

УДК 004.8: 633

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.16>

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ І ЙОГО МОЖЛИВОСТІ В АГРОНОМІЇ

Лиховид П.В. – д.с.-г.н.,

с.н.с. відділу зрошуваного землеробства та декарбонізації агроєкосистем,
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

Біднина І.О. – к.с.-г.н., с.н.с.,

начальник відділу зведеного планування науково-організаційного управління
апарату президії,
Національна академія аграрних наук України,
старший науковий співробітник відділу аспірантури і докторантури,
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

Штучний інтелект – це галузь сучасної науки і техніки, яка спрямована на вирішення завдання заміни розумової та фізичної праці людини автоматизованими обчислювальними системами, що імітують людиноподібне прийняття рішень. Серед численних галузей його впровадження, штучний інтелект набуває все більшої популярності в галузі аграрних наук. У даному огляді представлено аналіз впровадження штучного інтелекту в сучасних системах землеробства та рослинництва, а також розглянуто користь даної технології для науково-освітньої діяльності. Основну увагу приділено актуальним застосуванням різноманітних алгоритмів і техник глибокого машинного навчання, які ефективно задіяні у сфері сучасної аграрної науки та практики. Огляд дає уявлення про розвиток та перспективи штучного інтелекту в сільському господарстві, а також про основні виклики та обмеження його широкого впровадження та поширення. Особливу увагу приділено типам алгоритмів штучного інтелекту, методам і способам, які використовуються для вирішення різних агрономічних задач, наприклад, боротьби зі шкідниками та бур'янами, управління ґрунтовими та водними ресурсами, контролю стану навколишнього середовища, прогнозування та моделювання врожаю, оцінка якості рослинницької продукції, логістика харчового ланцюга, тощо. Встановлено, що максимально корисними та широко впровадженими у науку та практику агрономії є системи штучного інтелекту, що базуються на штучних нейронних мережах і системах нечіткої логіки. Крім того, проаналізовано проблеми розробки та впровадження штучного інтелекту в агропромисловому комплексі України, а також необхідність створення інноваційних освітніх програм та тренінгів для спеціалістів та науковців аграрного профілю для забезпечення їх достатньої обізнаності у цій сфері для ефективної роботи з існуючими системами штучного інтелекту та розробки нових, враховуючи попит на швидкий розвиток цифровізації та індустріалізації сільського господарства в Україні та світі.

Ключові слова: землеробство, штучні нейронні мережі, рослинництво, глибоке навчання, машинне навчання, точне землеробство.

Lykhovyd P.V., Bidnyina I.O. Artificial intelligence and its capabilities in agronomy

Artificial intelligence is a branch of modern science and technology that aims to solve the tasks of replacing human mental and physical labour with automated computing systems that mimic human-like decision making. Among the numerous branches of its implementation, artificial intelligence is growing more and more popular in the field of agricultural sciences. This review provides an analysis of the implementation of artificial intelligence in current agricultural and crop production systems, as well as its benefits for educational and scientific activity. The main focus is given to relevant applications of various algorithms and techniques of deep machine learning which are efficiently involved in the sphere of modern agricultural science and practice. The review provides an insight on the development and prospects of artificial intelligence in agriculture, as well as main challenges and limitations in its wide implementation and spreading.

Special attention has been paid to the types of artificial intelligence algorithms, methods and techniques, which are used to solve different agronomical tasks, for example, pest and weed management, soil and water resources management, environmental control, crop production predictions and modelling, plant product quality evaluation, food chain logistics, etc. It was established that the greatest benefits and the widest implementation in agronomical science and practice are attributed to artificial intelligence systems, based on artificial neural networks and fuzzy logics. Furthermore, the problems of artificial intelligence development and introduction into the Ukrainian agro-industrial complex were analysed, as well as the need for the creation of innovative educational programmes and trainings for agricultural specialists and scientists to ensure that they have a sufficient amount of relevant knowledge to efficiently work with existing artificial intelligence systems and design new ones, considering the demand for the rapid development of agricultural digitalisation and industrialisation both in Ukraine and globally.

Key words: agriculture, artificial neural network, crop production, deep learning, machine learning, precision agriculture.

Постановка проблеми. Штучний інтелект (ШІ) є одним із останніх здобутків інформаційних технологій (ІТ). У загальному розумінні – це галузь кібернетики та інформатики, яка займається розробкою, тестуванням і впровадженням машин, роботів і програмного забезпечення, які імітують розв’язання завдань, поставлених перед ними, за алгоритмами, що схожі до тих, які використовують тварини та люди. Основними галузями застосування ШІ у сучасному інформаційному просторі є різноманітні пошукові системи, системи відстеження активності та реєстрації даних, дорадницькі та консультаційні системи, системи підтримки прийняття управлінських рішень (СППУР), системи розпізнавання та генерації об’єктів (текст, зображення, відео, звукові ефекти), системи моніторингу довкілля, автоматизовані системи керування машинами та обладнанням, операційні системи електронних обчислювальних пристроїв різного порядку. Перше визначення ШІ дав Тюрінг у 1950 році: «це така програма, яка у мінливому світі буде вирішувати задачі не гірше за людину» [32]. Починаючи з 1956 р., штучний інтелект виокремився як самостійна дисципліна у ряді передових іноземних ЗВО, яка є тісно пов’язаною із кібернетикою та інформатикою [15]. А у 1965 році Герберт Сімон, Нобелівський лауреат з економіки, зазначав, що машини будуть уміти виконувати усі види робіт, які зараз виконує людина [21].

Сфера застосування ШІ є дуже широкою і охоплює практично всі галузі антропогенної діяльності. Галузева приналежність багато в чому визначається видом технології ШІ, які наразі можна розподілити на такі основні напрями як машинне навчання, глибоке навчання, мовні процесори, системи комп’ютерного зору, робототехніка та когнітивні комп’ютери [17]. Окремі компоненти та системи ШІ впроваджуються у галузі сільського господарства, де їх основне завдання полягає у поліпшенні організаційно-економічної ефективності виробництва продукції [8]. Втім, на сьогоднішній день проблематика впровадження здобутків і можливостей ШІ є недостатньо вивченою, а тому потребує ретельного розгляду, оскільки застосування штучного інтелекту в агропромисловий комплекс (АПК) має свою специфіку та особливості, що пов’язано з тісною багаторівневою та мультимодальною взаємодією агросистем із численною кількістю факторів довкілля та його біологічними об’єктами. Усе це зумовлює необхідність розробки комплексного підходу та ретельної валідації моделей і алгоритмів, покладених в основу ШІ для аграрних потреб..

Постановка завдання. Завданням даного дослідження було оглянути та проаналізувати сучасні тенденції до залучення систем ШІ в аграрну науку та практику в світовому масштабі та в Україні, визначити пріоритетні напрямки розвитку

технології та основні виклики, та проблемні питання, пов'язані з її розвитком та широким впровадженням у науково-освітню та агровиробничу діяльність.

Виклад основного матеріалу дослідження. Найбільш широко ІІІ сьогоденні використовують у системах точного землеробства [26], де він виконує завдання аналітичної обробки масиву даних, що надходять із сенсорів і датчиків, а також даних супутникового моніторингу, з наступним прийняттям оптимальних управлінських агротехнологічних рішень із питань зрошення, захисту рослин, удобрення, оптимальних строків збирання врожаю, тощо [29, 34]. Окремі дослідники вважають, що точне землеробство неможливе без впровадження у аграрний сектор систем і методів ІІІ [6]. Втім, донині не існує єдиної думки щодо оптимальних методологічних принципів і алгоритмів, які забезпечать максимальну ефективність у вирішенні завдань, що виникають у системах точного землеробства. Доведено, що один і той самий алгоритм може бути високоефективним в одних, і абсолютно неефективним в інших агровиробничих умовах [25].

Основними розробниками ІІІ для сільського господарства є країни Євросоюзу, США та Китай. Деталізований огляд результатів досліджень і практичного впровадження здобутків сучасної кібернетики та ІТ в сфері сільськогосподарського виробництва [1], дозволяє виділити наступні напрями залучення систем ІІІ в рослинництво та землеробство:

- контроль та управління агротехнологіями;
- інтелектуальні системи захисту сільськогосподарських культур від шкідників, хвороб і бур'янів;
- управління процесами збирання, зберігання, транспортування та переробки продукції рослинництва;
- управління якістю сільськогосподарської продукції [20];
- інтелектуальне управління зрошенням, дренажем, та меліоративними заходами;
- прогнозування та програмування врожайності сільськогосподарських культур, метеорологічних умов, економічної складової виробництва продукції рослинництва;
- роботизація та автоматизація.

В Україні проблематиці розробки та впровадження систем штучного інтелекту в аграрне виробництво присвячено наукові праці Височука, Міхеєва, Бояркіної (розробки вітчизняних СППУР, автоматизації розрахунку технологічних карт вирощування сільськогосподарських культур), Лисенка (системи автоматизованого контролю за показниками якості молока), Кравченка (системи автоматизованого контролю за якістю виконання технологічних операцій), Білоцерківця (системи інтелектуального управління сільськогосподарськими машинами). Одним із широко вживаних і перспективних напрямів використання ІІІ в галузі рослинництва є роботизація агротехнологічних процесів і операцій, що дозволяє істотно знизити витрати праці, поліпшити якість виконання агротехнічних операцій та загальний організаційно-економічний рівень виробництва продукції рослинництва [35-37]. Лебідь та ін. (2023) у своїй аналітичній праці окреслили такі перспективні напрями впровадження ІІІ в АПК України [38]:

- ідентифікація рослин, пошкоджених шкідниками та хворобами;
- ідентифікація бур'янів та визначення рівня забур'яненості посівів;
- інтелектуальні системи управління зрошенням та осушенням земель;
- моделювання та прогнозування агрометеорологічних показників і клімату;
- управління ґрунтами та матеріально-технічними ресурсами.

Перспективним і багатообіцяючим є впровадження гібридних систем автоматизації управління виробництвом та агрономічними ресурсами на основі технології IoT (internet of things, або інтернет речей), яка вже зараз дозволяє успішно вирішувати низку складних завдань класифікаційного аналізу та ідентифікації об'єктів і стану агрофітоценозів та виконувати прогнозування перебігу природних процесів у агросистемах.

Високі перспективи мають і експертні та дорадницькі системи, що базуються на ШІ. Принцип їх роботи, в основному, полягає у діалоговому «спілкуванні» оператора системи ШІ для постановки деталізованої наукової або практичної задачі. Система ШІ дає відповідь на поставлений запит, виходячи із алгоритмів деталізованого специфічного пошуку готових рішень, закладених розробником у систему, або наявних у загальному просторі інтернет, обираючи за рахунок математичних алгоритмів найбільш оптимальне рішення під конкретний запит оператора. Такі діалогові системи активно використовуються в усьому світі та довели свою високу функціональну ефективність та дорадчу доцільність.

Сучасна наукова школа розглядає можливості імплементації систем ШІ з точки зору менеджменту таких складових агросистем як ґрунт, культурні рослини, шкодочинні організми (шкідники, хвороби, бур'яни) [4]. Подібну ідею підтримав і інший автор [33]. При цьому для менеджменту ґрунтовим покривом в основному застосовують підходи штучних нейронних мереж та машинного навчання з нечіткою логікою; для управління та моделювання росту і розвитку культурних рослин – штучні нейронні мережі, емпіричні математичні симуляційні моделі та робототехніку; для управління фітосанітарним станом посівів – системи комп'ютерного зору, згорткові нейронні мережі, алгоритми машинного навчання. Дослідники виділяють такі виклики, що постають перед впровадженням ШІ в АПК як: проблеми оцінки точності та адекватності моделей ШІ; потреба у великому наборі вхідних даних для успішного навчання, тестування, валідації та реалізації моделей; проблеми з імплементацією через неоднорідність та нерівномірність в оснащеності необхідними технічними засобами з відповідною обчислювальною потужністю; висока вартість і неоднозначна гнучкість систем ШІ [4]. Додатковими проблемами впровадження ШІ в практику аграрного виробництва можуть бути проблеми забезпечення адекватного рівня механізації, розрив між теорією і практикою, а також проблеми захисту чутливих даних агропідприємств у хмарних сховищах і сервісах інтернету речей [33]. Також є побоювання щодо соціо-економічного впливу роботизації на сільське населення, оскільки вона може привести до стрімкого росту безробіття в сільській місцевості.

Щодо можливостей залучення систем ШІ у пост-продукційний процес, то наразі є розробки щодо застосування роботизованих ліній з пакування та сортування продукції, а також детекції та видалення домішок і засмічувачів [3, 11]. Усі вищезгадані системи працюють на основі штучних нейронних мереж і систем комп'ютерного зору. Цікавими є автоматизовані системи ШІ для ідентифікації забруднення обладнання на лініях для виготовлення харчових продуктів, та автоматизованого самоочищення [28].

Що стосується можливостей ШІ в ідентифікації та класифікації шкодочинних об'єктів на посівах сільськогосподарських культур, то тут він істотно поліпшує ефективність традиційного фітосанітарного моніторингу, скорочує трудові та матеріальні витрати на його проведення, а також забезпечує суттєве поліпшення коректності ідентифікації шкодочинних організмів та, відповідно, обрання максимально ефективних заходів щодо їх контролю. На сьогоднішній день до

проблеми автоматизованого фітосанітарного моніторингу залучають не тільки експертні системи, але й методи машинного навчання та розпізнавання об'єктів за графічними параметрами зображень поля або рослин. Найбільш широко використовуються методи машинного навчання та алгоритми штучних нейронних мереж (зокрема, згорткові нейронні мережі, метод опорних векторів, генеративні змагальні мережі), наприклад, такі як ResNet50, MobileNet, Inception V3, VGG16, Siamese Networks, EfficientNetV2L, DenseNet, YOLO v4, які у різних агроекологічних умовах для різних польових, овочевих і плодово-ягідних культур та порід дерев забезпечували точність і коректність ідентифікації та класифікації хвороб і шкідників на рівні 80,6-100,0% [12]. Так само, ШІ на основі нейронних мереж і алгоритмів машинного навчання здатен надати істотну допомогу в розпізнаванні між культурними рослинами та рослинами-засмітниками (рудеральна рослинність і бур'яни). Алгоритми розпізнавання зображень дозволяють чітко оцінити рівень забур'яненості посівів і видовий склад бур'янів, що в свою чергу дозволяє максимально точно підібрати гербіцид і визначити норму витрати препарату та строк виконання захисних заходів для максимальної ефективності контролю небажаної рослинності в посівах та мінімальної шкоди довкіллю та екологічній ситуації. Точність та коректність розпізнавання, залежно від умов виробничого середовища, складає 75-99%. В основному для даних цілей використовують згорткові нейронні мережі у комбінації із відповідними датчиками та сенсорами для комп'ютерного зору [7]. Особливу зацікавленість викликають системи раннього прогнозування розвитку шкідників і хвороб. Подібна система ШІ була розроблена для винограду, та включає в себе такі компоненти як температурні сенсори, датчики вологості листкової поверхні, а також рівня вологості повітря у винограднику. Результати, зафіксовані датчиками, надсилаються на сервер, де потім обробляються за алгоритмом Маркова (різновид машинного навчання) та надається вихідний результат прогнозу розвитку хвороб [19]. Таким чином, алгоритми глибокого навчання та штучні нейронні мережі, як компоненти ШІ, є одними з найперспективніших методів поліпшення ефективності фітосанітарного моніторингу посівів сільськогосподарських культур і забезпечення раціонального екологічно безпечного контролю чисельності шкочинних організмів у агрофітоценозах.

Цікавим напрямком використання штучних нейронних мереж є побудова на їх основі експертних систем, які здатні не тільки пропонувати максимально раціональне рішення, виходячи із вхідних параметрів, але й прогнозувати розвиток перебігу процесів у агроєкосистемах за різних сценаріїв агротехнології та зовнішніх факторів (клімат, ґрунт, тощо). Експертні системи покликані спростити аналіз масиву даних, які впливають на управлінське рішення, пришвидшити та зробити процес прийняття відповідного агротехнологічного рішення більш об'єктивним і науково обґрунтованим, враховуючи максимальну кількість вхідних параметрів і показників, які можуть вплинути на подальший розвиток ситуації в агрофітоценозі, а також враховуючи вже існуючий історичний «досвід» щодо оптимальних дій у схожих агровиробничих кейсах. Однією з переваг експертних систем, особливо таких, що пропонують прийняття управлінського рішення на основі об'єктивних даних вимірювань і спостережень, виконаних за допомогою системи розташованих у польових умовах датчиків і сенсорів, є максимальна об'єктивність інформації щодо стану поля в цілому та культурних рослин на ньому зокрема, оскільки інколи оцінка фахівця-агронома може бути помилковою або упередженою [6].

Однією з перших симуляційних експертних систем була GOSSYM, розроблена для моделювання та прогнозування виробництва бавовнику в залежності від параметрів агротехнології, а саме удобрення, зрошення, засобів контролю бур'янів, а також урахування кліматичних параметрів зони вирощування [13]. Починаючи з середини 80-х років минулого століття, розвиток експертних систем на основі ШІ набирає обертів. Наприклад, існує модель прогнозування продуктивності сільськогосподарських культур на основі алгоритму штучної нейронної мережі зі зворотнім поширенням похибки залежно від параметрів відносної вологості повітря, температури повітря, хмарності, кількості опадів та напрямку вітра [24]. Існують як комплексні, так і вузькоспеціалізовані експертні системи. Прикладом останньої є COMAX (COtton Management eXpert), розроблена для поліпшення виробництва бавовнику [10]. COTFLEX – ще одна експертна система на основі алгоритмів ШІ для підтримки прийняття управлінських рішень під час виробництва бавовнику в штаті Техас, США [27]. Експертні системи моделювання перебігу процесів в агрофітоценозах сої SOYGRO та PRITHVI розроблено із застосуванням математичних алгоритмів нечіткої логіки [2, 22]. Експертна система POMME допомагає фермерам визначати оптимальні терміни хімічного захисту насаджень яблуні від шкідників і хвороб [23]. Експертна система PEST дозволяє поліпшити процес ідентифікації шкідників сільськогосподарських культур та оптимізувати систему інтегрованого захисту рослин [18]. Експертна система CoGas має на меті поліпшити процес ідентифікації збудників хвороб [14].

Надзвичайно корисними в практиці зрошувального землеробства є моделі, базовані на штучних нейронних мережах, які забезпечують високоточне прогнозування необхідних рівнів поливу залежно від метеорологічних параметрів і властивостей ґрунтового покриву за алгоритмами градієнтного спуску та спряженого градієнта у рамках багатосарової штучної нейронної мережі [5]. Дані моделі успішно реалізовано на двигуні MATLAB та апробовано на практиці в системах точного краплинного зрошення. Інтелектуальні системи зрошення здатні самостійно регулювати рівень та параметри подачі поливної води на поле в залежності від метеорологічних умов, властивостей ґрунту, особливостей культури, її фенологічної фази, тощо [31].

Системи ШІ на базі нечіткої логіки було розроблено для встановлення оптимального удобрення сільськогосподарських культур за параметрами ґрунту та стану рослин у польових умовах [30]. Системи ШІ на базі нечіткої логіки є популярним рішенням для розв'язання задач встановлення якості рослинницької продукції, управління її зберіганням і прогнозування перебігу процесів у агроекосистемах [7].

Дослідження із використання робототехніки відкривають перспективи застосуванню «розумних» сільськогосподарських машин для автоматизованого та високоточного обприскування, сівби насіння, зрошення та основного обробітку ґрунту [9]. Враховуючи високі витрати праці на більшості польових сільськогосподарських робіт і необхідність автоматизації процесів виробництва продукції рослинництва, системи ШІ є надзвичайно важливими для сучасного АПК [6].

На сьогоднішній день, ШІ в сільському господарстві є новим і високоперспективним напрямком, який викликає високий науковий інтерес. Свідченням цьому є дослідження публікаційної активності з питань ШІ в агросекторі, яке показало, що тільки в останні роки (2021-2022) в рейтингових журналах, індексованих наукометричними базами Scopus та/або Web of Science, було опубліковано 176 статей щодо ШІ, як теоретичного плану (43%), так і практичного та емпіричного

плану (57%). Цікаво, що в трійці найвпливовіших у публікаційній активності країн з питань ШІ в сільському господарстві не має США та Китаю – перше місце посідають Нідерланди, друге – Індія, третє – Греція. Не дивлячись на цей факт, основними постачальниками технологій і програмного забезпечення щодо ШІ є саме країни Євросоюзу, США та Китай. Найбільш широко в останні 3-4 роки вивчалися можливості практичного впровадження та виконувалися теоретичні розробки у напрямку використання ШІ для управління агротехнологіями, прогнозування врожайності сільськогосподарських культур, класифікації посівів культурних рослин, управління чисельністю шкідників, хвороб і бур'янів, управління якістю ґрунтів, удобренням і зрошенням [16]. Окремі автори додали до цих напрямків такі як управління процесами формування якості та зберігання продукції, прогнозування метеорологічних умов, управління «розумним» виконанням технологічних операцій у полі, пов'язаних із доглядом та збиранням і транспортуванням врожаю (автоматизовані драйвери тракторів і комбайнів, датчики врахування та коригування параметрів агротехнічних операцій), логістичний менеджмент [6]. Топ-3 найбільш популярних і перспективних видів ШІ в сільському господарстві є глибоке машинне навчання, інтернет речей і згорткові штучні нейронні мережі [16]. В цілому, раціональне комплексне залучення систем ШІ в агросферу створює передумови оптимізації використання природних і агровиробничих ресурсів, поліпшує умови та ефективність праці, якість продукції та продуктивність агроєкосистем, забезпечує сталий розвиток АПК за умов його максимально можливої економічної ефективності [6].

Наостанок варто згадати і про перспективи застосування систем ШІ науково-освітнього призначення для поліпшення якості аграрної освіти у відповідних профільних закладах вищої освіти (ЗВО) та науково-дослідних установах (НДУ). Викладання із залученням сучасних освітніх онлайн-платформ зазвичай підвищує зацікавленість і зануреність здобувачів освіти у навчальний процес. Важливо, щоб поряд із класичними дисциплінами майбутні фахівці з агрономії одержували знання з сучасних ІТ та ШІ [6].

На жаль, на сьогоднішній день рівень вітчизняних розробок і ступінь впровадження ШІ у агровиробничу практику в Україні є недостатніми. Найбільш перспективними та легко адаптованими технологіями штучного інтелекту є системи підтримки прийняття управлінських рішень, особливо ті, які реалізовані за функціональним алгоритмом чат-боту (тобто «питання – відповідь»). Одним із найбільш сучасних і широкодоступних чат-ботів є система штучного інтелекту *agri1*. Враховуючи повну відсутність наукових досліджень щодо ефективності застосування *agri1* у розв'язанні науково-теоретичних і прикладних задач, які виникають у сфері сільського господарства України, доцільним було дослідити реальні можливості системи для надання фактичного результату її застосування у форматі чат-боту під час розв'язання різних задач у галузях ґрунтознавства, технологій вирощування сільськогосподарських культур і сільськогосподарських меліорацій. У результаті вивчення можливостей системи штучного інтелекту *agri1* виявлено, що відсоток коректних відповідей становив 81,67, 83,33 та 88,33% для запитань із ґрунтознавства, агротехніки та сільськогосподарських меліорацій відповідно. Вищу точність та якість відповідей отримано із практичних запитань, водночас на теоретичні запити система *agri1* давала менш коректні та якісні відповіді (86,67% проти 82,22% відповідно для практичних і теоретичних запитів). Окрім того, істотно більшу кількість додаткових запитів поставлено у ході виконання системою *agri1* завдань, нетипових для міжнародної

агрономічної науки та практики. Загальний вихід коректних відповідей становив 84,44%, що є достатнім показником для рекомендації застосування agril з науково-практичною метою. Постановка необмеженої кількості додаткових запитів і внутрішнє самонавчання системи дає змогу припустити, що за певних обставин можна досягти 95% і навіть вищої точності та коректності відповідей. В цілому, система III agril є високоякісним і надійним інструментом для отримання науково-теоретичної довідкової експертної інформації та практичних порад із питань ґрунтознавства, технологій вирощування культурних рослин та сільськогосподарських меліорацій, яка може бути використана як додаткове джерело інформації у науково-дослідних і виробничих цілях. Логічно постає питання адаптації подібних систем III українською мовою та для вітчизняного споживача з урахуванням специфіки агровиробничих умов України, а також розробки власних подібних експертних систем [39].

Висновки та перспективи подальших досліджень. Результати досліджень засвідчили про дуже широкі можливості та перспективи залучення технологій III в аграрну науку і практику. Особливо потрібними та актуальними є розробки у сфері моделювання та програмування продуктивності агрофітоценозів, прогнозу метеорологічних умов та агро меліоративного стану ґрунту, системи автоматизованої ідентифікації шкочинних організмів та інтелектуального використання засобів захисту рослин, високоточного автоматизованого виконання агротехнічних операцій, регулювання параметрів зберігання та транспортування продукції рослинництва. Рівень розвитку і впровадження технологій III в АПК України є недостатнім, особливо відчутним є брак якісної освіти з цих питань у профільних ЗВО. Вирішенню проблеми сприятиме розширення програми навчальних дисциплін і практичних занять з IT та III, проведення тренінгів і семінарів для агровиробників з ефективного залучення сучасних IT в агровиробництво, а також розробка і впровадження власних інтелектуальних програмних продуктів, систем і техніко-технологічних платформ для забезпечення українського агровиробника вітчизняними конкурентними рішеннями в сфері IT та III в агрономії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Bannerjee G., Sarkar U., Das S., Ghosh I. Artificial intelligence in agriculture: A literature survey. *International Journal of Scientific Research in Computer Science Applications and Management Studies*. 2018. Vol. 7. No. 3. P. 1-6.
2. Batchelor W. D., McClendon R. W., Adams D. B., Jones J. W. Evaluation of SMARTSOY: An expert simulation system for insect pest management. *Agricultural Systems*. 1989. Vol. 31. No. 1. P. 67-81.
3. Dewi T., Risma P., Oktarina Y. Fruit sorting robot based on color and size for an agricultural product packaging system. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. 2020. Vol. 9. No. 4. P. 1438-1445.
4. Eli-Chukwu N. C. Applications of artificial intelligence in agriculture: A review. *Engineering, Technology & Applied Science Research*. 2019. Vol. 9. No. 4. P. 4377-4383.
5. Hinnell A. C., Lazarovitch N., Furman A., Poulton M., Warrick A. W. Neuro-Drip: estimation of subsurface wetting patterns for drip irrigation using neural networks. *Irrigation Science*. 2010. Vol. 28. P. 535-544.
6. Javaid M., Haleem A., Khan I. H., Suman R. Understanding the potential applications of Artificial Intelligence in Agriculture Sector. *Advanced Agrochem*. 2023. Vol. 2. No. 1. P. 15-30.
7. Jha K., Doshi A., Patel P., Shah M. A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2019. Vol. 2. P. 1-12.

8. Jose A., Nandagopalan S., Akana C. M. V. S. Artificial intelligence techniques for agriculture revolution: a survey. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*. 2021. Vol. 2021. P. 2580-2597.
 9. Katariya S. S., Gundal S. S., Kanawade M. T., Mazhar K. Automation in agriculture. *International Journal of Recent Scientific Research*. 2015. Vol. 6. No. 6. P. 4453-4456.
 10. Lemmon H. COMAX: An expert system for cotton crop management. *Science*. 1986. Vol. 233. No. 4759. P. 29-33.
 11. Liu J. Packaging design based on deep learning and image enhancement. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022. Vol. 2022. No. 1. P. 9125234.
 12. Lykhowydy P., Hranovska L., Bidnyna I., Marchenko T., Averchev O., Leliavska L., Khomenko T., Haydash O., Hetman M., Hnylytskyi Ye. A review on the use of artificial intelligence and deep learning algorithms in crops phytosanitary monitoring. *Modern Phytomorphology*. 2024. Vol. 18. P. 64-69.
 13. McKinion J. M., Lemmon H. E. Expert systems for agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 1985. Vol. 1. No. 1. P. 31-40.
 14. Mozny M., Krejci J., Kott I. CORAC, hops protection management systems. *Computers and Electronics in Agriculture*. 1993. Vol. 9. No. 2. P. 103-110.
 15. Norvig P., Russell S. *Artificial intelligence: a modern approach, Global Edition*. Pearson, Harlow, 2021. P. 1239-1269.
 16. Oliveira R. C. D., Silva R. D. D. S. E. Artificial intelligence in agriculture: benefits, challenges, and trends. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. No. 13. P. 7405.
 17. Pantazi X. E., Moshou D., Bravo C. Active learning system for weed species recognition based on hyperspectral sensing. *Biosystems Engineering*. 2016. Vol. 146. P. 193-202.
 18. Pasqual G. M., Mansfield J. Development of a prototype expert system for identification and control of insect pests. *Computers and Electronics in Agriculture*. 1988. Vol. 2. No. 4. P. 263-276.
 19. Patil S. S., Thorat S. A. Early detection of grapes diseases using machine learning and IoT. *2016 second international conference on Cognitive Computing and Information Processing (CCIP)*. P. 1-5.
 20. Patricio D. I., Rieder R. Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. Vol. 153. P. 69-81.
 21. Pournader M., Ghaderi H., Hassanzadegan A., Fahimnia B. Artificial intelligence applications in supply chain management. *International Journal of Production Economics*. 2021. Vol. 241. P. 108250.
 22. Prakash C., Rathor A. S., Thakur G. S. M. Fuzzy based agriculture expert system for soyabean. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*. 2013. Vol. 1. P. 1-13.
 23. Roach J., Virkar R., Drake C., Weaver M. An expert system for helping apple growers. *Computers and Electronics in Agriculture*. 1987. Vol. 2. No. 2. P. 97-108.
 24. Robinson C., Mort N. A neural network system for the protection of citrus crops from frost damage. *Computers and Electronics in Agriculture*. 1997. Vol. 16. No. 3. P. 177-187.
 25. Saleem M. H., Potgieter J., Arif K. M. Automation in agriculture by machine and deep learning techniques: A review of recent developments. *Precision Agriculture*. 2021. Vol. 22. P. 2053-2091.
 26. Shadrin D., Menshchikov A., Somov A., Bornemann G., Hauslage J., & Fedorov M. Enabling precision agriculture through embedded sensing with artificial intelligence. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2019. Vol. 69. No. 7. P. 4103-4113.
 27. Stone N. D., Toman T. W. A dynamically linked expert-database system for decision support in Texas cotton production. *Computers and Electronics in Agriculture*. 1989. Vol. 4. No. 2. P. 139-148.
-

28. Taneja A., Nair G., Joshi M., Sharma S., Sharma S., Jambrak A. R., Rosello-Soto, E., Phimolsiripol Y. (2023). Artificial intelligence: Implications for the agri-food sector. *Agronomy*. Vol. 13. No. 5. P. 1397.
 29. Toorajipour R., Sohrabpour V., Nazarpour A., Oghazi P., Fischl M. Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review. *Journal of Business Research*. 2021. Vol. 122. P. 502-517.
 30. Tremblay N., Bouroubi M. Y., Panneton B., Guillaume S., Vigneault P., Bélec C. Development and validation of fuzzy logic inference to determine optimum rates of N for corn on the basis of field and crop features. *Precision Agriculture*. 2010. Vol. 11. P. 621-635.
 31. Wall R. W., King B. A. Incorporating plug and play technology into measurement and control systems for irrigation management. *2004 ASAE Annual Meeting*, 2004. P. 1.
 32. Warwick K. *Artificial intelligence: the basics*. Routledge, 2013.
 33. Zha J. Artificial intelligence in agriculture. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1693. No. 1. P. 012058.
 34. Zhang P., Guo Z., Ullah S., Melagraki G., Afantitis A., Lynch I. Nanotechnology and artificial intelligence to enable sustainable and precision agriculture. *Nature Plants*. 2021. Vol. 7. No. 7. P. 864-876.
 35. Вожегова Р. А., Балашова Г. С., Бояркіна Л. В. Електронно-довідкова база, як елемент інформаційного забезпечення технологічного процесу насінництва картоплі в умовах зрошення півдня України. *Зрошуване землеробство*. 2016. Вип. 66. С. 22-26.
 36. Коковіхін С. В., Лисогоров К. С., Бояркіна Л. В. Актуальні напрями використання інформаційних технологій в сучасному зрошуваному землеробстві. *Зрошуване землеробство*. 2009. Вип. 51. С. 31-37.
 37. Кучмійова Т. С., Мороз Т. О., Шешунова А. В. Використання штучного інтелекту в сільському господарстві. *Електронне наукове фахове видання з економічних наук «Modern Economics»*. 223. Вип. 39. С. 69-74.
 38. Лебідь О. В., Кіпоренко С. С., Вовк В. Ю. Використання технологій штучного інтелекту в сільському господарстві: європейський досвід та застосування в Україні. *Електронне моделювання*. 2023. Вип. 45. № 3. С. 57-71.
 39. Лиховид П., Вожегова Р., Грановська Л., Ушкаренко В. Штучний інтелект і можливості його застосування в сучасному сільському господарстві. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2023. Вип. 33. № 47. С. 68-77.
-