

АГРОПРОМИСЛОВА ПОЛІТИКА
AGROINDUSTRIAL POLICY

УДК: 631.153:004.9 (73)

doi: <https://doi.org/10.15330/apred.2.21.23-37>

Ратушний Б.В.

**ДОСВІД США У ЗАСТОСУВАННІ ТЕХНОЛОГІЙ ТОЧНОГО
ЗЕМЛЕРОБСТВА В АГРАРНОМУ СЕКТОРІ**

Державний торговельно-економічний університет,
Міністерство освіти і науки України,
кафедра світової економіки,
вул. Кіото, 19, Київ,
02156, Україна,
тел.: +380964434591
e-mail: b.ratushnyy@knute.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0603-2113>

Анотація. У статті досліджується актуальність впровадження технологій точного землеробства як ключового напрямку цифрової трансформації аграрного сектору в умовах глобальних викликів — зростання чисельності населення, зміни клімату, деградації ґрунтів та обмеженості природних ресурсів. У центрі уваги дослідження перебуває досвід Сполучених Штатів Америки — країни, що демонструє системну державну політику у сфері точного землеробства, високий рівень технологічної інтеграції та ефективну міжсекторальну взаємодію.

Метою дослідження є комплексний аналіз інституційних, технологічних та інфраструктурних засад впровадження точного землеробства у США з подальшим визначенням можливостей їх адаптації до умов України. Методологічну основу становлять системний та порівняльний аналіз, структурне моделювання та аналітичне опрацювання профільних джерел: документів USDA, наукових публікацій, галузевих звітів.

У результаті встановлено, що найбільшу ефективність демонструють інтегровані технології, які поєднують функції збору, обробки та реалізації аграрних рішень. США сформували цілісну цифрову агроєкосистему, здатну адаптуватися до кліматичних, ринкових і соціальних змін. Обґрунтовано потенціал впровадження окремих елементів цієї моделі в українських умовах — передусім, через розвиток цифрової інфраструктури в сільських регіонах, формування відкритих дата-платформ, підтримку фермерів у придбанні цифрових технологій, підвищення цифрової грамотності аграріїв.

Наукова новизна дослідження полягає у першому комплексному аналізі досвіду США як зразка цифрової аграрної стратегії з високим рівнем впровадження smart farming. Практична значущість пов'язана з можливістю використання отриманих висновків у розробці державної політики цифровізації агросектору України, програм підтримки інновацій, механізмів технічної допомоги та освітніх ініціатив.

Перспективи подальших досліджень охоплюють вивчення ефективності локальних цифрових ініціатив у США, їх регіональних відмінностей та можливостей інтеграції відповідних елементів в українські умови.

Ключові слова: точне землеробство, розумне землеробство, інтернет речей, штучний інтелект, управління фермерським господарством, дані, технології, цифрове землеробство, інфраструктура, Сполучені Штати Америки

US EXPERIENCE IN APPLYING PRECISION FARMING TECHNOLOGIES IN THE AGRICULTURAL SECTOR

State University of Trade and Economics,
Ministry of Education and Science of Ukraine,
Department of World Economy,
Kioto Str., 19, Kyiv,
02156, Ukraine,
tel.: +380964434591
e-mail: b.ratushnyy@knute.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0603-2113>

Abstract. The article explores the implementation of precision agriculture technologies as a key vector of digital transformation in the agricultural sector under the conditions of global challenges such as population growth, climate change, soil degradation, and limited natural resources. The focus of the study is on the United States—one of the global leaders in smart farming—highlighting its institutional mechanisms, technological infrastructure, and practical implementation of digital tools in agricultural production.

The U.S. model is characterized by a systematic and multi-level policy approach, supported by federal initiatives such as the ReConnect program and the Precision Agriculture Loan Program, open access to agricultural data, and strong collaboration between government agencies, research institutions, and the private sector. The technological ecosystem encompasses GPS-based equipment, VRT systems, AI platforms (e.g., FarmBeats, Climate FieldView), and sensor networks, enabling data collection and real-time analysis across all production stages.

The purpose of the research is to provide a comprehensive analysis of the institutional, technological, and infrastructural foundations of digital farming in the United States and to identify the potential for adapting selected elements of this model to the Ukrainian context. The methodology is based on systemic and comparative analysis, structural modeling, and review of USDA documents, academic literature, and sectoral reports.

The findings show that the most effective solutions are those combining data collection, processing, and execution, particularly variable rate technologies, autonomous machinery, and AI-powered platforms. These technologies help reduce resource use, increase yields, and enhance environmental sustainability. The study also substantiates key priorities for Ukraine, including rural broadband development, financial incentives for farmers, open agricultural data platforms, and educational initiatives to promote digital literacy in the agri-food sector.

The novelty of the study lies in its first comprehensive assessment of the U.S. as a national example of digital agriculture strategy. The practical significance is tied to the applicability of its results for shaping Ukraine's agri-digital policy, innovation support frameworks, and international development programs.

Keywords: precision agriculture, smart agriculture, Internet of Things, Artificial Intelligence, farm management, data, technology, digital agriculture, infrastructure, United States of America

Вступ. У сучасних умовах глобальних викликів, пов'язаних із зростанням чисельності населення, зміною клімату, деградацією ґрунтів і обмеженістю природних ресурсів, цифрове землеробство стає ключовим напрямом трансформації аграрного сектору. За прогнозами, до 2050 року населення світу сягне близько 10 мільярдів осіб, що зумовлює необхідність суттєвого підвищення ефективності виробництва продовольства без збільшення негативного впливу на довкілля [1]. Традиційні методи ведення сільського господарства вже не забезпечують ані необхідної продуктивності, ані сталого розвитку, що підкреслює актуальність розвитку цифрових технологій.

Цифрове землеробство охоплює широкий спектр інновацій: Інтернет речей (ІоТ), штучний інтелект (ШІ), робототехніка, супутниковий моніторинг, мобільні додатки та

автоматизовані системи управління. Ці технології дозволяють здійснювати точний моніторинг стану ґрунтів, рослин, водних ресурсів, а також оптимізувати використання добрив, засобів захисту та енергоресурсів. Наприклад, завдяки IoT-системам фермери отримують у реальному часі дані про вологість ґрунту, температуру, стан посівів, що дає змогу приймати обґрунтовані рішення для підвищення врожайності й зниження витрат. Водночас, застосування ШІ та машинного навчання забезпечує прогнозування врожайності, виявлення шкідників і хвороб на ранніх стадіях, а також оптимізацію агротехнічних операцій.

Світовий досвід свідчить про зростання ролі технологій точного землеробства як інструменту досягнення цілей сталого розвитку, продовольчої безпеки та економічної ефективності. Однак ефективність цифрової трансформації агросектору значною мірою залежить від інституційної підтримки, рівня технологічної інтеграції, розвитку інфраструктури та доступу до аналітичних інструментів. У зв'язку з цим вивчення передового міжнародного досвіду стає надзвичайно актуальним для країн, що перебувають на етапі активного впровадження цифрових інструментів у сільське господарство.

Особливий інтерес становить досвід Сполучених Штатів Америки — країни, яка є одним із світових лідерів за рівнем технологічного розвитку аграрного сектору. Саме США демонструють комплексний підхід до цифрової трансформації сільського господарства: від федеральних програм розвитку інфраструктури до масштабного застосування AI-платформ, автономної техніки, IoT-систем та відкритих баз аграрних даних. Американська модель поєднує технологічні, економічні та інституційні компоненти, формуючи ефективну екосистему точного землеробства.

Незважаючи на високу наукову активність у сфері точного землеробства, у вітчизняному академічному просторі досі бракує релевантних публікацій, що були б присвячені аналізу досвіду лідерів у використанні точного землеробства, зокрема США. Європейський досвід досліджували Дугінець Г. В., Ніжейко К. А. [2], різні аспекти науково-технічного співробітництва у АПК Крачок Л. [3], Підоричева І. [4]. На світовому рівні дослідженнями точного землеробства у США займалися Marcelo Jr, Bruno M., Vinicius dos San C., Armando Lopes F. та ін. [5], фактори, що впливають на впровадження технологій точного землеробства серед малих фермерів у штаті Кентуккі, та їх значення вивчали Pandeya S., Gyawali B., Upadhaya S. [6]. Саме тому дана робота має наукову новизну й може становити особливу цінність для формування підходів до адаптації найкращих світових практик на прикладі лідера в умовах українського аграрного сектору.

Постановка завдання. Метою даного дослідження є комплексний аналіз досвіду Сполучених Штатів Америки щодо впровадження технологій точного землеробства в аграрному секторі, з акцентом на інституційні механізми, цифрову інфраструктуру, інноваційні рішення та практичні результати їхнього застосування. Для досягнення цієї мети передбачено вивчення ключових цифрових технологій, що активно використовуються у США, зокрема систем GPS-навігації, змінної норми внесення, IoT-сенсорів, безпілотних літальних апаратів, штучного інтелекту та агроаналітичних платформ.

Особливу увагу приділено аналізу ефективності ключових державних програм підтримки цифровізації сільського господарства, таких як ReConnect, Precision Agriculture Loan Program, Ag Data Commons, а також вивченню ролі партнерств між державними органами, науковими установами та приватними технологічними компаніями. Оцінюються як технічні, так і економічні показники результативності впроваджених рішень, а також екологічні наслідки застосування цифрових технологій у сільському господарстві США.

Важливим завданням є виявлення факторів, що забезпечують успішне впровадження точного землеробства у США, зокрема цифрової грамотності аграріїв, доступу до широкосмугового інтернету, наявності відкритих баз даних та інструментів аналітики. Паралельно досліджуються бар'єри впровадження, з якими стикаються фермерські господарства, зокрема малі та середні виробники.

Методологічну основу дослідження становлять системний аналіз, порівняльний підхід, аналіз кейсів та структурне моделювання компонентів цифрової агроєкосистеми США. Джерельна база включає наукові публікації, звіти USDA, аналітику провідних консалтингових компаній, матеріали програм розвитку точного землеробства, а також результати пілотних проєктів. Застосування комплексного підходу дозволяє сформулювати обґрунтовані висновки щодо перспектив адаптації американського досвіду в умовах аграрного сектору України.

Результати. Точне землеробство сьогодні розглядається як стратегічно важливий напрям трансформації аграрного сектору, який здатний забезпечити зростання ефективності виробництва, зменшення витрат та екологічне навантаження на довкілля. На відміну від традиційного землеробства, яке базується переважно на емпіричних знаннях, універсальних нормах і масовому застосуванні технічних засобів, цифрове землеробство передбачає використання цифрових технологій для диференційованого, адаптивного й ресурсозберігаючого управління агровиробництвом. Його фундаментом є обробка великих обсягів даних, що надходять від сенсорних систем, дронів, супутникових знімків, станцій моніторингу клімату, ґрунтових аналізаторів, а також від сучасної аграрної техніки, оснащеної системами GPS і IoT.

Сучасне сільське господарство XXI століття зазнає суттєвої цифрової трансформації, що супроводжується появою нових підходів і термінів. Серед них виокремлюються «точне землеробство», «розумне землеробство» та «цифрове землеробство». Ці поняття часто вживаються як синоніми, однак насправді мають чіткі відмінності. Точне землеробство (precision agriculture) спрямоване на підвищення точності й оптимізації обробітку полів та внесення ресурсів. Цей підхід використовує сучасні інформаційні технології для диференційованого управління польовими операціями з урахуванням неоднорідності умов на різних ділянках поля [7]. Задля цього застосовується широкий набір інструментів: від GPS-навігації, сенсорів і дронів до систем змінного внесення добрив та картування врожайності. Ключовим є принцип site-specific management – точного зонального внесення матеріальних ресурсів відповідно до локальних потреб, що дозволяє оптимізувати врожайність і знизити втрати та витрати. Саме точне землеробство виступає основним об'єктом даного дослідження (аналізується впровадження його технологій у США).

Натомість розумне землеробство (smart farming) охоплює значно ширший спектр цифрових технологій і є більш комплексним підходом до аграрного виробництва. Воно включає застосування таких інновацій, як Інтернет речей (IoT), робототехніка, безпілотники та штучний інтелект, для безперервного моніторингу стану господарства й автоматизації процесів [8]. Фокус розумного землеробства – на зборі й аналізі великого обсягу даних та інтелектуальному прийнятті рішень у реальному часі з метою оптимізації всієї агросистеми [7]. Таким чином, smart farming виходить за межі суто польових операцій, охоплюючи всі складові фермерського господарства (від рослинництва до управління ресурсами), щоб підвищити загальну ефективність та стійкість виробництва.

Цифрове землеробство (digital farming) являє собою ширшу парадигму цифровізації агросфери, що інтегрує принципи розумного і точного землеробства, акцентуючи створення додаткової цінності на основі даних (перетворення масиву зібраної інформації на прикладні знання та рішення) [8]. За визначенням Німецького

сільськогосподарського товариства (DLG), digital farming – це систематичне застосування методик точного й розумного землеробства, поєднане з внутрішньою та зовнішньою мережею зв'язків у межах господарства [7]. Іншими словами, цифрове землеробство робить акцент на всебічному використанні даних та мережевій інтеграції всіх учасників агровиробничого процесу для підтримки оперативних і стратегічних рішень.

На відміну від зазначених інноваційних підходів, традиційне землеробство базується на рівномірному обробітку всього поля та стандартному внесенні ресурсів без урахування внутрішньопольової мінливості, а рішення щодо догляду за посівами приймаються здебільшого на основі особистого досвіду й візуальних спостережень [9]. Натомість точне і розумне землеробство спираються на кількісні дані та автоматизовані системи, що дає змогу суттєво підвищити продуктивність і ефективність агровиробництва.

Точне землеробство як інноваційна модель ведення сільського господарства набуває дедалі більшого значення в умовах трансформації аграрного виробництва, глобальної продовольчої безпеки та необхідності зниження антропогенного навантаження на природні ресурси. Згідно з сучасними науковими підходами, цифрове землеробство трактується як система, що ґрунтується на інтеграції великого обсягу інформації, отриманої з різноманітних джерел — сенсорів, дронів, супутників, метеостанцій, платформ аналізу даних — для оптимізації рішень на кожному етапі виробництва [10]. Системи такого типу дозволяють фермеру здійснювати аналіз стану ґрунту, визначати вологість, виявляти хвороби культур та прогнозувати врожайність на основі математичних моделей. Ключовими характеристиками точного землеробства є автоматизованість, аналітичність, інноваційність та орієнтація на підвищення ефективності використання природних і фінансових ресурсів [11].

У результаті трансформації технологічного середовища роль фермера змінюється — з оператора техніки він перетворюється на менеджера даних, який має володіти аналітичними навичками, розуміти принципи обробки великих даних та використовувати інструменти штучного інтелекту для прийняття обґрунтованих управлінських рішень [12]. Згідно з європейською практикою, ефективне впровадження технологій «розумного» землеробства безпосередньо залежить від цифрової грамотності аграріїв, наявності доступу до інфраструктури (високошвидкісний інтернет, сервери для зберігання даних, хмарні сервіси), а також рівня державної підтримки інновацій.

Основні тенденції розвитку точного землеробства у світі відображають комплексний підхід до трансформації аграрного виробництва за рахунок впровадження інноваційних інформаційно-комунікаційних технологій, що сприяють підвищенню ефективності, сталості та прозорості аграрного сектору. Однією з провідних тенденцій є широке застосування Інтернету речей (IoT), що дозволяє збирати дані про стан ґрунту, рослин, кліматичних умов у режимі реального часу за допомогою сенсорних мереж. Це дає змогу оперативно реагувати на зміни та оптимізувати агротехнічні заходи, знижуючи витрати ресурсів і мінімізуючи негативний вплив на довкілля [12].

Важливим напрямком є інтеграція штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання для аналізу великих обсягів даних (Big Data). Завдяки цим технологіям можна прогнозувати врожайність, виявляти шкідників і хвороби, а також автоматизувати прийняття рішень щодо внесення добрив і засобів захисту рослин. Такий підхід підвищує точність і своєчасність агротехнічних операцій, що позитивно впливає на продуктивність і якість продукції. Автоматизація та роботизація сільськогосподарських процесів також набувають значного розвитку. Використання автономної техніки, дронів і роботів для посіву, обприскування та збору врожаю дозволяє підвищити

продуктивність праці, знизити трудові витрати та покращити якість виконання операцій. Це особливо актуально в умовах дефіциту кваліфікованих кадрів у сільській місцевості [13].

Супутниковий моніторинг і GPS-навігація забезпечують високоточне позиціонування та створення карт змінної норми внесення добрив, що дозволяє диференційовано управляти агротехнічними заходами на рівні окремих ділянок поля. Такий підхід сприяє більш ефективному використанню ресурсів і зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Розвиток цифрових платформ і мобільних додатків відкриває нові можливості для фермерів, забезпечуючи доступ до аналітичної інформації, агрономічних рекомендацій і ринкових даних у режимі реального часу. Це підвищує рівень обізнаності та дозволяє приймати більш обґрунтовані управлінські рішення.

Особливу увагу приділяють сталому розвитку та екологічній безпеці. Цифрові технології сприяють зменшенню використання хімічних засобів, оптимізації водокористування та мінімізації викидів парникових газів, що відповідає глобальним цілям сталого розвитку та збереження природних ресурсів [14].

Точне землеробство поступово перетворюється на основу сталого розвитку аграрного сектору, реагуючи на глобальні виклики продовольчої безпеки, зміни клімату та ресурсні обмеження. Серед країн, що демонструють найвищу ефективність цифрової трансформації сільського господарства, особливе місце посідають Сполучені Штати Америки. Обрання саме США як фокусу даного дослідження зумовлене високим рівнем технологічної інтеграції в агровиробництві, наявністю розвиненої інфраструктури цифрових даних, підтримкою інновацій на державному рівні та значним практичним досвідом у масштабному впровадженні smart farming. США займають провідні позиції на світовому ринку цифрових аграрних платформ. У 2024 році обсяг цього ринку в США становив \$6,16 млрд, що є найбільшим показником серед усіх країн. Очікується, що ринок зростатиме на 8,6% щорічно [15]. Американська модель точного землеробства є прикладом успішного поєднання технологічних інновацій та інституційної підтримки. Це робить її цінним об'єктом для аналізу та адаптації в інших країнах, включаючи Україну, де впровадження подібних підходів може сприяти підвищенню ефективності та сталості аграрного сектору.

У Сполучених Штатах Америки точне землеробство розглядається як ключовий інструмент підтримки агропромислового комплексу. Державна політика США у сфері точного землеробства є системною, багаторівневою та має виражений стратегічний характер. Вона формується через синергію федеральних програм, ініціатив на рівні штатів, партнерств з університетами та залученням приватного сектору. Такий підхід створює сприятливе середовище для масштабного впровадження аграрних цифрових інновацій.

Центральною інституцією, що координує політику у сфері цифровізації аграрного сектору, є Міністерство сільського господарства США (USDA). Одним із ключових напрямів діяльності USDA є забезпечення цифрової інфраструктури в сільських регіонах. У межах програми ReConnect, започаткованої у 2018 році, уряд інвестує значні кошти у розвиток широкосмугового інтернету у фермерських господарствах. Станом на 2023 рік у програму вкладено понад \$1,15 мільярда, що дозволило забезпечити підключення для сотень тисяч домогосподарств і підприємств у малодоступних регіонах [16].

Ще одним важливим інструментом цифрової трансформації є Precision Agriculture Loan Program, яка забезпечує пільгове кредитування фермерів для закупівлі технологій точного землеробства — GPS-обладнання, сенсорних систем, програмного забезпечення для аналізу даних. Програма сприяє не лише впровадженню інновацій, а й

оновленню аграрної техніки відповідно до новітніх екологічних та економічних стандартів.

Федеральна стратегія розвитку аграрних досліджень, затверджена у 2020 році під егідою National Institute of Food and Agriculture (NIFA), включає цифровізацію як пріоритет. У межах цієї стратегії реалізується кілька великих проєктів, таких як Ag Data Commons, що об'єднує відкриті дані про сільськогосподарські ресурси, а також AI Institute for Future Agricultural Resilience, який фінансує дослідження штучного інтелекту в агросфері [17].

На рівні штатів також активно реалізуються програми підтримки. Наприклад, у Каліфорнії діє ініціатива CDFA Healthy Soils Program, яка підтримує фермерів у застосуванні цифрових інструментів моніторингу вуглецевого балансу ґрунтів. У штаті Айова запроваджено платформу Iowa AgriTech Accelerator, яка надає гранти та технічну допомогу стартапам, що впроваджують інновації в агровиробництві.

Окремої уваги заслуговує роль відкритих даних. Агентства USDA, NOAA та NASA надають безкоштовний доступ до кліматичних, ґрунтових і супутникових даних, що створює фундамент для розвитку комерційних платформ аналітики (наприклад, Granular, Farmers Business Network). Така відкритість є одним із чинників, що стимулює зростання інноваційної активності в аграрному секторі.

Загалом державна політика США у сфері точного землеробства спрямована на формування комплексної екосистеми інновацій, що поєднує технологічну підтримку, фінансові інструменти, доступ до інфраструктури та освітні ініціативи. Це дозволяє забезпечити не лише впровадження технологій, але й поступове перетворення моделі агровиробництва в бік аналітично керованих і сталих систем.

Аналіз ринку точного землеробства у США свідчить про стійку позитивну динаміку зростання обсягів цього сегмента протягом останніх п'яти років. Як показано на Рис. 1, у період з 2019 по 2023 рік ринок продемонстрував стабільне щорічне зростання, збільшившись з \$3,85 млрд у 2019 році до \$5,594 млрд у 2023 році. Середньорічний темп приросту (CAGR) за цей період становив приблизно 9,7%, що підтверджує високу динамічність галузі.

Для розуміння пропорцій варто навести макроекономічні показники аграрного сектору США. У 2023 році агропромисловий комплекс США забезпечив близько \$1,537 трлн валової доданої вартості (5,5% ВВП країни), причому безпосередньо продукція ферм склала \$222,3 млрд (0,8% ВВП). Для порівняння, обсяг ринку точного землеробства у США в 2024 році оцінювався приблизно у \$6,16 млрд. Це означає, що сегмент цифрових агротехнологій поки становить лише близько 2–3% від валового обсягу сільськогосподарської продукції країни. Попри відносно невелику питому вагу, цифрове землеробство є динамічним і важливим сегментом: він демонструє стійке щорічне зростання (близько 9–10% на рік за останні п'ять років) і відіграє дедалі помітнішу роль у підвищенні ефективності аграрного виробництва [25].

Результати, представлені у Таблиці 1, також ілюструють високий потенціал подальшого розвитку: згідно з прогнозами, до 2030 року обсяг ринку сягне понад \$11 млрд при середньорічному темпі зростання на рівні 10,2%. Найбільшу частку в структурі ринку займає сегмент точного землеробства, що охоплює технології змінного внесення, GPS-навігації, IoT-сенсорів та аналітичного програмного забезпечення. Водночас, найбільш динамічним за темпами розвитку визнано сегмент моніторингу тваринництва, що демонструє прискорене впровадження цифрових рішень у суміжні галузі аграрного виробництва.

Зауважимо, що Таблиця 1 не є прямою оцінкою ринкового потенціалу технологій точного землеробства. Натомість вона наводить опосередковані показники – рівень впровадження цих технологій у фермерських господарствах, відсоткову економію

ресурсів та приріст продуктивності, які вони забезпечують. Саме такі непрямі індикатори дозволяють оцінити перспективи масштабування інновацій у точному землеробстві: високий рівень ефективності та суттєва економія ресурсів при навіть невеликому відсотку впровадження сигналізують про значний потенціал для подальшого зростання поширення цих рішень.

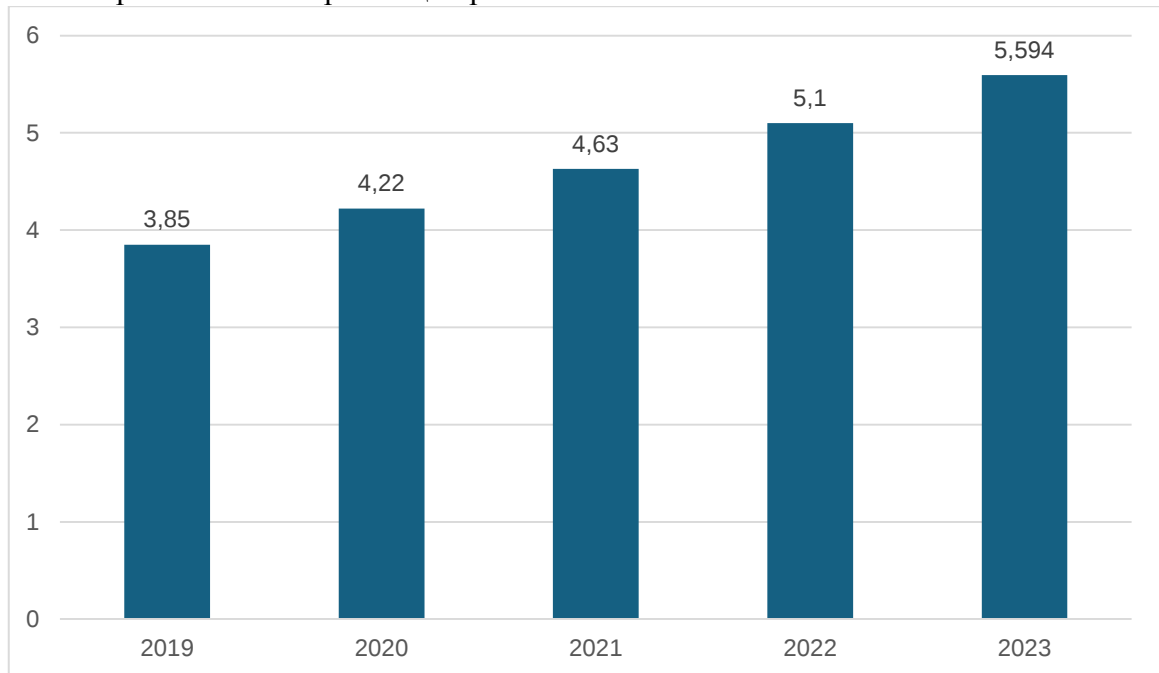


Рис. 1. Обсяг ринку точного землеробства США, млн дол. США

Fig. 1. The size of the US precision farming market, million USD

Джерело: сформовано на основі [24]

Слід зазначити, що зростання ринку точного землеробства у США обумовлено кількома ключовими факторами: інституційною підтримкою впровадження цифрових технологій з боку USDA, активними інвестиціями в AgTech-стартапи, а також запитом на підвищення ефективності використання ресурсів і забезпечення сталого розвитку. Додатковим стимулом є розвиток інфраструктури аграрних даних і надання відкритого доступу до супутникової та кліматичної інформації.

Динаміка демонструє не лише кількісне зростання ринку, але й відображає загальні технологічні трансформації в аграрному секторі США. У перспективі можна очікувати подальшого зростання ролі цифрових рішень у забезпеченні продовольчої безпеки, оптимізації витрат і реалізації екологічних цілей.

За даними звіту McKinsey & Company, понад 60% сільськогосподарських підприємств у США використовують елементи точного агровиробництва, зокрема змінне внесення добрив, сенсорні мережі для моніторингу ґрунтів і автоматизовані платформи на основі ШІ [18]. Важливим аспектом успішності американської моделі є синергія між академічним середовищем, стартапами та агрохолдингами. Наприклад, Університет Каліфорнії в Девісі реалізує масштабні програми дослідження цифрових аграрних систем, включно з машинним навчанням для прогнозування біотичних ризиків, автоматизованим управлінням зрошенням, а також аналітикою споживання ресурсів у різних ґрунтово-кліматичних зонах.

Інфраструктурна підтримка також відіграє визначальну роль. Розвиток широкосмугового інтернету в сільських регіонах у межах програми USDA ReConnect значно підвищив доступність хмарних сервісів і мобільних додатків для

агровиробників, що, у свою чергу, сприяє подальшій інтеграції цифрових інструментів. З огляду на зазначене, цифрове землеробство в США не є ізольованим технологічним процесом, а розвивається як складова стратегії сталого зростання аграрного сектору з високим рівнем залучення цифрових інновацій у всі ланки виробництва.

У Сполучених Штатах Америки точне землеробство базується на впровадженні комплексу передових технологій, які охоплюють усі етапи агровиробництва — від збору даних до прийняття управлінських рішень і автоматизації виробничих процесів. Однією з найпоширеніших технологій є системи картографування врожайності (yield mapping) та ґрунтів (soil mapping), що дозволяють отримувати просторово-деталізовану інформацію про продуктивність полів і агрохімічні показники ґрунту. Дані, зібрані під час збирання врожаю та ґрунтової діагностики, інтегруються у спеціалізоване програмне забезпечення для подальшого аналізу й планування агротехнічних заходів [21].

Широко впроваджуються технології автоматизованого керування сільськогосподарською технікою (auto-guidance), що базуються на GPS-навігації. Системи самостійного водіння тракторів і комбайнів забезпечують високу точність польових робіт, мінімізують перекриття та пропуски, що дозволяє зменшити витрати пального, часу й матеріальних ресурсів. На сьогодні такі системи використовуються більш ніж на 50% площ, зайнятих під основними культурами (кукурудза, соя, бавовник, рис, сорго, озима пшениця) [21].

Важливим елементом є технології змінної норми внесення (Variable Rate Technology, VRT), які дають змогу диференційовано застосовувати добрива, засоби захисту рослин і насіння відповідно до потреб окремих ділянок поля. Це підвищує ефективність використання ресурсів і зменшує екологічне навантаження.

Інтернет речей (IoT) активно інтегрується у фермерські господарства США, забезпечуючи збір даних у реальному часі з сенсорів, метеостанцій, дронів і супутників. IoT-системи дозволяють автоматизувати полив, моніторити стан ґрунту, рослин і тварин, а також оптимізувати логістику й управління виробничими процесами. Зокрема, система John Deere See & Spray із застосуванням комп'ютерного зору дозволяє зменшити використання гербіцидів до 90% завдяки точковому обробітку бур'янів [22].

Штучний інтелект (AI) і машинне навчання використовуються для аналізу супутникових знімків, прогнозування врожайності, раннього виявлення хвороб і шкідників, оптимізації агротехнічних операцій. AI-платформи, такі як Climate FieldView та FarmBeats, інтегрують IoT-дані з супутниковими знімками й аналітикою для прийняття рішень у реальному часі, що підвищує точність і оперативність управління господарством.

Одним із найбільш поширених інструментів є Climate FieldView. Платформа підтримує інтеграцію з більшістю сучасної сільськогосподарської техніки John Deere, Case IH, AGCO та Claas, що спрощує її масштабування. Згідно з оцінками Bayer, використання FieldView дає змогу знизити витрати на добрива на 12–20% та підвищити точність прогнозування врожайності до 90% в окремих регіонах [20]. Інша ключова технологія — FarmBeats від Microsoft. Це IoT-платформа, яка об'єднує дані з датчиків вологості, температури ґрунту, камер та супутникових знімків. Вона використовує алгоритми машинного навчання для моделювання агрономічних процесів та надає фермерам рекомендації, навіть за умов відсутності стабільного інтернету, завдяки гібридній обробці даних на локальних пристроях. За результатами пілотних проєктів у Каліфорнії, застосування FarmBeats дозволило скоротити використання води на 30% на фермах, що вирощують овочі в умовах дефіциту вологи [19].

Значну роль відіграють автономна техніка та роботи. Сучасні автономні трактори здатні працювати цілодобово, підвищуючи продуктивність до 30% і знижуючи витрати

на оплату праці до 50% Автоматизовані системи поливу, такі як Valley 365, використовують дані з метеостанцій та сенсорів вологості ґрунту для оптимізації водокористування, що особливо важливо для посушливих регіонів [23].

Таблиця 1, нижче, узагальнює ключові цифрові технології точного землеробства, які активно застосовуються у Сполучених Штатах Америки, та демонструє їх вплив на продуктивність, економію ресурсів і рівень впровадження у фермерських господарствах.

Таблиця 1

Основні технології точного землеробства у США та їхній вплив

Table 1

Key digital precision technologies in the US and their impact

Назва технології	Основна функція	Оцінка приросту продуктивності (%)	Оцінка економії ресурсів (%)	Рівень впровадження у США (%)
Трактори з GPS-навігацією	Точна навігація у полі	15–20	10–15	70–80
Моніторинг посівів з дронів	Аерофотозйомка для оцінки стану культур	10–15	5–10	30–40
ІоТ-сенсори для аналізу ґрунту	Моніторинг стану ґрунту в реальному часі	10–20	15–25	20–30
Програмне забезпечення з ШІ для управління посівами	Аналіз даних і підтримка прийняття рішень	20–30	15–20	40–50
Агророботи для збору врожаю	Автоматизований збір врожаю	25–35	20–30	5–10

Джерело: сформовано на основі [23]

Аналіз представлених у таблиці цифрових технологій точного землеробства у США дозволяє виокремити два ключові вектори: технології з високою ефективністю, але низьким рівнем впровадження, та рішення, що вже широко застосовуються, хоча й демонструють помірні результати.

Найвищу позитивну динаміку за приростом продуктивності та економії ресурсів демонструють агророботи для збору врожаю та програмне забезпечення з елементами штучного інтелекту. Їхній потенціал обумовлений високим ступенем автоматизації, здатністю до адаптивного аналізу даних та зменшенням впливу людського фактора на управлінські рішення. Утім, їх впровадження обмежується високою вартістю, потребою в технічній підтримці, а також необхідністю інтеграції з іншими елементами агротехнологічного ланцюга.

Натомість технології з меншою динамікою приросту, зокрема моніторинг із дронів та ІоТ-сенсори, залишаються у фазі часткового впровадження, попри наявні переваги. Це пов'язано насамперед з тим, що такі рішення самі по собі не формують завершеного управлінського циклу, а потребують подальшої інтерпретації даних, що ускладнює їх використання у господарствах з обмеженим доступом до фахової аналітики або агроплатформ.

Таким чином, найбільшу віддачу забезпечують комплексні технології, що поєднують функції збору, аналізу та реалізації аграрних рішень, тоді як часткові або вузькоспеціалізовані інструменти демонструють помірний приріст і вимагають інтеграції у ширшу цифрову екосистему господарства

Аналіз досвіду Сполучених Штатів Америки свідчить про наявність структурованої моделі точного землеробства, що інтегрує інфраструктурні, фінансові, технологічні та освітні компоненти. В умовах України адаптація окремих елементів цієї моделі має стратегічне значення для подолання викликів, пов'язаних із фрагментованістю аграрної структури, деградацією ґрунтів, кліматичними ризиками та низькою цифровою зрілістю агросектору.

Передусім необхідним є запровадження цільових державних програм підтримки цифрової інфраструктури в сільській місцевості, за аналогією з програмою USDA ReConnect. Забезпечення доступу до широкосмугового інтернету є критичним для впровадження IoT-рішень, агроплатформ, дистанційного моніторингу та хмарних сервісів.

Доцільним є також формування механізмів пільгового фінансування придбання цифрових аграрних технологій для малих і середніх господарств. Програма Precision Agriculture Loan Program у США демонструє ефективність кредитного стимулювання закупівлі точних систем обліку, моніторингу, дронів та аналізаторів ґрунтів. В українському контексті це може бути реалізовано через фонд часткової компенсації вартості цифрових рішень для фермерів або за участі міжнародних донорів.

Особливу увагу слід приділити створенню відкритих національних платформ аграрних даних, аналогічних Ag Data Commons. В Україні відсутнє систематизоване публічне сховище аграрних даних, яке б об'єднувало інформацію про ґрунти, метеорологічні умови, врожайність, супутникові спостереження. Формування такої платформи підвищить якість прийняття рішень на рівні як фермера, так і державної політики, забезпечивши прозорість, довіру та інноваційну активність.

Важливо адаптувати й освітньо-наукові ініціативи, спрямовані на підвищення цифрової компетентності аграріїв. В умовах України потреба в агроцифровій просвіті є критичною: більшість фермерів не мають доступу до знань щодо інтеграції IoT, GPS-навігації, агроаналітики. Створення регіональних цифрових хабів на базі аграрних університетів, аналогічно до AIFARMS чи Digital Agriculture Laboratory в UC Davis, сприятиме трансферу знань і стимулюванню підприємницької ініціативи.

У стратегічному вимірі Україна має орієнтуватися на модульну, гнучку цифрову екосистему, в якій поєднуються публічна інфраструктура даних, ринкові сервіси, агротехнологічні стартапи та освітні платформи. Лише за умов міжсекторальної взаємодії, аналогічної до моделі США, можлива ефективна цифрова трансформація агровиробництва, здатна забезпечити його стійкість, інноваційність та глобальну конкурентоспроможність.

Висновки. У результаті дослідження встановлено, що модель впровадження технологій точного землеробства у Сполучених Штатах Америки ґрунтується на комплексному підході, який поєднує державну політику, наукову підтримку, приватні ініціативи та відкриту інфраструктуру аграрних даних. США демонструють високий рівень системної цифровізації аграрного сектору, що реалізується через такі ключові компоненти: доступ до широкосмугового інтернету в сільській місцевості, кредитні інструменти для закупівлі цифрових технологій, міжсекторальну співпрацю та впровадження платформ аналітики на основі великих даних (Big Data) і штучного інтелекту.

Аналіз показав, що найбільшу ефективність демонструють ті рішення, які поєднують функції збору, обробки та практичного використання аграрних даних —

зокрема системи змінної норми внесення, автоматизоване управління технікою, IoT-сенсори та AI-платформи. Ці технології сприяють зменшенню витрат ресурсів, підвищенню врожайності та зниженню екологічного навантаження. Водночас встановлено, що окремі технології залишаються обмежено поширеними через високу вартість, потребу в цифровій грамотності та технічній підтримці.

З огляду на виявлені характеристики американської моделі точного землеробства, її імплементація в Україні можлива за умови поетапної адаптації ключових елементів: державної підтримки розвитку цифрової інфраструктури в сільських регіонах (аналог ReConnect), створення системи пільгового фінансування придбання агротехнологій (за прикладом Precision Agriculture Loan Program), розбудови відкритих національних баз аграрних даних, а також запуску освітніх ініціатив для підвищення цифрової грамотності фермерів. Актуальною також є підтримка агротехнологічних стартапів, які можуть прискорити локалізацію smart farming відповідно до умов українських агроєкосистем.

У дослідженні використано метод структурного моделювання для формалізації взаємозв'язків між ключовими компонентами цифрової агроєкосистеми США: інфраструктурою, інституційною підтримкою, технологіями, даними та освітою. Цей підхід дозволив систематизувати та візуалізувати зв'язки між компонентами цифрової трансформації агросектору, виявити залежності та взаємний вплив.

Таким чином, досвід США є цінним джерелом практичних рішень, здатних забезпечити структурну модернізацію аграрного сектору України на принципах сталого, інноваційного та аналітично керованого виробництва.

Наукова новизна полягає у системному аналізі досвіду США у впровадженні технологій точного землеробства як прикладу національної цифрової агростратегії. Уперше у вітчизняному науковому просторі здійснено комплексну оцінку інституційних, технічних та економічних аспектів цифрової трансформації агросектору США, що дозволяє ідентифікувати ключові чинники успішності та потенціал для міжнародної адаптації.

Теоретична значимість удосконаленні наукового підходу до аналізу цифрової трансформації аграрного сектору шляхом дослідження національної моделі точного землеробства США як прикладу системної, багаторівневої інтеграції інновацій у сільське господарство. У роботі вперше в українському академічному просторі здійснено структурований аналіз взаємозв'язку між державною політикою, цифровою інфраструктурою, інституційною підтримкою та технологічними рішеннями, що дозволяє сформулювати теоретичну основу для моделювання подібних процесів у країнах, що розвиваються. Дослідження сприяє розширенню уявлень про цифрову агроєкосистему як цілісну систему управління виробництвом на основі даних.

Практична цінність дослідження пов'язана із можливістю використання результатів для розробки механізмів адаптації досвіду США до реалій українського агросектору. У роботі обґрунтовано пріоритетні напрямки державної підтримки цифровізації сільського господарства, зокрема розвиток широкосмугового інтернету в сільських регіонах, впровадження фінансових стимулів для фермерів, створення національної платформи аграрних даних, підтримка інноваційних агростартапів та освітніх програм цифрової грамотності. Отримані результати можуть слугувати базою для формування агрополітики, стратегій цифрової трансформації, а також проєктів міжнародної технічної допомоги, спрямованих на підвищення ефективності, стійкості та конкурентоспроможності українського аграрного сектору.

Перспективи подальших досліджень розглядаються в контексті поглибленого вивчення регіональних практик впровадження цифрових технологій у США, аналізу ефективності окремих інструментів фінансування інновацій, а також розробки

механізмів адаптації елементів американської моделі до українських умов. Окрему увагу варто приділити вивченню впливу цифрових рішень на стійкість агроєкосистем та соціально-економічний розвиток сільських громад.

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The future of food and agriculture—trends and challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2e90c833-8e84-46f2-a675-ea2d7afa4e24/content> (дата звернення 28.04.2025)
2. Дугінець, Г., Ніжейко, К. Цифровізація аграрного сектору ЄС: Досвід для України. *Економіка та суспільство*. 2023. №56. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-148>
3. Крачок Л. «Міжнародне науково-технічне співробітництво в аграрній сфері: сутність, стан та особливості». *Молодий вчений*. 2020. №(6 (82)). С. 12–18. URL: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-6-82-3>
4. Підоричева І. Науково-технологічне та інноваційне співробітництво між Україною та Європейським Союзом: перспективи і стратегічні напрями розвитку. *Економіка України*. 2022. №2. С. 50–74.: URL: <https://doi.org/10.15407/economyukr.2022.02.050>
5. Marcelo Jr, Bruno M., Vinicius dos San C., Armando Lopes F. та ін. Precision agriculture in the United States: A comprehensive meta-review inspiring further research, innovation, and adoption. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108993>
6. Pandeya S., Gyawali B., Upadhaya S. Factors Influencing Precision Agriculture Technology Adoption Among Small-Scale Farmers in Kentucky and Their Implications for Policy and Practice. *Agriculture*. 2025. №15(2). P.177. URL: <https://doi.org/10.3390/agriculture15020177>
7. MazaoHub. Exploring the Distinctions: Precision Farming, Digital Farming, and Smart Farming. 2023. URL: <https://www.mazaohub.com/news/exploring-the-distinctions-precision-farming-digital-farming-and-smart-farming> (дата звернення 15.05.2025)
8. DTN Team. Precision Farming vs. Digital Farming vs. Smart Farming: What's The Difference? 2024. URL: <https://www.dtn.com/precision-farming-vs-digital-farming-vs-smart-farming-whats-the-difference> (дата звернення 15.05)
9. DripWorks. Precision Farming vs Traditional Farming. 2024. URL: <https://www.dripworks.com/blog/precision-farming-vs-traditional-farming> (дата звернення 15.05)
10. Frendt. Точне землеробство. Промо-бук про сучасні технології. 2022. URL: https://www.frendt.ua/wp-content/uploads/2022/11/promobuk_tochne_zemlerobstvo.pdf (дата звернення 28.04.2025)
11. Юрчук Н., Кіпоренко С. Цифровізація сільського господарства: виклики і можливості для фермерських господарств. *Агросвіт*. 2024. № 19. URL: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2024.19.53>
12. Калашнікова Т. Калашніков А. Мартіянова М. “Цифрове землеробство” як інструмент сталого розвитку. *Економіка та суспільство*. 2022. Випуск # 37. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-37-59>
13. Горобець Н., Хомякова Д., Стариковська Д. Перспективи використання цифрових технологій в діяльності аграрних підприємств. *Ефективна Економіка*. 2021. № 1. URL: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.1.90>
14. Присяжнюк О., Роїк М., Сінченко В., Черняк М., Маляренко М., Кононюк Н. Цифрові технології в агрономії – від теорії до практики. Вінниця: Твори, 2024. 211 с. URL: <https://bio.gov.ua/uk/bioenergy/news/monografiya-cyfrovi-tehnologiyi-v-agronomiyi-vid-teoriyi-do-praktyky> (дата звернення 28.04.2025)
15. Raje K. Digital Agriculture Platform Market Report 2025 (Global Edition). URL: <https://www.cognitivemarketresearch.com/digital-agriculture-platform-market-report>
16. USDA. Broadband. 2022. URL: <https://www.usda.gov/sustainability/infrastructure/broadband?utm> (дата звернення 28.04.2025)
17. USDA. Discover USDA-funded research in Ag Data Commons. URL: <https://agdatacommons.nal.usda.gov/> (дата звернення 24.04.2025)
18. McKinse. Voice of the US farmer 2023–24: Farmers seek path to scale sustainably. 2024. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/voice-of-the-us-farmer-2023-to-24-farmers-seek-path-to-scale-sustainably> (дата звернення 28.04.2025)
19. Microsoft. FarmBeats: AI, Edge & IoT for Agriculture. <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/farmbeats-iot-agriculture/> (дата звернення 28.04.2025)
20. Future farming. Climate FieldView the journey so far. 2023. URL: <https://www.futurefarming.com/tools-data-2/climate-fieldview-the-journey-so-far/> (дата звернення 28.04.2025).
21. McFadden J., Njuki E., Griffin T. Precision Agriculture in the Digital Era: Recent Adoption on U.S. Farms. USDA, 2023. URL: <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details?pubid=105893> (дата звернення 28.04.2025)

22. Onike N. Opinion: US smart solutions for a sustainable future: IoT in farming. Agripulse, 2025. URL: <https://www.agri-pulse.com/articles/22642-opinion-us-smart-solutions-for-a-sustainable-future-iot-in-farming> (дата звернення 28.04.2025)
23. Farmonaut. Revolutionizing United States Farming: How Autonomous Tractors and Smart Irrigation Systems Boost Productivity. 2024. URL: <https://farmonaut.com/usa/revolutionizing-united-states-farming-how-autonomous-tractors-and-smart-irrigation-systems-boost-productivity> (дата звернення 28.04.2025)
24. Horizon. U.S. Smart Agriculture Market Size & Outlook, 2023-2030. URL: <https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/smart-agriculture-market/united-states> (дата звернення 28.04.2025)
25. Economic Research Service U.S. Department of agriculture. Ag and Food Sectors and the Economy. 2025. URL: <https://www.ers.usda.gov/data-products/ag-and-food-statistics-charting-the-essentials/ag-and-food-sectors-and-the-economy> (дата звернення 15.05.2025)

References

1. "The future of food and agriculture-trends and challenges." Food and Agriculture Organization of the United Nations, openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2e90c833-8e84-46f2-a675-ea2d7afa4e24/content Accessed 28 Apr. 2025.
2. Duginets, G., and K. Nizheiko, "Digitalization of the agricultural sector of the eu: experience for Ukraine". *Economy and Society*, no. 56, 2023, <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-148>
3. Krachok, L. "International scientific and technical cooperation in the agricultural sector: essence, state and features." *Young Scientist*, no.6 (82), 2020, pp.12-18, <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-6-82-3>
4. Pidoricheva, I. "Scientific, Technological and Innovative Cooperation between Ukraine and the European Union: Prospects and Strategic Directions of Development". *Economy of Ukraine*, no.2, 2022, pp.50-74, <https://doi.org/10.15407/economyukr.2022.02.050>
5. Marcelo, Jr, Bruno, et al. "Precision agriculture in the United States: A comprehensive meta-review inspiring further research, innovation, and adoption." *Computers and Electronics in Agriculture*, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108993>
6. Pandeya, S., Gyawali, B., and S. Upadhaya. "Factors Influencing Precision Agriculture Technology Adoption Among Small-Scale Farmers in Kentucky and Their Implications for Policy and Practice." *Agriculture*, no.15(2), 2025, pp.177, <https://doi.org/10.3390/agriculture15020177>
7. "Exploring the Distinctions: Precision Farming, Digital Farming, and Smart Farming." MazaoHub, www.mazaohub.com/news/exploring-the-distinctions-precision-farming-digital-farming-and-smart-farming Accessed 15 May. 2025
8. "Precision Farming vs. Digital Farming vs. Smart Farming: What's The Difference?" DTN Team, www.dtn.com/precision-farming-vs-digital-farming-vs-smart-farming-whats-the-difference Accessed 15 May. 2025
9. "Precision Farming vs Traditional Farming." DripWorks, www.dripworks.com/blog/precision-farming-vs-traditional-farming Accessed 15 May. 2025
10. "Precision farming. Promotional book about modern technologies." Frenedt, www.frendt.ua/wp-content/uploads/2022/11/promobuk_tochne_zemlerobstvo.pdf (Accessed 28 Apr. 2025).
11. Yurchuk, N., and S. Kiporenko. "Digitalization of agriculture: challenges and opportunities for farms." *Agrosvit*, no. 19, 2024, <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2024.19.53>
12. Kalashnikova, T., Kalashnikov, A., and M. Martiyanova. "Digital farming" as a tool for sustainable development." *Economy and society*, issue 37, 2022, <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-37-59>
13. Horobets, N., Khomyakova, D., and D. Starykovska. "Prospects for the use of digital technologies in the activities of agricultural enterprises." *Effective Economy*, no. 1, 2021, <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.1.90>
14. Prysiazhniuk, O., Roik, M., Sinchenko, V., Cherniak, M., Maliarenko, M., and N. Kononiuk. *Digital technologies in agronomy - from theory to practice*. TVORY, 2024. Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, bio.gov.ua/uk/bioenergy/news/monografiya-cyfrovi-tehnologiyi-v-agronomiyi-vid-teoriyi-do-praktyky. Accessed 28 Apr. 2025.
15. Raje, K. *Digital Agriculture Platform Market Report 2025 (Global Edition)*. Cognitive market research, www.cognitivemarketresearch.com/digital-agriculture-platform-market-report
16. "Broadband. 2022." USDA, www.usda.gov/sustainability/infrastructure/broadband?utm. Accessed 28 Apr. 2025.
17. "Discover USDA-funded research in Ag Data Commons." USDA, agdatacommons.nal.usda.gov/. Accessed 28 Apr. 2025.
18. "Voice of the US farmer 2023-24: Farmers seek path to scale sustainably." McKinsey, www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/voice-of-the-us-farmer-2023-to-24-farmers-seek-path-to-scale-sustainably. Accessed 28 Apr. 2025.

19. "FarmBeats: AI, Edge & IoT for Agriculture." Microsoft, www.microsoft.com/en-us/research/project/farmbeats-iot-agriculture/. Accessed 28 Apr. 2025.
20. "Climate FieldView the journey so far. 2023." Future farming, www.futurefarming.com/tools-data-2/climate-fieldview-the-journey-so-far/ (Accessed 28 Apr. 2025).
21. McFadden, J., Njuk, i E., and T. Griffin. *Precision Agriculture in the Digital Era: Recent Adoption on U.S. Farms*. USDA, 2023, www.ers.usda.gov/publications/pub-details?pubid=105893. Accessed 28 Apr. 2025.
22. Onike, N. "Opinion: US smart solutions for a sustainable future: IoT in farming." Agripulse, www.agripulse.com/articles/22642-opinion-us-smart-solutions-for-a-sustainable-future-iot-in-farming. Accessed 28 Apr. 2025.
23. "Revolutionizing United States Farming: How Autonomous Tractors and Smart Irrigation Systems Boost Productivity." Farmonaut, farmonaut.com/usa/revolutionizing-united-states-farming-how-autonomous-tractors-and-smart-irrigation-systems-boost-productivity. Accessed 28 Apr. 2025.
24. U.S. "Smart Agriculture Market Size & Outlook, 2023-2030." Horizon, www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/smart-agriculture-market/united-states. Accessed 28 Apr. 2025.
25. "Ag and Food Sectors and the Economy." Economic Research Service U.S. Department of agriculture, www.ers.usda.gov/data-products/ag-and-food-statistics-charting-the-essentials/ag-and-food-sectors-and-the-economy Accessed 15 May 2025.

Дата подання: 30.03.2025