

УДК 004.8

Грінчук М.О.¹, Залуцька О.О.²

¹ Новолабунський ліцей Полонської міської ради

² Хмельницький національний університет

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ХВОРОБ ЛИСТЯ ТОМАТА ЗА НЕЙРОМЕРЕЖЕВИМ АНАЛІЗОМ ФОТОЗОБРАЖЕНЬ

Робота присвячена створенню інформаційної технології для автоматизованого виявлення хвороб листя томату за зображеннями із застосуванням глибоких нейронних мереж. Запропонований підхід підвищує ефективність діагностики рослин порівняно з традиційними методами, що потребують значного часу та експертних знань, і є актуальним напрямом розвитку аграрних інформаційних систем.

The paper is devoted to the creation of information technology for automated detection of tomato leaf diseases based on images using deep neural networks. The proposed approach increases the efficiency of plant diagnostics compared to traditional methods, which require considerable time and expert knowledge, and is a relevant direction for the development of agricultural information systems.

Сільське господарство, зокрема овочівництво, має ключове значення для продовольчої безпеки, економічного розвитку регіонів та експорту багатьох країн [1]. Томат є однією з наймасовіших овочевих культур, що вирощується для свіжого споживання та промислової переробки [2, 3].

Водночас урожай томатів суттєво знижується через численні хвороби грибкової, бактеріальної та вірусної природи, які вражають листя, стебла та плоди. У багатьох випадках втрати можуть досягати значних масштабів, що призводить до погіршення якості продукції та збільшення витрат на її захист [4].

Особливої актуальності ця проблема набуває в Україні, де через зміни умов виробництва, логістики та доступності земель необхідно підвищувати ефективність вирощування культур у нових регіонах. Це вимагає сучасних рішень для моніторингу стану посівів і запобігання втратам.

Розвиток цифрових технологій, комп'ютерного зору [5] та штучного інтелекту [6] відкриває якісно нові можливості для агросектору. Інтелектуальні системи можуть здійснювати моніторинг стану рослин, своєчасно виявляти ознаки захворювань і допомагати аграріям оперативно реагувати на загрози.

Автоматизована діагностика хвороб листя томату на основі аналізу зображень сприяє підвищенню точності контролю, зменшенню людського впливу, економії ресурсів і переходу до принципів точного землеробства. Це робить

впровадження таких технологій важливим кроком для забезпечення сталого розвитку овочівництва.

Нейронні мережі є ключовою технологією сучасного штучного інтелекту [7], оскільки здатні навчатися та робити висновки на основі даних, моделюючи роботу біологічних нейронів [8]. Їхня ефективність зумовлена можливістю адаптувати ваги між зв'язками для мінімізації похибки під час навчання. Історичний розвиток нейромережевих підходів привів до появи глибокого навчання [9], яке дозволило моделювати складні нелінійні залежності та стало основою сучасних систем комп'ютерного зору.

У аграрному секторі глибокі нейронні мережі широко застосовуються для класифікації стану рослин, виявлення шкідників і діагностики захворювань за зображеннями листя. На відміну від класичних алгоритмів машинного навчання, які потребують ручного виділення ознак, сучасні CNN-архітектури самостійно вилучають релевантні характеристики [10], що є критично важливим у складних польових умовах. Архітектури AlexNet, VGG, ResNet, Inception, DenseNet і MobileNet підтвердили свою результативність у задачах визначення хвороб різних культур, включно з томатами.

Паралельно розвиваються трансформерні моделі, серед яких Vision Transformer (ViT) є одним із найперспективніших рішень для аналізу зображень. Завдяки механізму self-attention ViT здатна враховувати глобальні просторові взаємозв'язки між частинами зображення та ефективно розпізнавати ознаки, які проявляються нерівномірно на поверхні листка. Для порівняння з ним доцільним є використання легких згорткових моделей, таких як MobileNetV2, оптимізованих для пристроїв із обмеженими ресурсами [11].

Інтеграція таких моделей із безпілотними платформами, польовими роботами й мобільними застосунками сприяє розвитку точного землеробства, де рішення приймаються на основі даних. Це дозволяє зменшити втрати врожаю, оптимізувати витрати та забезпечити своєчасну діагностику захворювань, підвищуючи ефективність і сталий розвиток агровиробництва, зокрема в Україні.

Для автоматизованого виявлення хвороб листя томатів важливо ідентифікувати характерні візуальні ознаки, що свідчать про розвиток патологічних процесів у рослині. Як правило, симптоми проявляються у вигляді зміни кольору, появи плям, порушення структури або деформації листової поверхні. Для класифікації таких зображень використовується попередньо навчена модель глибокого навчання, здатна аналізувати та розпізнавати зазначені особливості. Загальну схему підходу до визначення захворювань листя томату подано на рисунку 1.

Вхідними даними є зображення листя томатів із різними типами захворювань і здорові зразки. Перед аналізом зображення проходять стандартну попередню обробку: масштабування, нормалізацію та фільтрацію шумів. Далі дані

подаються у попередньо навчені моделі ViT-B/12 і MobileNetV2, які автоматично виділяють ознаки та визначають клас захворювання. Результат подається у вигляді ймовірності належності до кожного класу, що дає можливість швидко та точно визначати стан рослин без участі експертів.

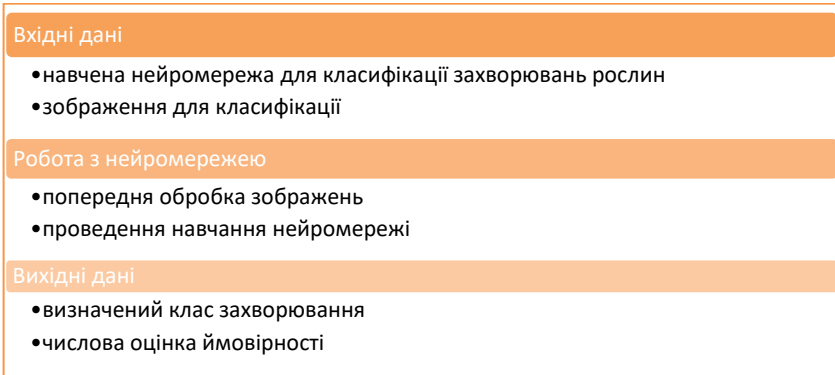


Рисунок 1 – Послідовність дій при класифікації захворювань листя томату

Для розпізнавання захворювань листя томатів застосовуються моделі ViT-B/12 та MobileNetV2, навчені на датасеті Tomato Leaves Dataset [12], що містить зображення здорових рослин і різних типів уражень. Дані попередньо обробляються: зображення приводяться до розміру 224×224 пікселів, нормалізуються та розподіляються на навчальну (80 %) і валідаційну (20 %) вибірки. Такий підхід забезпечує якісне формування моделі для точної класифікації захворювань.

Другим етапом є налаштування і тренування двох обраних архітектур – Vision Transformer та MobileNetV2. ViT використовує механізм самоуваги для аналізу зображень, розбитих на патчі, тоді як MobileNetV2 є легкою згортковою мережею, оптимізованою для швидкої роботи на пристроях із невеликими ресурсами. Обидві моделі навчаються з використанням оптимізатора Adam і категоріальної кросентропії, а для запобігання перенавчанню застосовуються Dropout, Weight Decay та Early Stopping. Після навчання проводиться оцінювання за метриками Accuracy, Precision, Recall, F1-score та матрицею помилок. У результаті отримуються дві готові моделі, що дозволяють визначити найоптимальнішу для використання в системі діагностики захворювань листя томатів.

Для оцінювання ефективності запропонованого підходу розроблено експериментальне програмне забезпечення на Python у середовищі PyCharm з використанням TensorFlow, Keras і PyTorch. Система включає модуль підготовки

даних, модуль навчання моделей і модуль класифікації нових зображень. На етапі підготовки було видалено файли в некоректних форматах, після чого сформовано навчальну вибірку з 25 844 зображень і валідаційну – з 6 683. Навчання моделей Vision Transformer та MobileNetV2 виконується автоматизованим скриптом, який охоплює передобробку, аугментацію даних та підбір гіперпараметрів (рисунок 2).

```
Epoch 1/15
808/808 [=====] - 720s 889ms/step - loss: 1.3107 - accuracy: 0.5547 - val_loss: 0.8498 - val_accuracy: 0.7265
Epoch 2/15
808/808 [=====] - 670s 830ms/step - loss: 0.8664 - accuracy: 0.7096 - val_loss: 0.7498 - val_accuracy: 0.7512
Epoch 3/15
808/808 [=====] - 504s 624ms/step - loss: 0.7742 - accuracy: 0.7405 - val_loss: 0.6853 - val_accuracy: 0.7730
Epoch 4/15
808/808 [=====] - 489s 605ms/step - loss: 0.7327 - accuracy: 0.7527 - val_loss: 0.6274 - val_accuracy: 0.7989
Epoch 5/15
808/808 [=====] - 436s 540ms/step - loss: 0.7077 - accuracy: 0.7607 - val_loss: 0.6207 - val_accuracy: 0.7934
```

Рисунок 2 – Процес навчання нейромережевої моделі MobileNetV2

Під час навчання контролювалися ключові метрики точності класифікації – Accuracy, Precision, Recall та F1-score. Після завершення моделі було збережено у форматах .h5 та .pt для зручної подальшої інтеграції. Для роботи з навченими мережами реалізовано користувацький інтерфейс модуля класифікації, який забезпечує розпізнавання захворювань за новими зображеннями листя томатів.

На рисунку 3 наведено реалізоване програмне забезпечення для класифікації захворювань листя томату.

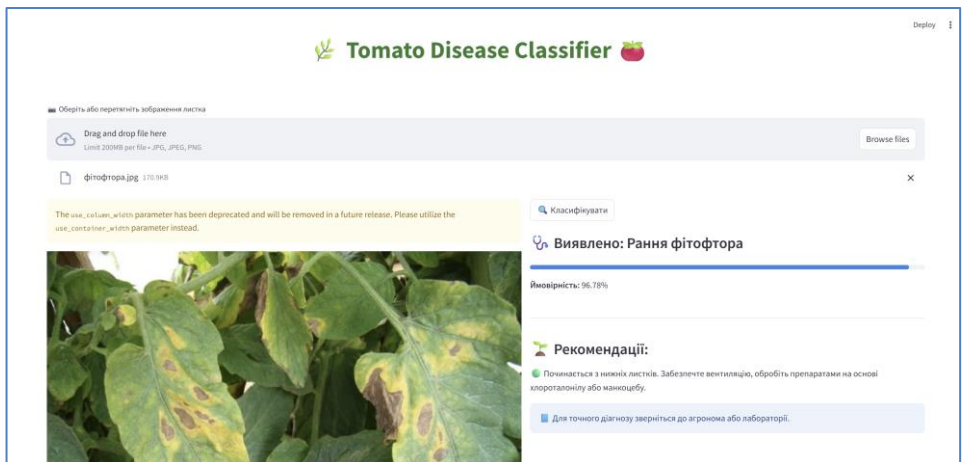


Рисунок 3 – Інтерфейс модуля класифікації захворювань листя томату

Для оцінювання ефективності створеної інформаційної технології проведено експерименти з використанням двох моделей – Vision Transformer і MobileNetV2. Обидві архітектури навчалися на однаковому датасеті, що охоплює 11 класів захворювань і здорового листя. Узагальнені результати навчання подано в таблиці 1.

Було розроблено інформаційну технологію для автоматизованої класифікації захворювань листя томату на основі методів комп'ютерного зору та глибокого навчання. Проведене дослідження підтвердило високу ефективність використання сучасних нейромережових моделей у задачах діагностики агрокультурних хвороб.

Таблиця 1 – Результати проведення навчання нейромереж

Назва моделі	Accuracy	Loss	F1-score
ViT-B/12	0.9717	0.0984	0.9717
MobileNetV2	0.8243	0.5328	0.8224

Розроблене програмне забезпечення реалізує повний цикл автоматичної діагностики – від обробки вхідних зображень до отримання результату класифікації в інтерфейсі користувача. Це дає можливість оперативно визначати тип хвороби та підвищує ефективність процесу ухвалення рішень в агровиробництві.

Таким чином, проведене дослідження підтвердило доцільність застосування штучного інтелекту для моніторингу стану томатних посівів і відкрило перспективи подальшого розвитку подібних систем.

Перелік посилань

1. Das, A., Pathan, F., Jim, J. R., Kabir, M. M., & Mridha, M. F. (2025). Deep learning-based classification, detection, and segmentation of tomato leaf diseases: A state-of-the-art review. *Artificial Intelligence in Agriculture*.
2. Ramesh Babu, P., Srikrishna, A., & Gera, V. R. (2024). Diagnosis of tomato leaf disease using OTSU multi-threshold image segmentation-based chimp optimization algorithm and LeNet-5 classifier. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 131(6), 2221-2236.
3. Ahmed, M. R., Haque, R., Rahman, S. A., Afridi, S., Abir, M. F. F., Hossain, M. F., ... & Uddin, M. M. (2024, May). Towards automated detection of tomato leaf diseases. In *2024 6th International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT)* (pp. 387-392). IEEE.
4. Assaduzzaman, M., Bishshash, P., Nirob, M. A. S., Al Marouf, A., Rokne, J. G., & Alhadj, R. (2025). XSE-TomatoNet: An explainable AI based tomato leaf disease classification method using EfficientNetB0 with squeeze-and-excitation blocks and multi-scale feature fusion. *MethodsX*, 14, 103159.

5. Собко О.В., Кліменко В.І., Мазурець О.В., Залуцька О.О., Гладун О.В. Особливості програмної інженерії та тестування програмного забезпечення для нейромережевого аналізу фотоданих залишків зруйнованих будівель із роботизованої техніки. Науковий журнал «Наука і техніка сьогодні». Київ, 2025. №4 (45). С. 1566-1581.
6. Kharysh I., Sobko O., Mazurets O. Designing CNN Neural Network Model for Detecting Fractures of Lower Extremities by X-ray Images. The Impact of Scientific Research on the Development of the Modern World. Proceedings of the XLIV International scientific and practical conference. October 23-25, 2024. Dubrovnik, Croatia. 2024. Pp. 91-96.
7. Zharnovskyi O., Mazurets O., Sobko O. Approach to Identification of Artificial Intelligence-Generated People Images by Means of Machine Learning. Key Aspects of the Development of Scientific Research in Modern Conditions. Proceedings of the XLV International scientific and practical conference. October 30 – November 1, 2024. Constanta, Romania. 2024. Pp. 69-73.
8. Mazurets O. V., Klimenko V. I., Molchanova M. O., Sultanov A. V. Object-Oriented Intelligent System for Neural Network Detection of Sugar Crystallization Zones. Global Science: Prospects and Innovations. Proceedings of the 10th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. 2024. Pp. 198-207.
9. Мазур С.В., Мазурець О.В., Кліменко В.І., Собко О.В., Залуцька О.О. Алгоритми та програмна архітектура інформаційної системи нейромережевого аналізу постави людини. Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету» серія: Технічні науки. Хмельницький, 2025. №3. Т.1. С. 275-284.
10. Kok I.A., Kadynska V.D., Zalutskia O.O., Mazurets O.V. Object-Oriented Intelligent System for Automated Control of Smoking by Video Data. Current scientific goals, approaches and challenges. Proceedings of IV International Scientific and Theoretical Conference. June 13, 2025. Dresden, Federal Republic of Germany. Pp. 156-164.
11. Hladun O.V., Molchanova M.O., Zalutskia O.O., Mazurets O.V. Effectiveness research of using ViT neural network architecture for classifying the destroyed buildings remains. Achievements of Science and Applied Research. Proceedings of 2nd International Scientific and Theoretical Conference. May 19-21, 2025. Dublin, Ireland. Pp. 96-100.
12. Kaggle.com. Tomato Leaves Dataset. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/ashishmotwani/tomato/data>