

# ЕЛЕКТРОННЕ МОДЕЛЮВАННЯ

ISSN 2264-3572

ELECTRONIC MODELING

Математичне моделювання  
та обчислювальні методи

Інформаційні технології

Обчислювальні процеси  
та системи

Паралельні обчислення

Застосування методів  
та засобів моделювання

# Редколегія

**Головний редактор:** чл.-кор. НАН України **В.В. МОХОР**

**Заступники головного редактора:**

канд. техн. наук **О.В. ВАСИЛЬЄВ**,

д-р техн. наук **С.Д. ВИННИЧУК**,

канд. техн. наук **Г.О. КРАВЦОВ**

**Відповідальний секретар:** **Л. Є. ЗБОРОВСЬКА**

**Редакційна колегія:**

д-р. техн. наук **В.О. АРТЕМЧУК**,

акад. НАН України **В.П. БОЮН**,

д-р техн. наук **В.М. БЄЛЕЦЬКИЙ** (Польща),

канд. техн. наук **О.М. ДИБАЧ**,

д-р техн. наук **О.Ф. КАТКОВ** (Польща),

канд. техн. наук **І.В. КОЦЮБА**,

д-р техн. наук **О.Я. МАТОВ**,

акад. НАН України, **Ю.М. МАЦЕВИТИЙ**,

чл.-кор. НАН України **О.О. ПОПОВ**,

д-р техн. наук **В.Д. САМОЙЛОВ**,

чл.-кор. НАН України **С.Є. САУХ**,

д-р техн. наук **В.П. СИМОНЕНКО**,

д-р техн. наук **І.С. СКАРГА-БАНДУРОВА**,

д-р техн. наук **О.А. ЧЕМЕРИС**,

д-р філос. з інф. безпеки **А.В. ШАЛАГІНОВ** (Норвегія),

д-р техн. наук **А.В. ЯЦИШИН**

**Регіональні редактори:**

**Prof. E. Dshalalow**

Department of Applied

Mathematics, Florida

Institute of Technology,

Melbourne FL 32901, USA,

[edshalalow@cfi.rr.com](mailto:edshalalow@cfi.rr.com)

**Dr. Stan Lipovetsky**

GfK Custum Research North America,

8401 Golden Valley Road,

Minneapolis, Minnesota

55427-0900, USA,

[stan.Lipovetsky@gfk.com](mailto:stan.Lipovetsky@gfk.com)

Prof. **V. Sree Hari Rao**  
Department of Mathematics  
Jawaharlal Nehru  
Technological University,  
Hyderabad 500872, India,  
[vshrao@yahoo.com](mailto:vshrao@yahoo.com)

**Редакційна рада:**

проф. **R.P. AGARWAL** (США),  
проф. **Ю.А. БЕЛОВ** (Україна),  
проф. **E. ÇINLAR** (США),  
проф. **H. DADUNA** (Німеччина),  
проф. **H.I. FREEDMAN** (Канада),  
проф. **T. KACZOREK** (Польша),  
проф. **J. KORBICZ** (Польша),  
акад. НАН України **А.А. МАРТИНЮК** (Україна),  
проф. **А.І. ПЕТРЕНКО** (Україна),  
акад. НАН України **Б.С. СТОГНІЙ** (Україна),  
проф. **J. SOLDEK** (Польша),  
акад. НАН України **А.К. ШИДЛОВСЬКИЙ** (Україна),  
проф. **V.A. VUJICICH** (Сербія)

---

ЗМІСТ

Математичне моделювання та обчислювальні методи

С.Є. Саух

Концепція забезпечення жорсткої стійкості електроенергетики України в умовах терористичних та мілітарних загроз

3-10

З.Х. Борукаєв, В.А. Євдокімов, К.Б. Остапченко

Стан та перспективи організації децентралізованої торгівлі електроенергією на регіональному рівні

11-27

Інформаційні технології

А. М. Капітон, О.В. Скакаліна, Д.О. Тищенко, Т.М. Франчук

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО НАЛАШТУВАННЯ КОНФІГУРАЦІЇ БЕЗПЕКИ МЕРЕЖЕВОГО ОБЛАДНАННЯ

28-42

М.С. Кондратенко

Використання технології блокчейну при побудові ієрархічної структури на множині державних реєстрів для захисту від підробки інформації

43-56

О.В. Лебідь, С.С. Кіпоренко, В.Ю. Вовк

Використання технологій штучного інтелекту в сільському господарстві: європейський досвід та застосування в Україні

57-71

Застосування методів та засобів моделювання

М.О. Ковальчук, О.В. Маєвський

Математичне моделювання стохастичної динаміки взаємодії студентів різних спеціальностей в процесі інтегрованого навчання

72-80

С.О. Гуриненко, Н.І. Бурау, В.О. Суржок

Моделювання та аналіз складного руху автономного безпілотного підводного апарата

81-91

Д.Є. Крикунов

ОРГАНІЗАЦІЯ ЗАХИСТУ КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ З КЛІЄНТ-СЕРВЕРНОЮ АРХІТЕКТУРОЮ

92-103

В.С. Подгуренко, О.М. Гетманець, В.Є. Терехов

Межа максимальної ефективності роботи вітроелектричних установок із заданими типорозмірами у конкретних вітрокліматичних умовах

104-115

Р.І. Драгунцов, В.Ю. Зубок,

Моделювання загроз кібербезпеці у зв'язку з масовими відключеннями електропостачання та потенційні заходи протидії

116-127

DOI: <https://doi.org/10.15407/emodel.45.03.057>  
УДК 004.383.8:63(477)(4)

**О.В. Лебідь, С.С. Кіпоренко, В.Ю. Вовк**, аспірантка  
Вінницький національний аграрний університет  
Україна, 21008, Вінниця, вул. Сонячна, 3  
тел. +38 (098) 8882606, +38 (097) 0343045, +38 (068) 0483652;  
sshlebid@gmail.com, kiporis11@ukr.net, vvovk\_2703@ukr.net

## **Використання технологій штучного інтелекту в сільському господарстві: європейський досвід та застосування в Україні**

Проаналізовано технології штучного інтелекту (ШІ), які застосовуються у різних галузях народного господарства, зокрема у сільському господарстві, наприклад для виявлення хвороб рослин, класифікації та ідентифікації бур'янів, визначення та підрахунку плодів, управління водними ресурсами та ґрунтом, прогнозування кліматичних умов, вивчення поведінки тварин. Окреслено сильні сторони технологій ШІ, до яких слід віднести підвищення продуктивності праці у галузях сільського господарства, зростання ефективності управлінських рішень, а також полегшення доступу до інформації, розширення можливостей людини на робочому місці та поява нових професій. Одною з загроз для України є відставання, що спостерігається у розробці даних технологій для сільського господарства, від передових країн. Результати дослідження можуть бути використані органами виконавчої влади при розробці програм інноваційного розвитку сільського господарства та технічної модернізації галузі.

*Ключові слова: інформаційні технології, штучний інтелект, сільське господарство, інноваційний розвиток, цифровізація.*

На даний час особливого значення набувають технології штучного інтелекту (ШІ), які застосовуються при аналізі великих даних в робототехніці. ШІ відіграє важливу роль в управлінні життєвим циклом інформації, що включає обробку даних, управління інформаційними потоками та знаннями тощо.

Технології ШІ застосовують у різних галузях народного господарства. У медицині вони дозволяють на основі обробки великого обсягу даних ставити своєчасний діагноз із високою точністю. Дані технології широко використовуються у побуті: технологія розумного будинку на осно-

ві ШІ оптимізує роботу сигналізації, допомагає робити покупки та навіть здійснювати покупки замість працівника. У промисловості технології ШІ дозволяють повністю автоматизувати шкідливі та небезпечні для працівників виробництва. Все більшого значення технології ШІ набувають і в сільському господарстві.

Окремі питання, пов'язані з впровадженням та використанням технологій ШІ були розглянуті зарубіжними вченими [?] а також вітчизняними науковцями [?]. Водночас багато аспектів, пов'язаних із впровадженням та використанням технологій ШІ у сільському господарстві, теоретично та методично не розроблено. Недостатньо розроблено понятійний апарат, мало досліджені наслідки використання технологій ШІ. Всі ці питання актуальні і потребують дослідження.

**Технології ШІ в сільському господарстві.** Нині важко уявити будь-яку сферу життєдіяльності людини без використання сучасних технологій. Процес цифровізації в сучасному суспільстві, який набуває інтенсивності в усіх галузях діяльності людини, торкнувся і галузі сільського господарства. Станом на 2021 р. на ринку ШІ у сільському господарстві домінувала Північна Америка завдяки збільшенню інвестицій у дослідження, розробку та широке впровадження новітніх технологій. Все частіше починають застосовуватися автоматизовані системи з використанням ШІ.

ШІ позбавлений свідомості, у ньому немає інтелекту, якщо розглядати останній як здатність пристосовуватися до нових ситуацій, розуміти та застосовувати абстрактні концепції та використовувати знання для управління навколишнім середовищем. На цьому його «слабкості» закінчуються. ШІ здатний переглядати, вивчати, зіставляти та аналізувати величезні масиви даних. Комп'ютерні програми значно перевершують можливості людини — алгоритми з легкістю «розмірковують» у рамках довгострокового марафону, тоді як розумові можливості людини працюють на «коротких дистанціях», послідовно вирішуючи низку локальних та симптоматичних проблем.

У загальному розумінні ШІ — це створений людиною програмний код, що застосовує алгоритми, які незалежно здатні навчатися та розвиватися. Тому треба пам'ятати, що ШІ — це процес навчання машини аналізувати та збирати величезну кількість даних у найкоротший термін. ШІ використовують як у чистому програмному вигляді, тобто у програмному забезпеченні (ПЗ), так і у вигляді роботизованих систем, які застосовують різні алгоритми.

Сільське господарство — найважливіша галузь економіки будь-якої держави. За прогнозами ООН до 2050 р. населення Землі має збільшитись до 9,7 мільярдів. При цьому площа земель, що обробляються сільсь-

когосподарським сектором, до цього моменту може бути збільшена лише на 4 %, а щоб прогодувати все населення планети, кількість продуктів харчування має збільшитися на 60 %. Це означає, що фермерам для досягнення цієї мети доведеться збільшити продуктивність і одночасно знизити витрати на виробництво.

Технології ШІ починають використовувати при прогнозуванні врожайності сільськогосподарських культур залежно від різних факторів, виявленні хвороб рослин, прогнозуванні погоди (клімату), визначенні поведінки тварин тощо. Відповідно до прогнозів у 2025 р. витрати держав по всьому світі на інтелектуальне сільське господарство зростуть у три рази.

Сільське господарство — популярний напрямок для інвесторів. Ця галузь стає більш зрозумілою та прозорою, зростає рівень прибутковості, підприємці все більше довіряють думці фермерів та агрономів. Агросектор показав себе як один із найбільш стійких в умовах глобальної пандемії COVID-19.

Обсяг світового ринку інформаційних технологій в агропромисловому комплексі за підсумками 2019 р. сягнув 17,44 млрд дол. США, а приблизно 39 % продажів припало на Північну Америку. Про це свідчать дані дослідження, оприлюдненого аналітиками ResearchandMarkets.

Другим за величиною ринком AgroTech є Азіатсько-Тихоокеанський регіон, третім — Європа. Частка першого у 2019 р. становила майже 30 %. За даними експертів, непродовольча промисловість Азії, що оцінюється в 5 трлн дол. США, переживає технологічну революцію, завдяки чому сільськогосподарський бізнес у регіоні істотно розширюватиметься.

Зростання чисельності населення в таких країнах, як Китай, Індія, Індонезія, Японія, Філіппіни і В'єтнам та підвищення попиту на високоврожайні проекти є основними чинниками, які сприяють розвитку сільського господарства Азійсько-Тихоокеанського регіону. Зазначені країни вкладають значні кошти у аграрну галузь. Так, в Індії у 2019 р. було укладено найбільшу кількість угод зі злиття та поглинання на ринку сільськогосподарської продукції, якщо не брати до уваги США. Вартісний обсяг таких угод досяг 249 млн дол. США, що більше на 87 % порівняно з аналогічним показником 2018 р.

Технологічний прогрес у сільськогосподарській галузі відповідає зростаючим вимогам до автоматизації ферм, цифровізації економіки та екологічної стійкості. Останні тенденції у сільському господарстві знаменують перехід до точного землеробства та ефективного використання часу і ресурсів, одночасно зменшуючи собівартість продукції та втрати врожаю. Точне землеробство — це багатообіцяюча концепція, яка використовує в управлінні сільським господарством такі технології, як Інтернет речей, комп'ютерний зір і ШІ.

Впровадження інноваційних технологій у сільськогосподарську галузь часто сприяє перерозподілу сфер впливу на внутрішньому ринку. Великі стартові витрати відлякують багатьох виробників, але найчастіше вкладені інвестиції вдається повернути вже за кілька років.

Сучасний ринок ІТ технологій у сільському господарстві пропонує наступне:

1. Автоматизація. Наразі роботи можуть виконувати більшість сільськогосподарських операцій. На полях та в теплицях інтелектуальні машини займаються міжрядною обробкою та збиранням урожаю навіть таких ніжних культур, як полуниця та помідори. У тваринництві застосовуються не лише «доїльні роботи», а й сільськогосподарські машини для годування та збирання за тваринами. Склади та зерносховища обладнані автоматичними системами, які контролюють та підтримують необхідні параметри: повітрообмін, температуру, вологість тощо.

Роботи та дрони прискорюють автоматизацію сільськогосподарських підприємств, замінюючи ручні роботи, такі як збір фруктів, прополку, полив тощо. Знімки з дронів і супутників у поєднанні з глобальною системою позиціонування забезпечують отримання зображення місцевості з високою роздільною здатністю та рельєфом. Крім того, інфрачервоні пристрої, що працюють на основі сенсорної технології, збирають дані про поле в режимі реального часу, що дозволяє фермерам приймати рішення на основі конкретних даних.

2. Безпілотники — складають точні 3D-карти місцевості, з їх допомогою можна визначити посушливі ділянки або уражені шкідниками райони. Програмне забезпечення самостійно проводить аналіз та знаходить найбільш сприятливі місця для вирощування культур. Також існують трактори, комбайни та зерновози на дистанційному керуванні. Фермеру достатньо привезти сільськогосподарські машини на поле та задати в планшеті потрібні установки, далі інтелектуальна техніка виконуватиме роботи за заданим параметрами самостійно.

3. IoT-датчики — мережа різних пристроїв, пов'язаних між собою і доступних через Інтернет. Наприклад, датчики, розташовані на полях, збирають дані про погоду та стан ґрунту, а також допомагають сільськогосподарським товаровиробникам прогнозувати на основі отриманої інформації. Для теплиць використовують IoT-датчики, які регулюють полив, вологість та температуру. У тваринництві на нашихниках для худоби встановлюють датчики, призначені для моніторингу їх біоритмів та активності.

4. Штучний інтелект. Здатність комп'ютера виконувати творчі завдання відкриває нові можливості. ШІ використовує машинне навчання, обробляє величезні масиви даних та на їх основі робить висновки. У ре-



зультаті складається комплексна система, завдяки якій, наприклад, фіксується, що за дощової погоди зростають витрати палива, а при зменшенні середньої температури на пів градуса знижується врожайність. В Австралії за допомогою технологій ШІ прогнозують урожайність кави (ШІ аналізує кліматичні, ґрунтові та екологічні дані). У тваринництві технології ШІ використовують для оцінки продуктивності та розпізнання змін раціону худоби.

5. Комп'ютерний зір. У поєднанні з ШІ навіть звичайні відеокамери набувають нових можливостей. Нині створено технологію, завдяки якій камери не просто записують відео, а можуть виділяти необхідні об'єкти та збирати про них дані. Наприклад, дрони можуть розрізнити кожен колосок, пошкоджений шкідниками. Комп'ютерний зір визначає ділянки, які потребують зрошення (що допомагає уникнути посухи або переливу), а при автоматизованому зборі врожаю вказує, які плоди чіпати не потрібно, тому що вони ще не дозріли.

Європа — лідер на ринку польової робототехніки. Північна Америка та Азіатський регіон сумарно не перевищують 10%. До 2016 р. «доїльні роботи» значно перевершували за кількістю у користуванні решту підкатегорій «агророботів». Але в період 2016—2021 рр. спостерігається суттєве зростання числа та різновидів інших сільгоспмашин.

Крім того, широке впровадження точного землеробства та землеробства в закритому просторі (indoor farming) в останні роки сприяло розвитку прав інтелектуальної власності в сільському господарстві. Разом усі ці технологічні інновації привели до революційних і стійких змін у сільськогосподарській практиці. Основна увага зосереджена не лише на підвищенні загальної якості та кількості врожаю і покращенні управління худобою, а й на кінцевій меті досягнення екологічно безпечного майбутнього.

На рис. 1 наведено схему алгоритму цифрових технологій, які вплинули на розвиток сільськогосподарського виробництва та агробізнесу. Алгоритм сформовано з використанням експертних даних Аграрного комітету Європарламенту.

Технології, основані на ШІ, підвищують ефективність діяльності в усіх галузях, а також вирішують проблеми, з якими стикаються різні галузі, включаючи і аграрний сектор. Сільськогосподарські роботи створюються для того, щоб забезпечити ефективне застосування ШІ у зазначеному секторі. В умовах стрімкого зростання населення світу сільськогосподарський сектор стикається з кризою, у вирішенні якої використання ШІ може відіграти вирішальну роль. Застосування технологій, заснованих на використанні ШІ, дозволяє виробляти більше продукції з меншими витратами і навіть покращити якість продукції, а також забезпечити більш швидкий вихід продукції на ринок.

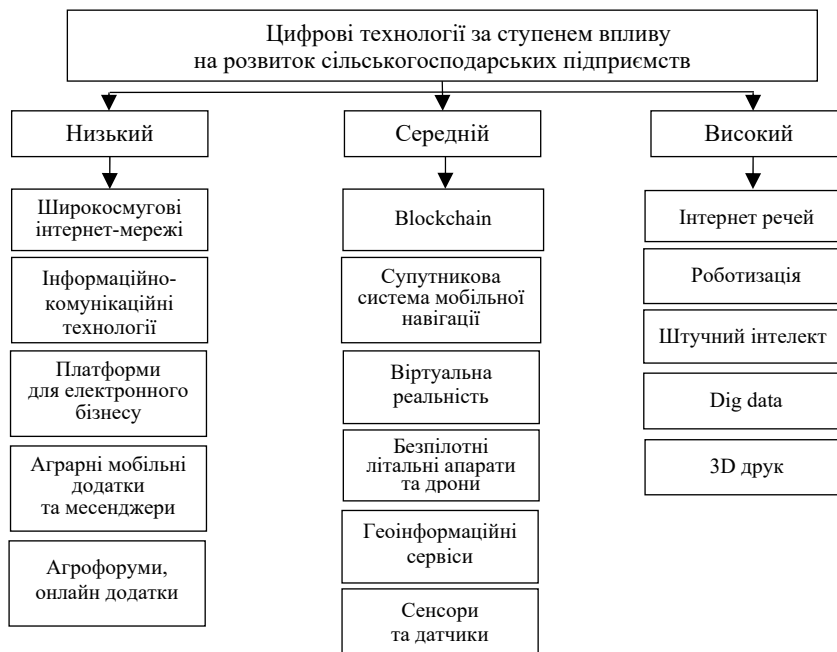


Рис. 1. Схема алгоритму цифрових технологій, класифікованих за ступенем впливу на розвиток сільськогосподарських підприємств

Велика кількість процесів у галузі сільського господарства наразі автоматизується. Технології ШІ допомагають фермерам зробити свою роботу економічно вигіднішою. Це відбувається внаслідок зниження затрат на витратні матеріали та підвищення врожайності. Прийняти рішення щодо виконання будь-яких робіт на фермі аграрію зараз допомагає величезна кількість систем: метеостанції, датчики вологості, супутники, що надають знімки місцевості та ін. Щодня з'являються розробки в цій галузі та кількість нових пристроїв зростає.

Системи ШІ допомагають підвищити загальну якість та точність збирання врожаю, що тепер відомо як точне сільське господарство. Технології ШІ допомагають у виявленні хвороб рослин, попередженні розвитку шкідників та забезпечують налагодження системи харчування тварин на фермах. Датчики ШІ можуть виявляти бур'яни, а потім вирішувати, який гербіцид застосувати на цій ділянці, що допомагає скоротити використання гербіцидів та знизити витрати.

Багато технологічних компаній розробили роботів, які використовують комп'ютерний зір та ШІ для моніторингу і точного розпилення на бур'яни. Ці роботи здатні усунути 80 % обсягу хімікатів, які зазвичай розпоршуються на посіви, і знизити витрати гербіцидів на 90 %. Ці інте-

лектуальні обприскувачі з ШІ можуть різко скоротити кількість хімікатів, що використовуються на полях. Роботизовані машини здатні збирати врожай із більшою точністю та швидкістю, допомагають підвищити розмір урожаю та скоротити кількість відходів від залишених на полі культур.

Багато компаній працюють над підвищенням ефективності сільськогосподарства. Існують такі агрегати, як автономна машина для збирання полуниці та вакуумний апарат, який може збирати зрілі яблука з дерев. Ці машини використовують злиття датчиків, машинний зір та моделі ШІ, щоб визначити місце розташування придатних для збирання врожаю продуктів та допомогти їх зібрати.

Сільське господарство — друга за величиною галузь після оборонної промисловості, де розгорнутий ринок сервісних роботів для професійного використання. За оцінками Міжнародної федерації робототехніки, було продано до 25000 сільськогосподарських роботів, що перевищує кількість роботів, що використовуються у військових цілях.

У табл. 1. наведено досліджені та упорядковані напрямки використання ШІ у сфері сільського господарства.

Технології ШІ успішно застосовуються для обробки кількісних даних. При цьому аналізована інформація може бути розрізною та слабоструктурованою. В охороні здоров'я — це дані діагностики та медичних аналізів, в економіці — динаміка індексів, переливи коштів, у військовій промисловості — індикативні показники, що фіксуються засобами ППО, у юриспруденції — уніфікований документообіг та ін.

Таблиця 1

Напрямки використання ШІ у сільському господарстві		
Фотозйомка та статистичні спостереження	Відео- та аудіо аналіз	Робототехніка
<p>Діагностика патологій та захворювань сільськогосподарських рослин та тварин</p> <p>Моніторинг ґрунтів на оптимальну кількість мікроелементів, необхідних для вирощування якісних сільськогосподарських культур</p> <p>Прогнозування природно-кліматичних умов та вжиття відповідних заходів</p>	<p>Моніторинг діяльності тварин для мінімізації їх стресу та вжиття оперативних заходів впливу при виникненні критичних ситуацій</p> <p>Автоматизація сільськогосподарських технічних систем, що дозволяє в режимі реального часу вживати відповідних заходів при різкій зміні природно-кліматичних умов</p>	<p>Технічна автоматизація сільськогосподарських процесів і явищ, що дозволяє при накопиченні відповідних даних оптимізувати типові процедури, які виконуються, прискорити посівні та збиральні роботи, ліквідувати людську важку ручну працю</p> <p>Обробка рослин та тварин речовинами, небезпечними для здоров'я та життя людини</p>

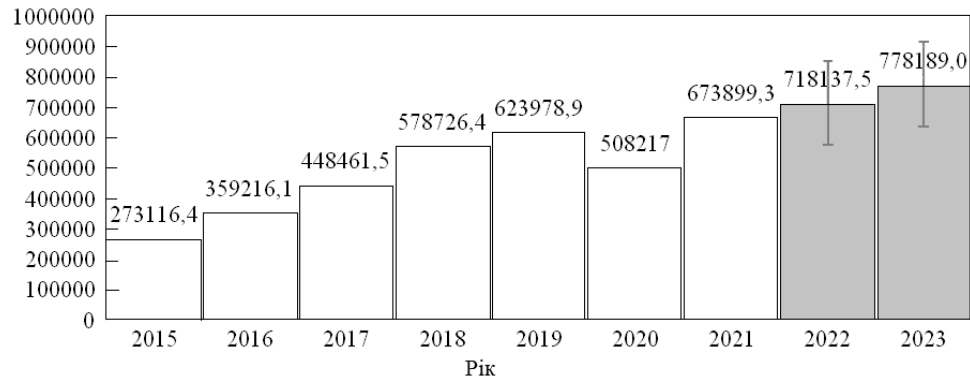


Рис. 2. Динаміка капітальних інвестицій у сучасні інформаційні технології (ІТ) сільськогосподарства за 2015—2023 рр.: □ значення, ■ передбачення

Впровадження технологій ШІ в галузі сільськогосподарства дає змогу ефективно вирішувати завдання, пов'язані з проблемою комбінаційного вибуху (великий обсяг даних, який не може бути оперативно проаналізований, внаслідок чого вирішення проблеми стає не актуальним). До них можна віднести завдання, пов'язані з даними, отриманими у результаті фотозйомки, моделювання автономних систем людини, здатних ефективно виконувати сільськогосподарські процедури, оперативний аналіз цих даних. Використання технологій ШІ в даному напрямку не лише дозволить збільшити обсяг та якість сільськогосподарської продукції, а й дасть можливість компаніям агропромислового комплексу стати лідерами у своїй сфері діяльності.

За даними Державної служби статистики в Україні інвестиційна активність серед сучасних інформаційних технологій, пов'язаних з обробкою великих даних та вибудовуванням складних діалогових та деревоподібних архітектур у структурі комп'ютерних програм сільськогосподарської галузі, зростає з кожним роком (рис. 2).

Як свідчать дані, наведені на рис. 2, відбувається збільшення капітальних інвестицій у сучасні ІТ сільськогосподарства. Так, у 2021 р. вони збільшились на 165682, 3 тис. грн порівняно з показником 2020 р. За прогнозом на 2022—2023 рр. також відбудеться збільшення капітальних інвестицій: у 2022 р. даний показник становитиме 718137,5 тис. грн, а у 2023 р. — 778189,0 тис. грн., що є досить непоганим показником у даній ситуації.

Назвемо деякі загальні характеристики технологій ШІ, що застосовуються в сільському господарстві:

- технічні рішення, насамперед програмні та технічні засоби, для виконання певних сільськогосподарських робіт або прогнозування розвитку

ку галузі залежно від різних факторів (клімату, стану ґрунтів, кількості опадів, цін на ринку). Найчастіше технології ШІ використовуються спільно з робототехнікою: робот забезпечує пересування, маніпуляцію предметами та знаряддями праці, а технології ШІ здійснюють орієнтацію у просторі, обирають оптимальні знаряддя праці для роботи при виконанні певної роботи, розпізнають перешкоди та об'єкти тощо;

- використання безпосередньо при виробництві продуктів харчування або створення оптимальної стратегії управління сільським господарством. Це означає необхідність обліку функціонування у природно-кліматичних змінних умовах; роботу із живими організмами – рослинами, тваринами; функціонування у тваринницьких приміщеннях або відкритій місцевості, що викликає необхідність орієнтуватися у просторі, найчастіше розпізнавання образів (різних невідсортованих об'єктів); роботу з великими обсягами даних під час аналізу стратегії розвитку сільського господарства;

- виконання інтелектуальних функцій при здійсненні робіт у сільському господарстві, які полягають у можливості робити абстрактні висновки, розпізнавати образи, діяти в умовах неповноти інформації, виявляти творчість, здатність до самонавчання. Це особливо актуально при розпізнаванні невідкаліброваних об'єктів чи побудові моделей розвитку сільського господарства залежно від різних факторів (цінових, ринкових тощо).

У табл. 2 наведено аналіз SWOT, сильні та слабкі сторони технологій ШІ, а також їх можливості та обмеження при використанні у сільському господарстві.

Багато експертів пов'язують основні ефекти застосування технологій ШІ з підвищенням продуктивності праці у сільському господарстві. Впровадження цих технологій також дозволить скоротити зайнятість людей на небезпечних і шкідливих для людини і тварин виробництвах, насамперед на роботах із отрутохімікатами, з обприскування рослин та видалення гною. Це дозволить підвищити привабливість галузі для молодих кадрів.

Підвищення ефективності управлінських рішень, а також підвищення рівня знань та доступу до інформації пов'язане з можливістю ШІ надавати більш точні прогнози щодо врожайності ціновим та ринковим ризикам та ін. Досить часто інвесторів від сільського господарства відлякують високі ризики неотримання врожаю, різкі коливання цін тощо.

Застосування технологій ШІ сприяє розширенню можливостей людини на робочому місці, а в деяких випадках ШІ стає її заміною при виконанні таких функцій, як керування автомобілем (комбайном, трактором). Так само як минулі технологічні інновації (розвиток та впровадження широкосмугового інтернету, розробка та впровадження мобільної

телефонії та ін.) дозволили розширити людські можливості, а в деяких випадках замінити людей на небезпечних та монотонних роботах. Технології ШІ мають значний потенціал для оптимізації виробництва продуктів харчування за допомогою аналізу умов ведення робіт у конкретних регіонах та визначення того, що необхідно зробити для підвищення врожайності у кожному з них.

Прогрес у розвитку технологій ШІ в сільському господарстві став можливим завдяки різним технологічним проривам. Застосування цих технологій дозволяє виявити нові закономірності у тваринному та рослинному світі. Найчастіше ці технології будуються на основі машинного навчання та використання великих даних, нейронних мереж та ін.

Таблиця 2

Аналіз SWOT застосування технологій ШІ у сільському господарстві			
сильні сторони	слабкі сторони	можливості	загрози
Підвищення продуктивності праці	Необхідність тривалих досліджень та значних інвестицій у розробку технологій для сільського господарства	Створення додаткових робочих місць у високотехнологічному секторі, у тому числі у програмуванні, обслуговуванні обладнання ШІ	Відставання від передових країн у розробці технологій ШІ
Підвищення ефективності прийнятих управлінських рішень, і підвищення рівня знань та доступу до інформації	Тривалість виходу технологій на ринок, складність визначення комерційної ефективності	Істотне зростання прогресу у розвитку технологій ШІ на основі машинного навчання, використання великих даних, нейронних мереж тощо	Низька ясність наслідків впровадження технологій ШІ більшої соціальних інститутів
Розширення можливостей людини на робочому місці, поява нових професій та робочих місць	Необхідність обробки величезних обсягів даних, енергетичних витрат та дорогого цифрового обладнання	Технологічні прориви у сільському господарстві на основі відкриття за допомогою ШІ нових закономірностей у тваринному та рослинному світі	Підготовка кадрів у галузевих навчальних закладах за застарілими програмами, з нестачею компетенцій щодо застосування ШІ в аграрному виробництві
Підвищення привабливості галузі для молодого покоління кадрів	Опір окремих працівників впровадженню технологій		

Слабкі сторони даних технологій полягають у необхідності концентрації значних фінансових та людських ресурсів на проведенні досліджень. Країни з високим рівнем економічного розвитку, насамперед Китай, США, країни ЄС, усвідомлюють значущість досліджень у цих напрямках та вкладають у них значні кошти. Наразі в Україні спостерігається відставання від передових країн у розробці технологій ШІ для сільського господарства, і це є серйозною загрозою сільському господарству.

Застосування технологій ШІ в сільському господарстві та в економіці в цілому вплине на розвиток різних соціальних інститутів. Експерти вважають, що перш за все інститути приватної власності, ринку, виробництва, сім'ї, освіти, держави та права зазнають при цьому кардинальних змін.

Галузь сільського господарства перебуває на етапі революційного технологічного розвитку, особливо в розвинених країнах. У країнах, що розвиваються, темпи впровадження були досить повільними, але імпульс наростає. Розумне землеробство робить фермерство більш прибутковим. Доступ до інформації про місцезнаходження, прогнозів погоди та прогнозів врожайності дозволяє застосовувати проактивний підхід до управління сільським господарством. Багато різних технологій працюють разом, щоб зробити землеробство простішим, точнішим і швидшим. Використання інфрачервоних пристроїв, датчиків і систем автоматизації дозволяє фермерам навіть працювати з дому. Виявлення нових можливостей і новітніх технологій і впровадження їх у бізнес є важливим для отримання конкурентної переваги.

Наразі агропромисловий комплекс перебуває у процесі трансформації. Інтенсивно запроваджуються передові технології. Вектор розвитку сільського господарства спрямований від традиційного землеробства до точного та експериментального. Одна з важливих переваг автоматизації — заміна людської праці. Розвинені країни зазнають кризи на ринку робочої сили в тому числі й у сфері сільського господарства. Створення високоінтелектуального виробництва оптимізує тимчасові та трудові ресурси.

## **Висновки**

Результати проведених досліджень дозволили систематизувати знання про наявні технології ШІ, які проявили себе як успішні методи вирішення проблем у сфері сільського господарства та агропромисловості і поширюватимуться в цьому напрямі протягом наступних п'яти – семи років. Їх розробка дозволить суб'єкту господарювання отримати конкурентні переваги та значний економічний ефект. Використання ШІ та роботів у сільському господарстві вирішує такі завдання: усунення проблем із кадрами, зменшення шкідливого впливу хімічних засобів на людей

та навколишнє середовище, підвищення врожайності оброблюваних культур, збільшення продуктивності підприємств, зниження собівартості сільгоспвиробництва.

Подальшими етапами дослідження може стати докладне вивчення різних технологій та методів ШІ для пошуку їх найкращого використання у різних сферах людської життєдіяльності (у тому числі у сільському господарстві та агропромисловості), визначення їх ефективного поєднання між собою та обґрунтування оптимальної внутрішньої структури (математизація та програмний код).

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Amatya S. et al. Detection of cherry tree branches with full foliage in planar architecture for automated sweet-cherry harvesting / *Biosystems Engineering*, 2016, Vol. 146, pp. 3—15. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.10.003> (date of access: 11.03.2023).
2. Denning P.J., Lewis T.G. Exponential laws of computing growth // *Communications of the ACM*, 2016, Vol. 60, no. 1, p. 54—65. URL: <https://doi.org/10.1145/2976758> (date of access: 20.03.2023).
3. Dutta R. et al. Dynamic cattle behavioural classification using supervised ensemble classifiers / *Computers and Electronics in Agriculture*, 2015, Vol. 111, pp. 18—28. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.12.002> (date of access: 11.05.2023).
4. Impacts of the digital economy on the food chain and the CAP / Research for AGRI Committee of EP. Policy Department for Structural and Cohesion Policies Directorate-General for Internal Policies. URL: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2019/629192/IPOL\\_STU\(2019\)629192\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2019/629192/IPOL_STU(2019)629192_EN.pdf) (date of access: 20.03.2023).
5. Information and Communication Technology (ICT) in Agriculture: A Report to the G20 Agricultural Deputies. Rome: FAO, 2017. 57 p.
6. Mehdizadeh S., Behmanesh J., Khalili K. Using MARS, SVM, GEP and empirical equations for estimation of monthly mean reference evapotranspiration. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017, Vol. 139, pp. 103—114. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.05.002> (date of access: 11.03.2023).
7. Input selection and data-driven model performance optimization to predict the Standardized Precipitation and Evaporation Index in a drought-prone region / S. Mouatadid et al. *Atmospheric Research*. 2018, Vol. 212, pp. 130—149. URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.05.012> (date of access: 28.03.2023).
8. Pantazi X.E. et al. Detection of biotic and abiotic stresses in crops by using hierarchical self organizing classifiers / *Precision Agriculture*. 2017, Vol. 18, no. 3, pp. 383—393. URL: <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9507-8> (date of access: 11.03.2023).
9. Prasad R. et al. Soil moisture forecasting by a hybrid machine learning technique: ELM integrated with ensemble empirical mode decomposition / *Geoderma*. 2018, Vol. 330, pp. 136—161. URL: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.05.035> (date of access: 11.03.2023).
10. Sengupta S., Lee W.S. Identification and determination of the number of immature green citrus fruit in a canopy under different ambient light conditions. *Biosystems Engineering*. 2014, Vol. 117, pp. 51—61. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.07.007> (date of access: 21.03.2023).
11. World Population Prospects 2022. United Nations, 2022. URL: <https://doi.org/10.18356/9789210014380> (date of access: 21.03.2023).



12. Болтянська Н.І., Маніта І.Ю., Подашевська О. Проблеми і перспективи розвитку інформаційних технологій в сільському господарстві. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного. 2020, Т. 20, № 4, с. 175—185. URL: 10.31388/2078-0877-2020-20-4-175-185 (дата звернення: 18.04.2023).
13. Пасічник Ю. Використання технологій штучного інтелекту в агропромисловому секторі економіки. Сучасні тенденції розвитку фінансових та інноваційно інвестиційних процесів в Україні : матеріали IV Міжнар. науково-практ. конф., м. Вінниця, 12 черв. 2021 р. Вінниця, 2021, с. 880—882.
14. Державна служба статистики України. Капітальні інвестиції. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 19.03.2023)
15. Население земли — счетчик населения мира. Current world population by country. Population data for every country as of 2023. URL: <https://countrymeters.info/ru/World> (дата звернення: 17.03.2023).
16. Піжук О.І. Штучний інтелект як один із ключових драйверів цифрової трансформації економіки. Економіка, управління та адміністрування. 2019, № 3(89), с. 41—46. URL: [https://doi.org/10.26642/ema-2019-3\(89\)-41-46](https://doi.org/10.26642/ema-2019-3(89)-41-46) (дата звернення: 11.03.2023).
17. Руденко М.В. Вплив цифрових технологій на аграрне виробництво: методичний аспект. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Економіка і управління. 2019. Вип. 6, № 69, с. 30—36. URL: <https://doi.org/10.32838/2523-4803/69-6-28> (дата звернення: 17.03.2023).

Отримано 03.05.2023

#### REFERENCES

1. Detection of cherry tree branches with full foliage in planar architecture for automated sweet-cherry harvesting / S. Amatya et al. (2016). *Biosystems Engineering*, 146, 3–15. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.10.003>.
2. Denning P.J., Lewis T.G. (2016). Exponential laws of computing growth. *Communications of the ACM*, 60, 54–65. <https://doi.org/10.1145/2976758>.
3. Dynamic cattle behavioural classification using supervised ensemble classifiers / R. Dutta et al. (2015). *Computers and Electronics in Agriculture*, 111, 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.12.002>.
4. Impacts of the digital economy on the food chain and the CAP / Research for AGRI Committee of EP. Policy Department for Structural and Cohesion Policies Directorate-General for Internal Policies. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2019/629192/IPOL\\_STU\(2019\)629192\\_EN.pdf/](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2019/629192/IPOL_STU(2019)629192_EN.pdf/).
5. Information and Communication Technology (ICT) in Agriculture: A Report to the G20 Agricultural Deputies. Rome: FAO. <https://www.unapcict.org/sites/default/files/2019-01/Information%20and%20Communication%20Technology%20ICT-%20in%20Agriculture.pdf/>.
6. Mehdizadeh S., Behmanesh J., Khalili K. (2017). Using MARS, SVM, GEP and empirical equations for estimation of monthly mean reference evapotranspiration. *Computers and Electronics in Agriculture*, 139, 103–114. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.05.002> (date of access: 11.05.2023).
7. Input selection and data-driven model performance optimization to predict the Standardized Precipitation and Evaporation Index in a drought-prone region / S. Mouatadid et al. (2018). *Atmospheric Research*, 212, 130–149. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.05.012>.
8. Detection of biotic and abiotic stresses in crops by using hierarchical self organizing classifiers / X.E. Pantazi et al. (2017). *Precision Agriculture*, 18, 3, 383–393. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9507-8>.

9. Soil moisture forecasting by a hybrid machine learning technique: ELM integrated with ensemble empirical mode decomposition / R. Prasad et al. (2018). *Geoderma*, 330, 136–161. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.05.035>.
10. Sengupta S., Lee W.S. (2014). Identification and determination of the number of immature green citrus fruit in a canopy under different ambient light conditions. *Biosystems Engineering*, 117, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.07.007>.
11. World Population Prospects 2022: Summary of Results – World. ReliefWeb. URL: [https://reliefweb.int/report/world/world-population-prospects-2022-summary-results?gclid=CjwKCAJw0ZiiBhBKEiwA4PT9z0KEXLCRm0bW0WsLa8Ci2AkuuLVYFLNGKjVvsBE\\_SaVReCrMWn0R6RoCQZwQAvD\\_BwE](https://reliefweb.int/report/world/world-population-prospects-2022-summary-results?gclid=CjwKCAJw0ZiiBhBKEiwA4PT9z0KEXLCRm0bW0WsLa8Ci2AkuuLVYFLNGKjVvsBE_SaVReCrMWn0R6RoCQZwQAvD_BwE) (date of access: 11.05.2023).
12. Boltianska, N. (2020). Prospects and problems of development of information technologies in agriculture. *Proceedings of the Tavria State agrotechnological university*, 20, 4, 175–185. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2020-20-4-175-185>.
13. Pasichnyk, Yu.V. (2021), The use of artificial intelligence technologies in the agro-industrial sector of the economy. *Modern trends in the development of financial and innovative investment processes in Ukraine* : materials of the 4-th International Scientific and Practical Conference, Vinnytsia: VNTU, 880–882.
14. *State Statistics Service of Ukraine. Capital Investments*. <https://www.ukrstat.gov.ua/>.
15. *Land population*. <https://countrymeters.info/ru/World>.
16. Pizhuk, O.I. (2019). Artificial intelligence as one of the key drivers of the digital transformation of the economy. *Economy, management and administration*, 3 (89), 41–46. [https://doi.org/10.26642/ema-2019-3\(89\)-41-46](https://doi.org/10.26642/ema-2019-3(89)-41-46).
17. Rudenko, M.V. (2019). The influence of digital technologies on agricultural production: methodical aspect. *Academic notes of TNU named after V.I. Vernadskyi. Series: Economics and management*, 30 (69) (6), 30–36. <https://doi.org/10.32838/2523-4803/69-6-28>.

Received 03.05.2023

О.В. Лебідь, С.С. Кіпоренко, В.Ю. Вовк

#### USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE: EUROPEAN EXPERIENCE AND APPLICATION IN UKRAINE

Artificial intelligence (AI) technologies are used in various sectors of the national economy, in particular in agriculture. The purpose of the research is to consider the essence and directions of application of AI technologies in agriculture. These technologies are used in various branches of agriculture: detection of plant diseases, classification and identification of weeds, determination and counting of fruits, management of water resources and soil, forecasting of weather (climate), determination of animal behavior. AI technologies used in agriculture have a number of significant features. First of all, these are software and technical means. AI technologies perform an intellectual function when performing work in agriculture, which consists in making abstract conclusions, recognizing patterns, taking actions in conditions of incomplete information, showing creativity, and the ability to self-learn. The strengths of the use of AI technologies include increasing labor productivity in the agricultural sector, increasing the efficiency of management decisions, as well as increasing access to information, expanding human opportunities in the workplace and the emergence of new professions. The main opportunities are related to various technical breakthroughs, including machine learning, the use of neural networks, big data, etc. This will create additional jobs in high-tech sectors, in particular in programming. AI technologies will allow to optimize the production of food all over the world and reduce the severity of the problem of global hunger. One of the threats to Ukraine lies in the apparent lag behind advanced countries in the development of these technologies for

agriculture. The results of the research can be used by the executive authorities when developing programs for the innovative development of agriculture and technical modernization of the industry.

*Keywords: information technologies, artificial intelligence, agriculture, innovative development, digitization.*

*ЛЕБІДЬ Олександр Васильович, асистент кафедри комп'ютерних наук та економічної кібернетики Вінницького національного аграрного університету. У 2011 р. закінчив Вінницький національний аграрний університет. Область наукових досліджень — комп'ютерне моделювання, розробка мобільних додатків, штучний інтелект, комп'ютерні мережі.*

*КІПОРЕНКО Світлана Сергіївна, асистент кафедри комп'ютерних наук та економічної кібернетики Вінницького національного аграрного університету. У 2009 р. Закінчила Вінницький національний аграрний університет. Область наукових досліджень — комп'ютерне моделювання, розробка мобільних додатків, системи штучного інтелекту, цифрова економіка, застосування інформаційних технологій у галузях.*

*ВОВК Валерія Юріївна, аспірантка, асистент кафедри комп'ютерних наук та економічної кібернетики, науковий співробітник наукових тематик Вінницького національного аграрного університету. У 2019 р. закінчила Вінницький національний аграрний університет. Область наукових досліджень — альтернативні джерела енергії, біотехнології, системи штучного інтелекту, комп'ютерне моделювання.*