

УДК 004.05

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2025.1.15>

Володимир ЛАВРИК

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інформаційних та комп'ютерних технологій, Київський національний університет технологій та дизайну, lavryk.vv@knutd.edu.ua

ORCID: 0000-0002-6448-2470

Владислава СКІДАН

кандидат технічних наук, доцент, завідувачка кафедри інформаційних та комп'ютерних технологій, Київський національний університет технологій та дизайну, skidan.vv@knutd.edu.ua

ORCID: 0000-0002-8358-9759

Максим СУКАЛО

доктор філософії, старший викладач кафедри інформаційних та комп'ютерних технологій, Київський національний університет технологій та дизайну, sukalo.ml@knutd.edu.ua

ORCID: 0000-0003-3437-8290

Антоніна ВОЛІВАЧ

кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних та комп'ютерних технологій, Київський національний університет технологій та дизайну, volivach.ap@knutd.com.ua

ORCID: 0000-0002-7119-7774

Юрій ЛЕБЕДЕНКО

кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних та комп'ютерних технологій, Київський національний університет технологій та дизайну, lebedenko.yo@knutd.edu.ua

ORCID: 0000-0002-1352-9240

ВИКОРИСТАННЯ ІОТ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ РОСЛИН В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Анотація. У статті розглядається процес розробки інтелектуального IoT-пристрою для моніторингу стану рослин у сільському господарстві. Описано архітектуру системи, методіку навчання нейронної мережі та механізм аналізу зображень у реальному часі.

Метою даного дослідження є розробка та експериментальна перевірка інтелектуального IoT-пристрою для моніторингу стану рослин, здатного виявляти ознаки захворювань і наявність шкідників за допомогою згорткових нейронних мереж.

Методологія дослідження. У дослідженні використано комплексний підхід, що поєднує апаратне та програмне забезпечення в єдину IoT-систему моніторингу рослин. Для аналізу зображень рослин застосовано згорткову нейронну мережу YOLOv9.

Наукова новизна полягає у створенні та апробації прототипу автономного інтелектуального пристрою для моніторингу стану рослин. Запропоновано архітектуру системи, яка дозволяє локальне виявлення ознак хвороб і шкідників без підключення до зовнішніх серверів, що знижує затримки та підвищує надійність у польових умовах.

Висновки. У результаті дослідження було успішно розроблено та протестовано прототип інтелектуального IoT-пристрою для моніторингу стану рослин у сільському господарстві. Проведені експерименти довели ефективність роботи пристрою в умовах реального середовища.

Ключові слова: інтернет речі, IoT-пристрій, цифрові технології, нейронні мережі, сільське господарство.

Volodymyr LAVRIK, Vladyslav SKIDAN, Maksym SUKALO, Antonina VOLIVACH, Yuriy LEBEDENKO. USING IOT DEVICES TO MONITOR PLANT HEALTH IN AGRICULTURE

Abstract. The article considers the process of developing an intelligent IoT device for monitoring plant health in agriculture. The system architecture, neural network training methodology, and real-time image analysis mechanism are described.

The purpose of this study is to develop and experimentally verify an intelligent IoT device for monitoring plant health, capable of detecting signs of diseases and the presence of pests using convolutional neural networks.

Research methodology. The study uses a comprehensive approach that combines hardware and software into a single IoT plant monitoring system. The YOLOv9 convolutional neural network is used to analyze plant images.

The scientific novelty lies in the creation and testing of a prototype of an autonomous intelligent device for monitoring plant health. A system architecture is proposed that allows local detection of signs of diseases and pests without connecting to external servers, which reduces delays and increases reliability in field conditions.

Conclusions. As a result of the research, a prototype of an intelligent IoT device for monitoring the condition of plants in agriculture was successfully developed and tested. The experiments conducted proved the effectiveness of the device in a real environment.

Key words: Internet of Things, IoT device, digital technologies, neural networks, agriculture.

Постановка проблеми. Сільське господарство є однією з ключових галузей економіки, від якої залежить продовольча безпека. Зі змінними військово-політичними, кліматичними та демографічними факторами збільшується потреба в ефективному управлінні сільськогосподарськими ресурсами [4]. Традиційні методи моніторингу та управління рослинами є трудомісткими та не завжди точними. У цьому контексті, інноваційні технології, такі як Інтернет речі (IoT, від. англ. Internet of Things) та нейронні мережі, мають великий потенціал для покращення управління сільськогосподарськими культурами [12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Короткий огляд сучасних застосувань технологій IoT у сільському господарстві надано в таблиці 1 [5].

Таблиця 1

Огляд сучасних технологій IoT у сільському господарстві

Застосування IoT в сільському господарстві	Опис	Приклади використання
Моніторинг стану ґрунту	Використання сенсорів для вимірювання вологості, температури, кислотності та рівня поживних речовин у ґрунті.	Контроль рівня зволоження для оптимального поливу, аналіз складу ґрунту перед посадкою.
Системи точного зрошення	Автоматизація поливу на основі даних сенсорів і прогнозів погоди для раціонального використання води.	Інтелектуальні системи поливу, які включаються лише за потреби, залежно від вологості ґрунту та погоди.
Розумні теплиці	Автоматизація управління мікрокліматом у теплицях на основі даних сенсорів (температура, вологість, рівень CO ₂).	Підтримання оптимальних умов для вирощування культур, автоматичне керування освітленням і поливом.
Моніторинг навколишнього середовища	Сенсори IoT збирають дані про температуру, вологість, швидкість вітру, рівень сонячного випромінювання, які впливають на врожайність.	Прогнозування погоди для оптимального планування сільськогосподарських робіт.
Управління фермерською технікою	Використання GPS та IoT для автоматизації руху тракторів, комбайнів та іншого обладнання.	Автономне управління сільськогосподарською технікою для точного посіву, збирання врожаю або обробки культур.
Віддалений контроль за фермерськими господарствами	Збір даних із сенсорів і камер, які дозволяють фермеру стежити за станом господарства в реальному часі через мобільні додатки або веб-інтерфейси.	Віддалений моніторинг теплиць, тваринницьких ферм, стану складських приміщень.
Системи управління запасами	Використання сенсорів для контролю рівня заповнення сховищ для добрив, кормів, води та палива.	Виявлення нестачі корму або добрив, автоматичне замовлення необхідних матеріалів через систему IoT.
Моніторинг стану тварин	Сенсори IoT та RFID-теги для відстеження стану здоров'я, місцезнаходження та активності сільськогосподарських тварин.	Контроль температури та фізичної активності тварин для раннього виявлення хвороб.

Однією з головних переваг використання IoT у цій галузі є здатність сенсорних систем збирати дані про різноманітні параметри: вологість ґрунту, температуру, рівень освітлення, стан атмосфери та наявність шкідників. Ці дані передаються в центральні системи обробки або хмарні сервіси, де вони аналізуються для розробки ефективних рекомендацій. [9]

Однією з ключових складових таких інтелектуальних систем є нейронні мережі. Їх головна перевага полягає у здатності до навчання – вони можуть обробляти великі обсяги даних, виявляючи в них закономірності, тенденції та взаємозв'язки. Це робить нейронні мережі особливо ефективними у вирішенні складних задач, які важко або неможливо формалізувати традиційними методами. Зокрема, вони активно застосовуються для розпізнавання образів, обробки природної мови, прогнозування та автоматизації рішень у багатьох сферах, включаючи сільське господарство.

Існують різні типи нейронних мереж, які відрізняються архітектурою та сферою застосування. Наприклад, згорткові нейронні мережі (CNN) ефективні для аналізу візуальної інформації, що робить їх надзвичайно корисними при роботі з зображеннями рослин. Саме такі мережі можуть бути вбудовані в IoT-системи для розпізнавання симптомів захворювань або виявлення шкідників. Рекурентні нейронні мережі (RNN) краще підходять для обробки часових рядів і текстових даних, тоді як генеративно-змагальні мережі (GAN) дозволяють створювати нові дані, подібні до реальних.

Сучасні нейронні мережі мають складну багаторівневу структуру. Прикладом такої складної архітектури є згорткова нейронна мережа YOLOv8, яка призначена для виявлення об'єктів на зображеннях і може ефективно використовуватися в системах автоматичного моніторингу стану рослин. Опис її шарів і принципу роботи наведено на (рис. 1) [9].

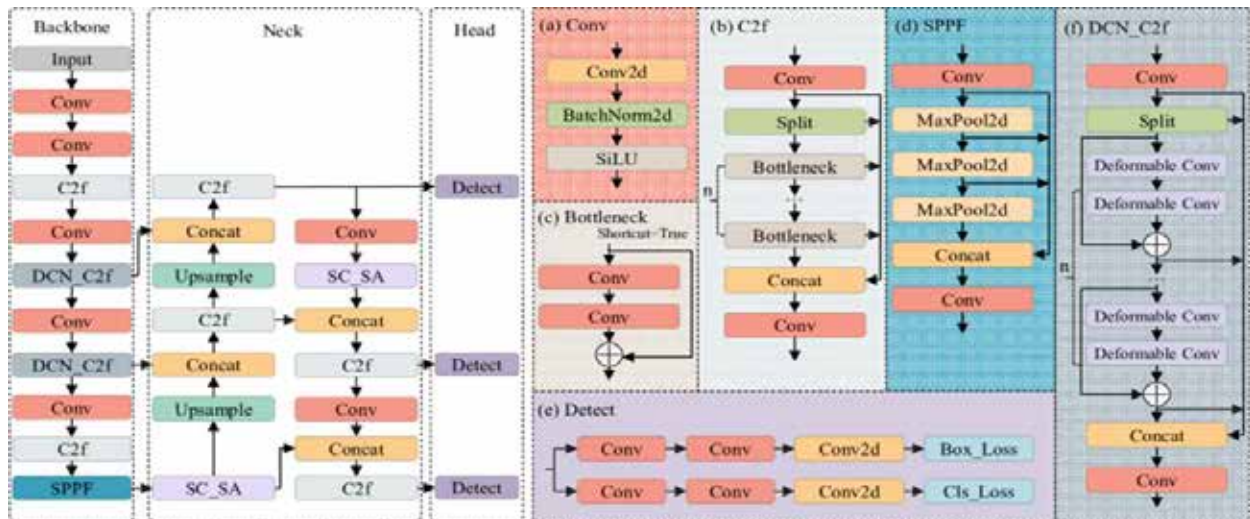


Рис. 1. Опис шарів та схема роботи нейронної мережі YOLOv8

Використання нейронних мереж для моніторингу в сільському господарстві є важливим кроком у модернізації аграрного сектору, адже ці технології дозволяють здійснювати глибокий аналіз даних, виявляти закономірності та приймати обґрунтовані рішення. Нейронні мережі, як один із основних інструментів штучного інтелекту, дають можливість автоматизувати моніторинг стану культур, прогнозувати їхній розвиток і навіть визначати потенційні загрози для врожаю. [1, 2]

Одним із ключових напрямів використання нейронних мереж є аналіз зображень. Завдяки сучасним технологіям комп'ютерного зору, нейронні мережі можуть обробляти фото- та відеоматеріали, зроблені за допомогою дронів, камер або інших пристроїв, і виявляти ознаки хвороб рослин, шкідників або дефіциту поживних речовин. Наприклад, мережі здатні розпізнавати кольорові зміни на листках, що можуть свідчити про грибкові інфекції, або структуру пошкоджень, які вказують на активність комах-шкідників.

Ще одним важливим застосуванням є прогнозування стану культур і врожайності. Нейронні мережі здатні обробляти великі масиви даних, такі як показники вологості ґрунту, температури, кількості опадів та інших екологічних факторів. На основі історичних даних вони можуть прогнозувати, як ці фактори вплинуть на розвиток рослин, і допомагати фермерам приймати рішення щодо поливу, удобрення чи захисту від шкідників. [11]

Сучасні технології бездротової передачі даних відіграють вирішальну роль у створенні ефективних і масштабованих систем управління фермерськими угіддями. Ці технології дозволяють забезпечувати безперервний обмін інформацією між сенсорами, пристроями автоматизації та хмарними платформами, створюючи єдину екосистему для аналізу даних і прийняття рішень.

Сільське господарство часто має унікальні вимоги до технологій передачі даних через значні території, ізоляваність об'єктів і потребу в енергоефективності.

У таблиці 2 показано порівняння сучасних технологій бездротової передачі даних для сільськогосподарських пристроїв моніторингу [6].

Для забезпечення інтелектуального моніторингу у сільському господарстві необхідно створити платформу, яка виконує такі поставлені умови:

1. Продуктивність, достатня для запуску нейронних мереж для визначення об'єктів
2. Енергоефективність, яка дозволяє пристрою працювати декілька тижнів без необхідності зміни батареї
3. Автономність зв'язку, щоб мати можливість підключення до мережі Інтернет у віддалених районах
4. Компактність і адекватна ціна для можливості майбутнього масового застосування

Враховуючи перераховані вище фактори, було розроблено і створено платформу, яка має структурну схему, зображену на (рис. 2) [6].

Таблиця 2

**Порівняльна характеристика сучасних технологій бездротової передачі даних
для сільського господарства**

Технологія	Дальність	Швидкість передачі даних	Споживання енергії	Ціна обладнання	Характеристика
LoRa	До 15–20 км (відкритий простір)	0,3–50 Кбіт/с	Дуже низьке	Низька	Підходить для великої кількості сенсорів, працює у віддалених районах.
Zigbee	До 100 м	До 250 Кбіт/с	Низьке	Низька	Добре для локальних мереж, підтримує mesh-структури.
NB-IoT	До 10 км (у міській зоні)	До 250 Кбіт/с	Дуже низьке	Середня	Використовує інфраструктуру мобільних мереж, стабільний зв'язок.
Wi-Fi	До 100 м (в приміщенні), до 300 м (на відкритому просторі)	До 1 Гбіт/с	Середнє	Низька	Висока швидкість, але обмежена дальність і високі витрати енергії.
Bluetooth LE	До 50 м	До 2 Мбіт/с	Дуже низьке	Низька	Підходить для мобільних пристроїв, низька затримка.
4G LTE	До 10–15 км	До 150 Мбіт/с	Середнє	Середня	Широке покриття, підходить для передачі відео чи великих даних.
5G	До 1–10 км	До 10 Гбіт/с	Високе	Висока	Мінімальна затримка, висока пропускна здатність.
Супутниковий зв'язок	Глобальне покриття	До 100 Мбіт/с	Високе	Дуже висока	Використовується у віддалених регіонах, де немає мобільного покриття.

Для ролі центрального обчислювального пристрою було прийнято рішення використовувати в даному проекті одноплатний комп'ютер Raspberry Pi Zero 2W. Плата містить 4-ядерний 64-розрядний процесор Arm Cortex-A53 з тактовою частотою 1 ГГц. Її основою є система в комплекті Raspberry Pi RP3A0 (SiP), яка включає кристал Broadcom BCM2710A1 із 512 МБ LPDDR2 SDRAM. Оновлений процесор забезпечує Raspberry Pi Zero 2 W на 40% вищу однопотокову продуктивність і в п'ять разів вищу багатопотокову продуктивність, ніж оригінальний одноядерний Raspberry Pi Zero [10].

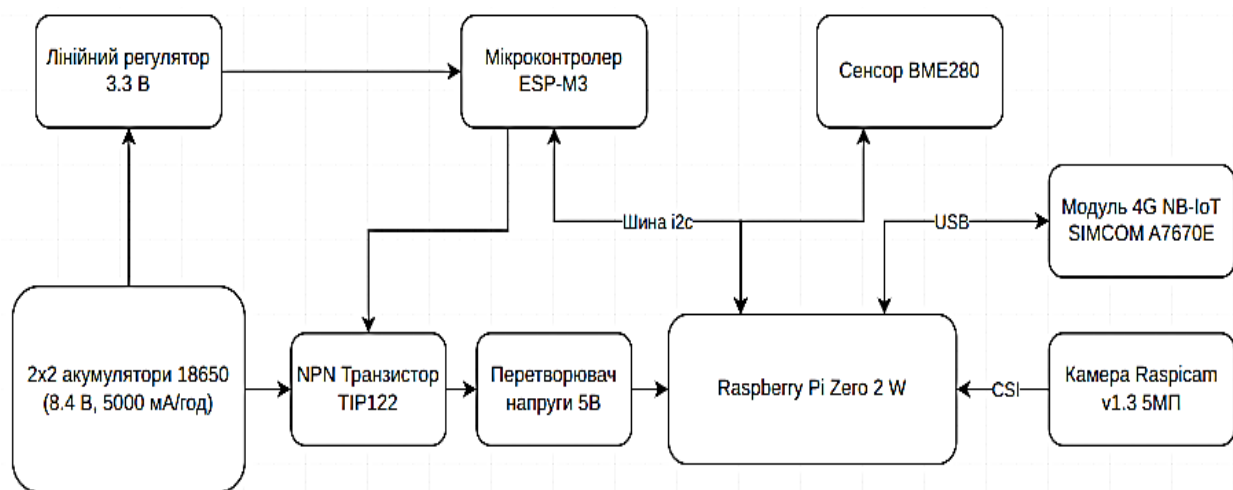


Рис. 2. Структурна схема апаратної частини пристрою

Єдині недоліки плати, важливі для створення інтелектуальних пристроїв інтернету речей – відсутність у процесорі прискорювача нейронних мереж та недостатній об'єм оперативної пам'яті для запуску більшості сучасних моделей машинного навчання. Враховуючи те, що нейронною мережею обробляється єдиний кадр за декілька годин, така продуктивність не створює серйозних перешкод.

Для комунікації з мережею Інтернет була вибрана технологія інтернету речей NB-IoT. Її перевага в сільському господарстві полягає в відсутності необхідності створення спеціальної інфраструктури як у випадку Wi-Fi, LoRa та Zigbee, високій швидкості передачі даних (10 Мбіт/с завантаження, 5 Мбіт/с вивантаження) та низькому енергоспоживанні відносно швидкісного 4G/5G з'єднання. Головним недоліком такої мережі відносно LoRa, Wi-Fi та Zigbee є необхідність купівлі та поповнення SIM карти із підтримкою 4G з'єднання.

Для зручного монтажу всіх необхідних компонентів була створена макетна плата, яка поєднує на собі контролер живлення ESP-M3 8285, сенсор температури, вологості та атмосферного тиску Bosch BME280 [3, 7], транзистор TIP122 та інші необхідні для живлення та з'єднання компоненти (рис. 3).

Зовнішній вигляд пристрою та всі компоненти, зібрані в корпусі можна побачити відповідно на (рис. 4).

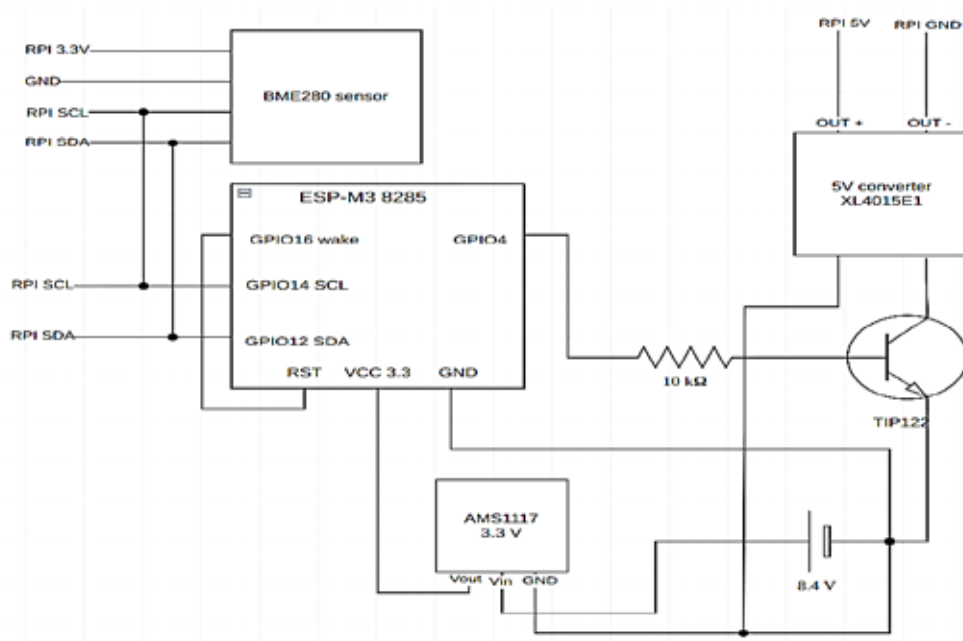


Рис. 3. Принципова схема основної плати пристрою



Рис. 4. Зовнішній вигляд пристрою в корпусі

Для тренування нейронної мережі YOLOv8 на власному наборі даних було використано онлайн середовище розробки Google Colab з відеокартою Nvidia Tesla L4, 60 Гб оперативної пам'яті та 70 Гб дискового простору.

Порівняння між реальними та передбаченими моделлю об'єктами можна побачити відповідно на (рис. 5).



Рис. 5. Об'єкти аналізу даних: зліва – зображення реальних об'єктів із валідаційного набору даних; справа – відповідні об'єкти, передбачені моделлю для цього самого набору

На рисунках представлено зразки листя суниці із симптомами захворювань, зокрема різними формами плямистостей та сірою гниллю. Продемонстровано приклади експериментальних результатів, які ілюструють рівень впевненості моделі у виявленні патологічних змін. Представлений у роботі інтелектуальний IoT-пристрій дозволив автоматично ідентифікувати та сегментувати уражені ділянки листя з високим ступенем точності.

Висновки. У дослідженні було детально розглянуто процес створення сільськогосподарського IoT-пристрою з використанням нейронних мереж для моніторингу стану культур. Розділ охоплює всі ключові етапи розробки – від проектування апаратної частини до створення програмного забезпечення та інтеграції моделей машинного навчання, спрямованих на виявлення рослин-шкідників і хвороб.

Особлива увага приділена тренуванню моделі машинного навчання на основі нейронної мережі YOLOv8. Ця модель була навчена на спеціалізованих наборах даних, що включають зображення рослин-шкідників і культур із хворобами. Проведено оптимізацію моделі для роботи на пристроях з обмеженими обчислювальними ресурсами, що дозволяє виконувати точну і швидку обробку зображень безпосередньо на пристрої. Успішна інтеграція нейронної мережі значно підвищує ефективність моніторингу та дозволяє оперативно виявляти проблеми на ранніх етапах.

Таким чином, у роботі описано повний цикл створення IoT-пристрою – від апаратної реалізації до програмного забезпечення й машинного навчання. Отримані результати демонструють високу ефективність запропонованого підходу, який дозволяє автоматизувати процес моніторингу, мінімізувати витрати ресурсів та підвищити якість управління сільськогосподарськими процесами. Розроблений пристрій може бути успішно застосований у реальних умовах, а також слугувати основою для подальшого вдосконалення інтелектуальних технологій у аграрній сфері.

Список використаних джерел:

1. A review of deep learning techniques used in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2023. Vol. 209. Article 107877. DOI: 10.1016/j.compag.2023.107877.
2. Applications of Machine Learning and Deep Learning in Agriculture: A Comprehensive Review. *Discover Artificial Intelligence*. 2025. Vol. 3, No. 1. Article 33. DOI: 10.1007/s44196-025-00033-8.
3. Bosch Sensortec. BME280 Combined humidity and pressure sensor URL: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/> Дата звернення: 21 квітня 2025 р.
4. Garg S., Pundir P., Jindal H., Saini H., Garg S. Towards a Multimodal System for Precision Agriculture using IoT and Machine Learning. 12th ICCNT 2021 conference at IIT Kharagpur, India. 2021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.04895>.

5. Hammad Shahab, Muhammad Naeem, Muhammad Iqbal, Muhammad Aqeel, Syed Sajid Ullah. IoT-driven smart agricultural technology for real-time soil and crop optimization. *Smart Agricultural Technology*. Volume 10, March 2025, 100847. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100847>.
6. Natraj A. A., Lee B., Castiblanco F. A., Buckmaster D. R., Wang C. C., Love D. J., Krogmeier J. V., Butt M. M., Ghosh A. Ambient IoT: Communications Enabling Precision Agriculture. arXiv. 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2409.12281>.
7. Plant Disease Detection Using Deep Learning Techniques. *Journal of Intelligent Agriculture and Precision*. 2025. Vol. 1, No. 2. P. 55–64. DOI: 10.1234/jiap.2025.227089.
8. Prem Rajak, Abhratanu Ganguly, Satadal Adhikary, Suchandra Bhattacharya. Internet of Things and smart sensors in agriculture: Scopes and challenges. *Journal of Agriculture and Food Research*. Volume 14, December 2023, 100776. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100776>.
9. Qin R., Wang Y., Liu X., Yu H. Advancing precision agriculture with deep learning enhanced SIS-YOLOv8 for Solanaceae crop monitoring. *Frontiers in Plant Science*, 2025. 15, 1485903.
10. Raspberry Pi Foundation. Raspberry Pi Zero 2 W. URL: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-zero-2-w/>. –Дата звернення: 21 квітня 2025 р.
11. Sadowski S., Spachos P. Wireless Technologies for Agricultural Monitoring using Internet of Things Devices with Energy Harvesting Capabilities. arXiv. 2020. URL: <https://arxiv.org/abs/2005.02477>.
12. Udutalapally V., Mohanty S. P., Pallagani V., Khandelwal V. sCrop: A Internet-of-Agro-Things (IoAT) Enabled Solar Powered Smart Device for Automatic Plant Disease Prediction. Published in arXiv.org 9 May 2020 DOI:10.48550/arXiv.2005.06342.