating the economic effect of implementing precision farming technologies, which can be significant for farming enterprises, is provided.

**Keywords:** smart agriculture; digitization; digital transformation; Industry 4.0 technologies; production efficiency.