

ЦИФРОВІЗАЦІЯ АГРАРНОГО СЕКТОРУ ЯК ІНСТРУМЕНТ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗЕЛЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

МЕТЕЛЕНКО, НАТАЛЯ¹СВІНЦОВА, НАДІЯ²НІКІТЕНКО, ВІТАЛІНА³

Анотація

У сучасних умовах глобальних кліматичних змін, виснаження природних ресурсів та зростаючого попиту на продовольство питання впровадження зелених технологій у сільське господарство набуває надзвичайної важливості. У статті розглянуто актуальну проблему впливу цифровізації на впровадження зелених технологій у сільському господарстві з метою забезпечення його сталого розвитку. Сільське господарство є одним із ключових секторів, який водночас і потерпає від наслідків екологічних проблем, і значною мірою впливає на навколишнє середовище. Саме тому інтеграція екологічно безпечних практик є необхідною умовою для забезпечення сталого розвитку галузі. **Мета статті:** сформулювати ефективну концепцію цифровізації аграрного сектору як інструмент впровадження зелених технологій у контексті сталого розвитку. Завдання статті: 1) визначити ключові цифрові інструменти, які сприяють сталому розвитку сільського господарства; 2) проаналізувати основні види зелених технологій в агровиробництві; 3) сформулювати практичні рекомендації щодо інтеграції цифрових технологій у національну аграрну екологічну політику. Методологія дослідження. Становлення і розвиток організацій вивчається з використанням міждисциплінарних підходів, що включають елементи соціології, психології, економіки, менеджменту та інших наук. Окреслено сучасні глобальні та національні виклики, пов'язані з екологічною безпекою, змінами клімату та необхідністю трансформації аграрного сектору відповідно до принципів «зеленої» економіки. Проаналізовано потенціал цифрових технологій – таких як штучний інтелект, Інтернет речей (IoT), великі дані, дрони та блокчейн – у підвищенні ефективності використання природних ресурсів, зниженні викидів вуглецю та оптимізації виробничих процесів. Наведено результати останніх досліджень і міжнародного досвіду, зокрема приклади Китаю, ЄС та України, які свідчать про тісний взаємозв'язок між цифровою трансформацією та впровадженням екологічно чистих аграрних практик. Зроблено висновки щодо необхідності комплексного підходу до інтеграції цифрових рішень у систему управління сільським господарством задля досягнення цілей сталого розвитку.

Ключові слова: цифровізація аграрного сектору, зелені технології, сталий розвиток, ключові цифрові інструменти, агровиробництво, основні види зелених технологій.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

У сучасних умовах глобальних кліматичних змін, виснаження природних ресурсів та зростаючого попиту на продовольство питання впровадження зелених технологій у сільське господарство набуває надзвичайної важливості. Сільське господарство є одним із ключових секторів, який водночас і потерпає від наслідків екологічних

проблем, і значною мірою впливає на навколишнє середовище. Саме тому інтеграція екологічно безпечних практик є необхідною умовою для забезпечення сталого розвитку галузі. Цифровізація відкриває нові можливості для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва та зниження його негативного впливу на довкілля. Завдяки цифровим технологіям, таким як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект, дрони, блокчейн, супутниковий моніторинг, big data та автоматизація – аграрії отримують інструменти для точного землеробства, ефективного управління ресурсами (водою, енергією, добривами) та запобігання деградації ґрунтів. Особливої актуальності тема набуває у контексті глобальних стратегій, зокрема Європейського «Зеленого курсу», Цілей сталого розвитку ООН та необхідності адаптації національних аграрних політик до нових викликів. В Україні, як аграрно орієнтованій державі, питання цифрової трансформації сільського гос-

¹ Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету (Запоріжжя, Україна)
E-mail: natalia.metelenko@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6757-3124>

² Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету (Запоріжжя, Україна)
E-mail: nadin8.zp.ua@gmail.com

ORCID iD: <http://orcid.org/0009-0002-3204-721X>

³ Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету (Запоріжжя, Україна)
E-mail: vitalina2006@ukr.net

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9588-7836>

подарства з екологічним акцентом є вкрай важливим як для економічної стабільності, так і для збереження природного середовища. Дослідження впливу цифровізації на впровадження зелених технологій є не лише науково обґрунтованим, а й стратегічно необхідним кроком до побудови інноваційної, конкурентоспроможної та екологічно відповідальної аграрної галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, з яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор

Останні роки характеризуються зростаючим інтересом до інтеграції цифрових технологій у сільське господарство з метою сприяння сталому розвитку та впровадження зелених технологій. Нижче представлено огляд ключових досліджень та публікацій, які започаткували розв'язання цієї проблеми та на які спираються сучасні дослідники. AgroTech Sectoral Development Strategy: Розроблена Міністерством цифрової трансформації України спільно з IT Ukraine Association, ця стратегія є частиною глобальної інноваційної стратегії WINWIN 2030. Вона передбачає впровадження штучного інтелекту, Інтернету речей (IoT) та автономних систем для підвищення ефективності аграрного сектору та сприяння сталому розвитку. Digital Transformation as a Tool for Implementation of the "Green Deal" Concept in the National Economy of Ukraine: Дослідження, опубліковане у SpringerLink, аналізує роль цифрової трансформації у впровадженні концепції «Зеленої угоди» в національну економіку України, зокрема в аграрному секторі. Дослідження, опубліковане в журналі «Sustainability, Digital Pathways to Sustainable Agriculture: Examining the Role of Agricultural Digitalization in Green Development in China» розглядає, як цифровізація сільського господарства в Китаї сприяє зеленому розвитку, зокрема через підвищення загальної факторної продуктивності та зниження викидів вуглецю. Harnessing Digital Technology for Green and Low-Carbon Agricultural Practices підкреслює важливість цифрових технологій у сприянні сталому та низьковуглецевому сільському господарству, з акцентом на політичні ініціативи та інфраструктурні проекти в Китаї. Farmers are using IoT to take the guesswork out of growing описує, як фермери використовують технології Інтернету речей для підвищення ефективності та зниження витрат, що сприяє більш сталому сільському господарству. Artificial Intelligence in Sustainable Vertical Farming аналізує роль штучного інтелекту

в сталому вертикальному фермерстві, підкреслюючи потенціал AI у оптимізації використання ресурсів та автоматизації процесів.

Artificial intelligence in climate smart in agricultural: toward a sustainable farming future розглядає використання штучного інтелекту в кліматично розумному сільському господарстві, акцентуючи на адаптації до змін клімату та підвищенні продуктивності. Digital technologies in the grain sector of Ukraine аналізує рівень впровадження цифрових технологій у зерновому секторі України, виявляючи бар'єри та можливості для подальшого розвитку. Towards a methodology to consider the environmental impacts of digital agriculture пропонує методологію для оцінки екологічного впливу цифрового сільського господарства, підкреслюючи необхідність врахування потенційних негативних наслідків цифровізації. Стаття в журналі Science and Innovation аналізує взаємозв'язок між цифровою та зеленою економікою, вказуючи на потенційні суперечності та необхідність гармонізації стратегій. Сучасні дослідження та публікації свідчать про зростаючу роль цифровізації у впровадженні зелених технологій у сільському господарстві. В Україні та світі реалізуються стратегічні ініціативи, спрямовані на інтеграцію цифрових рішень для досягнення сталого розвитку. Проте, важливо враховувати потенційні виклики та критичні аспекти, пов'язані з цифровізацією, щоб забезпечити екологічно безпечний та ефективний розвиток аграрного сектору. Проблематику зелених технологій для сталого розвитку розробляють Т. Василенко, О. Гудзинська, О. Жилиєва, В. Курило, М. Медведєва, О. Гудзинська, В. Пилипенко, Л. Романенко, В. Трегубенко; проблему зеленого менеджменту, зеленої економіки та зелених технологій розробляють В. Воронкова, В. Нікітенко., Н. Метеленко, В. Оглобліна, А. Череп, Д. Ріфкін (Jeremy Rifkin), Д. Прітті (Jules Pretty), В. Шива (Vandana Shiva). Організація Об'єднаних Націй (ООН), FAO, UNEP розробили документи (Продовольча та сільськогосподарська організація ООН), в яких акцентують увагу на необхідності агроекологічного підходу до сталого землеробства, зеленої трансформації та Четвертої промислової революції.

Методологія дослідження. Становлення і розвиток організацій вивчається з використанням міждисциплінарних підходів, що включають елементи соціології, психології, економіки, менеджменту та інших наук. Це дозволяє отри-

мати більш цілісне розуміння процесів організації агровиробництва як складної соціальної та економічної системи, що динамічно розвивається в умовах цифровізації. Для досягнення поставленої мети дослідження застосовано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів: 1) Загальнонаукова методологія, що включає методи аналізу і синтезу, узагальнення, переходу від конкретного до абстрактного і навпаки, що дають можливість представити цілісне бачення впливу зелених технологій на агровиробництво; виявлення загальних закономірностей та перспектив їх впровадження. 2) Аналіз наукової літератури та джерел, вивчення публікацій, наукових статей, звітів міжнародних організацій (FAO, UNEP тощо), аналіз нормативно-правових документів щодо сталого агровиробництва. 3) Статистичний аналіз, в основі якого опрацювання статистичних даних щодо впровадження зелених технологій в агросекторі; порівняння показників традиційного та екологічного землеробства. оцінка рівня впровадження зелених технологій в Україні та інших країнах, зокрема аналіз економічних показників: врожайність, собівартість, окупність. 4) Порівняльний метод, що включає зіставлення досвіду різних країн у впровадженні зелених технологій; оцінка ефективності різних технологічних рішень, порівняння традиційного та екологічного підходів у сільському господарстві; виявлення переваг і недоліків кожного підходу. 5) Системний підхід, що включає розгляд агровиробництва як частини екологічної, економічної та соціальної систем; інтегральне бачення наслідків впровадження нових технологій. Системний підхід націлений на розгляд аграрного виробництва як частини складної соціо-еколого-економічної системи дозволяє оцінити довгострокові наслідки застосування технологій; виявити взаємозв'язки між економічною ефективністю, екологічною безпекою та соціальною відповідальністю. 6) Історико-логічний аналіз, в основі якого простеження етапів розвитку зелених технологій; вивчення трансформації аграрної політики в контексті екологічної безпеки. Використовуючи ці методи, дослідження формує обґрунтовані висновки щодо доцільності та ефективності впровадження зелених технологій у сільське господарство. Така методологія дозволяє не лише виявити сучасний стан впровадження зелених технологій, а й обґрунтувати шляхи їх активізації в агросекторі України.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.

Попри значну кількість досліджень, присвячених окремим аспектам цифровізації та сталого розвитку в аграрному секторі, існує низка важливих питань, що залишаються недостатньо опрацьованими та потребують подальшого наукового аналізу: 1) Недостатній аналіз взаємозв'язку між цифровими та зеленими трансформаціями, більшість досліджень розглядають ці процеси окремо, тоді як у практиці вони мають синергійний ефект. Необхідно глибше дослідити, як цифрові технології (наприклад, big data чи AI) можуть прискорити впровадження екологічно чистих рішень у сільське господарство. 2) Відсутність адаптованих моделей для країн із трансформаційною економікою (зокрема України), так як наявні міжнародні підходи часто не враховують специфіку українського аграрного ринку, зокрема структуру земельної власності, рівень цифрової грамотності фермерів, доступ до фінансування тощо. 3) Обмеженість практичних кейсів щодо ефективного застосування цифрових зелених інновацій на малих і середніх фермах, так як більшість досліджень зосереджені на великих агрохолдингах, тоді як малі агровиробники часто не мають доступу до інноваційних технологій через вартість або відсутність інфраструктури. 4) Невизначеність нормативно-правової бази та стимулювання цифрово-зелених ініціатив, так як на сьогодні бракує чітких стратегічних орієнтирів, які б інтегрували цифровізацію в державну екологічну політику у сільському господарстві; 5) неузгодженість між темпами технологічного розвитку та екологічними стандартами, так як швидкий розвиток цифрових інструментів не завжди супроводжується відповідними екологічними оцінками та регуляторними нормами. У даному дослідженні ми маємо на меті не лише узагальнити наявні дослідження, а й зосередити увагу на цих малодосліджених напрямках, що є критично важливими для формування сталого аграрного майбутнього.

Мета та формування цілей статті: сформулювати ефективну концепцію цифровізації аграрного сектору як інструмент впровадження зелених технологій у контексті сталого розвитку. **Завдання статті:** 1) визначити ключові цифрові інструменти, які сприяють сталому розвитку сільського господарства; 2) проаналізувати основні види зелених технологій в агровиробництві;

3) формулювати практичні рекомендації щодо інтеграції цифрових технологій у національну аграрну екологічну політику.

Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

1. Ключові цифрові інструменти концепції, які сприяють сталому розвитку сільського господарства.

Сучасне сільське господарство стикається з викликами кліматичних змін, деградації ґрунтів, виснаження ресурсів та необхідністю забезпечення продовольчої безпеки. У цих умовах сталий розвиток аграрного сектору стає стратегічним пріоритетом, а цифровізація виступає потужним інструментом для екологізації та модернізації галузі. Цифрові технології – включно з Інтернетом речей (IoT), великими даними (Big Data), штучним інтелектом (AI), блокчейном, дистанційним зондуванням (drones, супутники) – дозволяють перейти до точного, ресурсощадного та екологічно відповідального агровиробництва. У рамках концепції сталого розвитку цифровізація забезпечує: раціональне використання природних ресурсів (вода, добрива, енергія); зниження шкідливих викидів і хімічного навантаження на довкілля; зростання ефективності виробництва та прибутковості без шкоди для екосистем; прозорість і простежуваність агроланцюгів завдяки цифровому моніторингу; посилення кліматичної стійкості через прогнозування ризиків (Воронкова, Нікітенко, Метеленко, Оглобліна, 2025, с. 22–30). Структурні складові концепції: 1) Теоретичний базис включає сталий розвиток, зелена економіка, цифрова трансформація; 2) Аналітичний блок, що включає аналіз ефективності цифрових технологій у різних країнах і в Україні; 3) Практичні інструменти, в основі яких опис технологій smart farming, precision agriculture, agro-IT систем; 4) Механізми впровадження, що включають державну підтримку, публічно-приватні ініціативи, цифрову освіту фермерів; 5) Очікувані ефекти, в основі яких екологічні, економічні, соціальні переваги для регіонів та нації. У межах даної концепції цифровізація не лише розглядається як інноваційний тренд, а як ключовий каталізатор зеленої трансформації сільського господарства, що дозволяє поєднати технологічний прогрес із екологічною відповідальністю. У рамках концепції цифрової трансформації аграрного сектору з метою впровадження зелених технологій виокремлюються такі ключові цифрові інструменти (табл. 1).

Усе це доводить, що цифровізація – це не лише технологічна модернізація, а стратегічний інструмент екологічної перебудови агросектору в умовах глобальних викликів. Ці цифрові інструменти дозволяють не лише зменшити екологічне навантаження, а й забезпечити економічну ефективність і соціальну стабільність в аграрному секторі – що і є основою сталого розвитку. Практична цінність цифрових інструментів у "зеленому" гровиробництві у наступному: оптимізація витрат, в основі яких зменшення споживання пального, води, агрохімікатів; захист екосистем, націлений на мінімізацію втручання в природні процеси та забруднення; підвищення прозорості, що включає цифровий контроль якості, сертифікація та простежуваність продукції; соціальний ефект, в основі якого доступність знань і технологій для малих фермерів, цифрова інклюзія сільських громад; інтеграція у глобальні ланцюги вартості, що включають відповідність міжнародним стандартам сталого виробництва (Воронкова, Череп., Череп., 2002, с. 130–133).

2. Основні види зелених технологій в агровиробництві.

У сучасних умовах глобальних екологічних змін, вичерпання природних ресурсів та поглиблення кліматичної кризи, аграрна сфера стикається з необхідністю переосмислення підходів до виробництва. Традиційні методи інтенсивного землеробства часто супроводжуються деградацією ґрунтів, забрудненням води, виснаженням екосистем та надмірним використанням хімічних засобів. У цьому контексті впровадження зелених технологій в агровиробництво стає не лише актуальним, а й критично необхідним напрямом для забезпечення сталого розвитку сільського господарства, екологічної безпеки, підвищення продуктивності та якості сільськогосподарської продукції. Такі технології дозволяють зберігати природні ресурси, адаптувати агросектор до змін клімату, знижувати викиди парникових газів та формувати нову культуру виробництва – відповідальну, екологічно збалансовану та економічно ефективну. Особливої актуальності це набуває для України, яка водночас має потужний аграрний потенціал і потребує інноваційних рішень для повоєнного відновлення та інтеграції у європейський простір сталого розвитку. Використання європейського досвіду зеленого агровиробництва сприятиме гармонійному поєднанню економічних цілей із збереженням довкілля та добробуту населення. У контексті глобальних екологічних

**Ключові цифрові інструменти концепції, які сприяють сталому розвитку
сільського господарства**

Ключові цифрові інструменти	Їх характеристика та напрями використання
Інтернет речей (IoT)	Датчики в полі, теплицях та на фермах відстежують вологість ґрунту, температуру, рівень освітлення, концентрацію речовин. Забезпечує точне землеробство, зменшує перевитрати води та добрив.
Big Data (великі дані)	Збирання, обробка і аналіз великих обсягів аграрних даних. Дає змогу прогнозувати врожайність, ризики, оптимізувати сівозміну. Підтримує екологічне планування виробничих циклів.
Штучний інтелект (AI)	Автоматизоване прийняття рішень на основі аналізу даних. Виявлення хвороб рослин, шкідників, визначення найефективніших методів обробки. Знижує залежність від хімікатів.
Дрони та супутниковий моніторинг	Візуалізація стану посівів, моніторинг земельних ресурсів. Виявлення проблемних ділянок без залучення великої кількості ресурсів. Забезпечують оперативне реагування без шкоди для довкілля.
Блокчейн	Технологія простежуваності ланцюгів постачання. Підвищує прозорість агровиробництва, підтверджує екологічну чистоту продукції.
Геоінформаційні системи (GIS)	Картографування агроугідь, моделювання природних процесів. Використовується для екологічної оцінки територій та планування.
Мобільні додатки та платформи управління	Дистанційне управління технікою, подачею води, контролем витрат. Сприяють зменшенню викидів CO ₂ і економії ресурсів.
Хмарні технології (Cloud Computing)	Забезпечують зберігання та обробку аграрних даних у реальному часі. Дають змогу фермерам, науковцям і агробізнесу спільно використовувати інформацію для раціонального управління агросистемами.
Роботизація та автономна техніка	Автономні трактори, роботи для збирання врожаю або внесення добрив працюють точно й енергоефективно. Зменшують антропогенний тиск на землю та викиди від традиційної техніки.
Системи підтримки прийняття рішень (DSS)	Поєднують дані IoT, AI та Big Data для надання рекомендацій у режимі реального часу. Дозволяють приймати зважені екологічні та економічні рішення (наприклад, коли і де поливати, удобрювати чи обробляти посіви).

Таблиця 1 (сформована авторами)

викликів, змін клімату, виснаження природних ресурсів та зростання населення світу, питання сталого розвитку сільського господарства набуває особливої важливості. Традиційні методи агровиробництва, засновані на інтенсивному використанні хімічних засобів захисту рослин і добрив, призводять до деградації ґрунтів, забруднення води та зниження біорізноманіття. Зелені технології в аграрному секторі є відповіддю на ці виклики, адже спрямовані на збереження екологічного балансу, підвищення ефективності виробництва та забезпечення екологічно чистої продукції. Їх використання дозволяє поєднувати інновації з природозберігаючими практиками, що відповідає принципам сталого розвитку та європейського "зеленого курсу". Особливо актуально впровадження зелених технологій для України, яка має потужний аграрний потенціал і водночас гостро потребує відновлення довкілля внаслідок воєнних дій. Впровадження екологічно

безпечних агротехнологій є ключовим фактором не лише економічного, а й екологічного та соціального відновлення країни в повоєнний період (Метеленко, Нікітенко, Воронкова, 2024, с. 230–235). Розглянемо основні види зелених технологій в агровиробництві (табл. 2).

Зелені технології знижують екологічне навантаження на природу, зберігають ресурси, підвищують якість продукції та сприяють сталому розвитку сільських територій. Зелені інноваційні технології дозволяють вирощувати сільськогосподарські культури у багатоярусних спорудах, часто в міських умовах. Зелені технології в агровиробництві – це не лише засіб захисту довкілля, а й потужний інструмент для підвищення продуктивності, покращення якості життя на селі, адаптації до кліматичних змін і забезпечення продовольчої безпеки (Метеленко, Воронкова, Нікітенко, Оглобліна, Белоконь, 2025, с. 50–68). Їх впровадження сприятиме побудові сталого аграр-

Таблиця 2

Основні види зелених технологій в агровиробництві

Основні види	Їх характеристика та напрями використання
Органічне землеробство	Використання природних добрив (гній, компост, біогумус). Відмова від хімічних пестицидів і гербіцидів. Ротація культур для збереження родючості ґрунтів.
Агроекологічні технології	Впровадження методів, що базуються на екологічних процесах (наприклад, біологічна боротьба зі шкідниками). Застосування мульчування, компостування, сидератів. Підтримка біорізноманіття у полях та ландшафтах.
Точне землеробство (Precision Agriculture)	Використання GPS, дронів, супутникових знімків, сенсорів. Моніторинг стану ґрунтів, вологи, рослин у режимі реального часу. Рациональне внесення добрив і води лише там, де це потрібно.
Використання відновлюваних джерел енергії	Сонячні панелі для живлення ферм. Біогазові установки для переробки відходів. Вітрові турбіни для забезпечення енергетичної незалежності.
Рациональне водокористування (Water-Smart Farming)	Крапельне зрошення та автоматизовані системи поливу. Збір і повторне використання дощової води. Технології очищення і фільтрації стічних вод.
Використання біотехнологій	Виведення стійких до посухи чи шкідників культур без ГМО. Біопрепарати: біостимулятори, мікориза, мікробні добрива.
Зелена упаковка та логістика	Екоупаковка для продукції (біорозкладна тара). Зменшення викидів у процесі транспортування продукції.
Вертикальні ферми та міське агровиробництво	Використовуються енергоефективні LED-лампи, закриті системи водопостачання (гідропоніка, аеропоніка). Дає можливість вирощувати продукцію з мінімальними витратами ресурсів і без хімікатів.
Агрволтаїка (AgriPV)	Комбінування сільськогосподарського виробництва з установками сонячних панелей. Дозволяє одночасно використовувати землю для вирощування культур і виробництва "зеленої" електроенергії. Захищає ґрунти від перегріву, зменшує випаровування вологи.
Екологічно чисте тваринництво	Використання безвідходних технологій для переробки гною (біогазові установки). Удосконалення умов утримання тварин згідно з принципами добробуту тварин (Animal Welfare). Виробництво кормів із мінімальним вмістом антибіотиків і стимуляторів росту.
Переробка аграрних відходів	Виробництво біопалива (біостанол, біогаз) з решток рослин. Компостування відходів для одержання екологічно чистих добрив. Створення упаковки та побутових матеріалів із рослинних залишків.
Smart-технології управління фермами (AgTech, Smart Farming)	Інтеграція IoT, Big Data, AI для оптимізації всіх процесів – від підготовки ґрунту до збору врожаю. Прогнозування кліматичних ризиків і планування ресурсів. Мінімізація втрат і підвищення ефективності без шкоди для довкілля.

Таблиця 2 (сформована авторами)

ного сектору, що відповідає викликам ХХІ століття (табл. 3).

Отже, світовий досвід демонструє, що зелені технології в агровиробництві є не лише відповіддю на екологічні виклики, а й важливим інструментом економічного зростання, продовольчої безпеки та сталого розвитку. Розвинуті країни реалізують комплексні державні стратегії, що поєднують інновації, цифровізацію, підтримку фермерів та міжнародну співпрацю (Свінцева, Воронкова, 2024, с. 216–220).

Для України, яка прагне відновлення після війни та інтеграції до європейського простору, впровадження таких практик є стратегічним пріоритетом. Орієнтація на екологічно безпечне, інноваційне, соціально відповідальне агровиробництво дозволить не лише підвищити конкурентоспроможність сільського господарства, але й сприяти формуванню нової аграрної культури у гармонії з природою. У своєму дослідженні ми аналізуємо те, що може взяти Україна з цього досвіду: 1) Розвиток державної стратегії

Світовий досвід впровадження зелених технологій в агровиробництві

Країна	Напрями розвитку
Німеччина	Біоенергетичні ферми: широке використання біогазових установок на базі сільськогосподарських відходів. Агрволтаїка (Agri-PV): поєднання вирощування культур із сонячними панелями на полях. Субсидії для сталого агровиробництва: держава активно підтримує фермерів, які переходять на органічне землеробство та точні технології.
Нідерланди	Один із світових лідерів у вертикальному фермерстві та тепличному землеробстві, з мінімальним використанням води та пестицидів. Інноваційна агрополітика: тісна співпраця між урядом, університетами та бізнесом для впровадження smart-рішень у агросектор. Кліматично-нейтральне сільське господарство до 2040 року – стратегічна мета країни.
Франція	Агроекологія як державна стратегія: популяризація сівозмін, біологічного захисту рослин, підтримка фермерських господарств. Використання дронів та ІТ-технологій для моніторингу стану ґрунтів і посівів. Податкові стимули для аграріїв, які інвестують у зелені технології.
США	Активна підтримка точного землеробства (GPS, сенсори, AI). Державні гранти та програми USDA для фермерів, які впроваджують сталу практику землеробства. Фермерські кооперативи з обміну досвідом та інноваціями в екоагротехнологіях.
Данія	Повна відмова від хімічних пестицидів на багатьох територіях. Виробництво органічної продукції становить понад 12% агроринку. Розвинена біоенергетика з агровідходів (солома, гній).
Японія	Використання роботизованих систем для висадження, збору врожаю та обробітку ґрунту. Активне застосування гідропоніки та аеропоніки в умовах обмежених земельних ресурсів. Smart-ферми в мегаполісах – частина національної програми цифровізації агросектору.
Китай	Масштабні інвестиції у зелені агротехнології, зокрема сонячні ферми, еко-добрива, вертикальні ферми. Державна політика "зеленої модернізації" сільського господарства в рамках Стратегії екологічної цивілізації. Розвиток цифрових платформ для контролю за використанням водних ресурсів та якості ґрунтів.
Ізраїль	Провідна країна в галузі точного зрошення (крапельне зрошення – ізраїльський винахід). Створення інноваційних систем рециркуляції води та біофільтрації. Сильний науково-дослідний сектор, що генерує ефективні рішення для сухого клімату.
Швеція	Використання біомаси з відходів агровиробництва для обігріву та електроенергії. Кліматично нейтральне фермерство – частина державної стратегії до 2045 року. Впровадження екологічного маркування продукції (eco-labels) для споживачів.
Фінляндія	Активне використання цифрових сервісів для моніторингу стану полів і погодних умов. Розвиток агроплатформ для обміну зеленою інновацією між аграріями. Підтримка молодих фермерів у переході на органічне та кліматично стійке виробництво.

Таблиця 3 (сформована авторами)

зеленої трансформації сільського господарства. 2) Підтримка кооперацій фермерів для обміну технологіями та ресурсами. 3) Інвестування в освітні програми для аграріїв щодо сталого господарювання. 4) Стимулювання використання відновлюваних джерел енергії на фермах. 5) Запровадження податкових пільг або субсидій для впровадження зелених рішень (Свінцова, Воронкова, 2024, с. 960–964).

3. Практичні рекомендації щодо інтеграції цифрових технологій у національну аграрну екологічну політику

Інтеграція цифрових технологій у національну аграрну екологічну політику є ключовим чинни-

ком підвищення ефективності природокористування, адаптації до змін клімату та забезпечення сталого розвитку аграрного сектору. Практичні рекомендації щодо цього процесу мають враховувати як технічні, так і організаційно-інституційні аспекти. По-перше, необхідно забезпечити розвиток національної цифрової інфраструктури для збору, обробки та аналізу екологічних і аграрних даних. Це передбачає створення єдиної інформаційної платформи, яка акумулює дані з різних джерел: супутникового моніторингу, безпілотних літальних апаратів, сенсорів на сільськогосподарських угіддях, метеорологічних станцій та ін. Важливо, щоб така платформа була відкритою для

наукових установ, державних органів, фермерів та інших зацікавлених сторін. По-друге, слід інтегрувати цифрові технології у процес прийняття рішень в агроекологічній політиці. Для цього доцільно використовувати інструменти штучного інтелекту, машинного навчання та геоінформаційні системи (ГІС) з метою прогнозування наслідків управлінських рішень, моделювання агроєкосистем та виявлення екологічних ризиків. Важливо також розробити нормативно-правову базу, яка регламентуватиме використання таких технологій, з урахуванням етичних та безпекових аспектів (Череп, Воронкова, Нікітенко, Череп, 2023, с. 40–62). По-третє, слід сприяти цифровій освіті та підвищенню цифрової грамотності серед аграріїв і державних службовців, що працюють у сфері екології та сільського господарства. Необхідне впровадження навчальних програм, тренінгів та сертифікацій, орієнтованих на використання цифрових інструментів у моніторингу, оцінці впливу та плануванні природокористування. По-четверте, важливо забезпечити фінансову та технічну підтримку для малих і середніх господарств у впровадженні цифрових рішень. Це може реалізовуватись через державні субсидії, гранти, партнерські проекти з приватними компаніями, а також за допомогою консультаційних сервісів. І нарешті, інтеграція цифрових технологій повинна супроводжуватись постійним моніторингом ефективності політики, її адаптацією до нових викликів та активною участю громадськості у прийнятті рішень. Залучення стейкхолдерів до процесу цифрової трансформації аграрної екологічної політики підвищить її прозорість, довіру до неї та практичну реалізованість (Череп, Воронкова, Нікітенко, Череп, 2023, с. 96–113).

Інтеграція цифрових технологій у національну аграрну екологічну політику є стратегічно важливим напрямом для досягнення сталого розвитку сільського господарства, збереження природних ресурсів та ефективного управління екологічними ризиками. Запровадження цифрової інфраструктури, використання аналітичних інструментів і штучного інтелекту, розвиток цифрової грамотності, а також державна підтримка іннова-

цій створюють підґрунтя для формування гнучкої, адаптивної та ефективної політики. Системний підхід до цифровізації дозволить підвищити рівень екологічної безпеки, сприяти кліматичній адаптації та зміцнити конкурентоспроможність аграрного сектору на міжнародному рівні.

Висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

Результати проведеного дослідження підтверджують, що цифровізація аграрної екологічної політики є ключовим чинником удосконалення управління природними ресурсами, підвищення ефективності агровиробництва та забезпечення сталого розвитку сільських територій. Встановлено, що застосування цифрових технологій – таких як геоінформаційні системи, аналітика великих даних, дистанційне зондування Землі та штучний інтелект – дозволяє більш точно моніторити стан агроєкосистем, оперативно реагувати на екологічні загрози та приймати обґрунтовані управлінські рішення. Водночас, дослідження засвідчило наявність низки бар'єрів, зокрема недостатній рівень цифрової грамотності, обмежене фінансування інноваційних технологій та фрагментарність нормативно-правового забезпечення. Подолання цих викликів потребує системної політики на рівні держави, міжгалузевої координації та активної участі всіх зацікавлених сторін.

Перспективи подальших розвідок у цьому напрямі охоплюють: розроблення моделей адаптації цифрових рішень до умов конкретних природно-кліматичних регіонів України; аналіз впливу цифрових технологій на екологічну ефективність та економічну результативність аграрного виробництва; вивчення соціальних аспектів цифровізації агросектору, зокрема впливу на зайнятість, освітній рівень та інституційну довіру; створення пілотних проектів з цифрового моніторингу та управління агроєкосистемами з подальшим масштабуванням успішних практик. Комплексне дослідження цього напрямку має стати науковим підґрунтям для розробки ефективної, адаптивної й інноваційної агроекологічної політики, що відповідатиме викликам ХХІ століття.

Список використаних джерел

Воронкова В. Г., Нікітенко В. О., Метеленко Н. Г., Оглобліна В. О. Зелена цифрова трансформація як драйвер сталого розвитку регіонів у повоєнному відновленні. Educational discourse : collection of scientific papers / Chief Editor O. P. Kyvliuk, D. B. Svyrydenko. Kyiv : LLC "Scientific Information Agency "Science-technologies-information", 2025. Volume 52(1-2). С. 22–30.

Воронкова В., Череп А., Череп О. Нова парадигма регенеративної економіки та управління людськими ресурсами у вимірах системності. Системний аналіз в управлінні: міжгалузеві дослідження: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції за міжнародної участі 26–27 травня 2022 року. Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова. Київ : Ореол-Сервіс, 2022. С. 130–133.

Метеленко Н.Г., Нікітенко В.О., Воронкова В.Г. Реалізація зеленої стратегії у контексті парадигми ESG (ENVIRONMENTAL, SOCIAL, GOVERNANCE). Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»). Київ : Київський національний університет будівництва і архітектури, 2024. С. 230–235.

Метеленко Н. Г., Воронкова В. Г., Нікітенко В.О., Оглобліна В. О., Белоконь К. В. Синергія цифровізації та екологічної стійкості: моделі впровадження зелених технологій у регіональний розвиток. Education and science: theory&praxis : collective monograph / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2025. С. 50–68.

Свінцова Н. А., Воронкова В. Г. Розробка моделі зелених технологій для сталого розвитку сільськогосподарської галузі екоміста. Формування концепції цифрової трансформації освіти та соціально-відповідального цифрового громадянина у контексті європейського досвіду : збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції 21–22 листопада 2024 року / ред.-упорядник: д. філософ. н., проф. В. Г. Воронкова. Львів – Торунь : Liha-Pres, 2024. С. 216–220.

Свінцова Н. А., Воронкова В. Г. Технологічний розвиток у Нідерландах як один з найбільш вражаючих в Європі. Інженерні інновації та розбудова національної економіки : матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю. М. Потебні (09–10 травня 2024 року, м. Запоріжжя) / наук. ред. Н. Г. Метеленко ; Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2024. С. 960–964. https://www.znu.edu.ua/ii_znu/nauka/conf10/zbirnyk_24.pdf

Череп А.В., Воронкова В.Г., Череп О.Г., Нікітенко В.О. Зелена економіка, економіка замкнутого циклу або низьковуглецева економіка як моделі економічного розвитку. Education and sciences in the period of global crisis and conflicts in the XXI century. Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2023. С. 40–62.

Череп А.В., Воронкова В.Г., Нікітенко В.О., Череп О.Г. Концепція циркулярної (кругової) або економіки замкнутого циклу як різновиду нового типу економіки. “Vectors of the development of science and education in the modern world” («Вектори розвитку науки і освіти на сучасному світі») / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2023. С. 96–113.

References

Voronkova V. G., Nikitenko V. O., Metelenko N. G., Ogloblina V. O. (2025). Green digital transformation as a driver of sustainable development of regions in post-war reconstruction. Educational discourse : collection of scientific papers / Chief Editor O. P. Kyvliuk, D. B. Svyrydenko. Kyiv: LLC “Scientific Information Agency “Science-technologies-information”. Volume 52(1-2). 22–30.

Voronkova V., Cherep A., Cherep O. (2022). A new paradigm of regenerative economy and human resource management in the dimensions of systematization. System analysis in management: interdisciplinary research: materials of the IV All-Ukrainian scientific and practical conference with international participation May 26–27, 2022. National Pedagogical University named after M. P. Dragomanov. Kyiv: Aureol-Service. 130–133.

Metelenko N.G., Nikitenko V.O., Voronkova V.G. (2024). Implementation of a green strategy in the context of the ESG paradigm (ENVIRONMENTAL, SOCIAL, GOVERNANCE). Materials of the III International Scientific and Practical Conference “Green Construction”. Kyiv: Kyiv National University of Construction and of Architecture. 230–235.

Metelenko N. G., Voronkova V. G., Nikitenko V. O., Ogloblina V. O., Belokon K. V. (2025). Synergy of digitalization and ecological sustainability: models of introducing green technologies into regional development. Education and science: theory&praxis : collective monograph / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services. 50–68.

Svintsova N. A., Voronkova V. G. (2024). Development of a model of green technologies for the sustainable development of the agricultural sector eco-city. Formation of the concept of digital transformation of education and a socially responsible digital citizen in the context of European experience : collection of abstracts of the International Scientific and Practical Conference November 21–22, 2024 / editor-compiler: Dr. Philosoph. S., Prof. V. G. Voronkova. Lviv – Torun: Liha-Pres. 216–220.

Svintsova N. A., Voronkova V. G. Technological development in the Netherlands as one of the most impressive in Europe. Engineering innovations and development of the national economy: materials of the 1st International scientific and practical conference of the Yu. M. Potebny Engineering Educational and Scientific Institute (May 9–10, 2024,

Zaporizhzhia) / scientific editor N. G. Metelenko; Yu. M. Potebny Engineering Educational and Scientific Institute of Zaporizhzhia National University. Odesa: Helvetica Publishing House, 2024. P. 960–964. https://www.znu.edu.ua/ii_znu/nauka/conf10/zbirnyk_24.pdf

Cherep A.V., Voronkova V.G., Cherep O.G., Nikitenko V.O. (2023). Green economy, closed-cycle economy or low-carbon economy as models of economic development. Education and sciences in the period of global crisis and conflicts in the 21st century. Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California: GS Publishing Services. 40–62.

Cherep A.V., Voronkova V.G., Nikitenko V.O., Cherep O.G. (2023). The concept of a circular (circular) or closed-cycle economy as a variety of a new type of economy. “Vectors of the development of science and education in the modern world” (“Vectors of the development of science and education in the modern world”) / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services. 96–113.

NATALYA, METELENO – Doctor of Economics, Professor, Academician of AENU, Director of the Y. M. Potebnya Engineering Education and Scientific Institute, Zaporizhzhia National University (Zaporizhzhia, Ukraine)

E-mail: natalia.metelenko@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6757-3124>

NADIIA, SVINTSOVA – first (bachelor's) degree student Specialty 073 “Management”, Y. M. Potebnya Engineering Education and Scientific Institute, Zaporizhzhia National University (Zaporizhzhia, Ukraine)

E-mail: nadin8.zp.ua@gmail.com

ORCID iD: <http://orcid.org/0009-0002-3204-721X>

Vitalina, NIKITENKO – Doctor of Philosophy (D.Sc.), Professor of the Department of Management and Administration, Y. M. Potebnya Engineering Education and Scientific Institute, Zaporizhzhia National University (Zaporizhzhia, Ukraine)

E-mail: vitalina2006@ukr.net

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9588-7836>

DIGITALIZATION OF THE AGRICULTURAL SECTOR AS A TOOL FOR IMPLEMENTING GREEN TECHNOLOGIES IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Abstract

In the current context of global climate change, depletion of natural resources and growing demand for food, the issue of introducing green technologies in agriculture is becoming extremely important. The article addresses the topical issue of the impact of digitalization on the introduction of green technologies in agriculture in order to ensure its sustainable development. Agriculture is one of the key sectors that both suffers from the consequences of environmental problems and has a significant impact on the environment. That is why the integration of environmentally friendly practices is a prerequisite for ensuring the sustainable development of the sector. The purpose of the article is to formulate an effective concept of digitalization of the agricultural sector as a tool for implementing green technologies in the context of sustainable development. Objectives of the article: 1) to identify the key digital tools that contribute to the sustainable development of agriculture; 2) to analyze the main types of green technologies in agricultural production; 3) to formulate practical recommendations for the integration of digital technologies into national agricultural environmental policy. **Research methodology.** The formation and development of organizations is studied using interdisciplinary approaches that include elements of sociology, psychology, economics, management and other sciences. The current global and national challenges related to environmental safety, climate change and the need to transform the agricultural sector in accordance with the principles of the green economy are outlined. The potential of digital technologies such as artificial intelligence, the Internet of Things (IoT), big data, drones, and blockchain to increase the efficiency of natural resource use, reduce carbon emissions, and optimize production processes is analyzed. The results of recent research and international experience, including examples from China, the EU, and Ukraine, are presented, which demonstrate the close relationship between digital transformation and the implementation of environmentally friendly agricultural practices. Conclusions are drawn about the need for an integrated approach to integrating digital solutions into the agricultural management system to achieve the goals of sustainable development.

Key words: digitalization of the agricultural sector, green technologies, sustainable development, key digital tools, agricultural production, main types of green technologies.

© The Authors(s) 2025

This is an open access article under

The Creative Commons CC BY license

Received date 03.04.2025

Accepted date 13.04.2025

Published date 21.05.2025

How to cite: Метеленко, Натля, Свінцова, Надія, & Нікітенко, Віталіна. Цифровізація аграрного сектору як інструмент впровадження зелених технологій у контексті сталого розвитку. HUMANITIES STUDIES: Collection of Scientific Papers / Ed. V. Voronkova. Zaporizhzhia: Publishing house «Helvetica», 2025. 23(100). P. 256–266.

doi: <https://doi.org/10.32782/hst-2025-23-100-29>