

УДК 004.8:[631.3:697.2]

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ КЛІМАТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ В ЗАКРИТОМУ АГРОВИРОБНИЦТВІ

Шеліхов Ю.О. Аксак Н.Г.

e-mail: yurii.shelikhov@nure.ua, nataliia.axak@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. КІТС
м. Харків, Україна

The purpose of this study is to implement climate control systems in closed agricultural production using artificial intelligence. The research focuses on analyzing modern AI technologies for microclimate management in greenhouses and vertical farms, evaluating their efficiency, advantages, and challenges of implementation. Additionally, practical examples of AI applications in the agricultural sector are examined, along with the prospects for the development of automated agrotechnologies. These innovations aim to enhance crop yields, optimize resource utilization, and ensure production stability in the face of climate change.

Актуальність теми зумовлена глобальними викликами агровиробництва, зокрема зміною клімату, зростанням населення та обмеженістю ресурсів. Закриті аграрні системи (теплиці, вертикальні ферми) забезпечують стабільне виробництво продовольства незалежно від погодних умов, проте ефективне управління їхнім мікрокліматом є складним завданням. Традиційні методи контролю клімату базуються на правилах та досвіді оператора, що обмежує їхню адаптивність до змін середовища. Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) дозволяє автоматизувати управління, використовуючи великі обсяги даних із датчиків для прогнозування та оптимізації параметрів мікроклімату в режимі реального часу. Це сприяє підвищенню врожайності, ефективному використанню ресурсів та стабільності виробництва.

Мета дослідження – впровадження ШІ-технологій у кліматичні системи закритого агровиробництва. Робота аналізує сучасні методи ШІ для контролю мікроклімату, оцінює їх ефективність, переваги та виклики впровадження, а також розглядає практичні приклади та перспективи розвитку автоматизованих агротехнологій для підвищення врожайності та оптимізації ресурсів.

Огляд технологій штучного інтелекту у кліматичних системах. Автоматизовані алгоритми керування мікрокліматом теплиць пройшли еволюцію від класичних моделей до ШІ-методів, здатних навчатися на даних і приймати рішення без жорстко заданих правил. До сучасних підходів належать байєсові мережі, методи опорних векторів, нейронні мережі, алгоритми машинного навчання та генетичні алгоритми [1].

Нейронні мережі використовуються для моделювання взаємозв'язку між параметрами середовища та ростом рослин, а алгоритми глибокого навчання аналізують часові ряди кліматичних даних [2]. Функціонування таких систем потребує мережі датчиків (температури, вологості, рівня CO₂, освітленості) та засобів керування (вентиляція, зрошення, обігрів). Інтернет речей (IoT) забезпечує збір даних і автоматичне керування в реальному часі [3].

Гібридні системи поєднують прогнозу аналітику та управління: моделі глибокого навчання передбачають зміни мікроклімату, а оптимізаційні алгоритми визначають найкращі дії (вентиляція, полив тощо) [4]. Використання репрезентативних моделей (surrogate models) дозволяє автоматично знаходити оптимальні налаштування клімату, підвищуючи врожайність і зменшуючи витрати ресурсів [1].

Основні переваги впровадження ШІ. Інтеграція ШІ в управління кліматом агросистем підвищує точність та швидкість контролю. ШІ-алгоритми аналізують дані датчиків і прогнозують зміни мікроклімату, що дозволяє своєчасно коригувати умови вирощування [4]. Наприклад, глибокі нейронні мережі можуть передбачати температуру й вологість теплиці, запобігаючи стресу рослин.

ШІ сприяє оптимізації ресурсів: автоматизоване регулювання зрошення та вентиляції знижує перевитрати води та енергії на 20–30% [4]. У межах міжнародного експерименту Autonomous Greenhouse Challenge (Нідерланди) автономні системи ШІ досягли врожайності, що перевершила результати досвідчених фермерів [1]. Комп'ютерний зір дозволяє відстежувати ступінь зрілості плодів, а системи клімат-контролю мінімізують ймовірність дефектів.

Автоматизація зменшує вплив людського фактора: «розумні» ферми працюють з мінімальним втручанням, знижуючи трудові витрати. Оператори можуть контролювати кілька теплиць одночасно. Крім того, ШІ-системи швидко адаптуються до змін і виявляють аномалії, що сприяє стабільному агровиробництву та зменшенню ризиків втрат урожаю.

Практичні приклади використання. Успішне застосування ШІ для керування кліматом у теплицях продемонстрував Autonomous Greenhouse Challenge (Нідерланди). Команди створили автономні системи управління, що поєднували сенсори, машинне навчання та методи оптимізації. Зокрема, використання глибоких нейронних мереж і навчання з підкріпленням дозволило досягти високої врожайності огірків із мінімальними ресурсозатратами [1]. Це підтвердило ефективність автономного тепличного господарства.

Інший приклад – інтелектуальна система клімат-контролю, розроблена тайваньськими вченими [4]. Вона інтегрує погодні прогнози, моделі мікроклімату та фізіології рослин. Ансамбль згорткових і рекурентних нейронних мереж прогнозує температуру, вологість і фотосинтетичну

активність, а система автоматично регулює подачу води та сонячне затінення. Тестування підтвердило її високу ефективність, що відкриває перспективи для автономних теплиць нового покоління.

Висновок. Штучний інтелект значно підвищує ефективність управління мікрокліматом у закритому агровиробництві, оптимізуючи використання ресурсів та зменшуючи залежність від людського фактору. Проведений огляд підтвердив здатність ШІ вирішувати складні завдання контролю мікроклімату, прогнозування росту рослин та автономного прийняття рішень. Впровадження таких систем сприяє зростанню врожайності та економії ресурсів.

Водночас існують виклики, пов'язані з надійністю та прозорістю алгоритмів ШІ. Подальші дослідження мають зосередитися на пояснюваності рішень ШІ-систем, їх стійкості до неповних або некоректних вхідних даних та адаптивності до змін навколишнього середовища.

Необхідна також стандартизація технологій: розробка єдиних протоколів інтеграції сенсорів та виконавчих механізмів, визначення критеріїв оцінки ефективності ШІ-керування, створення універсальних API та гарантій безпеки даних.

Подальший розвиток цих технологій сприятиме вирішенню проблем продовольчої безпеки та забезпеченню стабільного виробництва у контрольованих екологічних умовах з оптимальними витратами ресурсів.

Список використаних джерел:

1. Silke Hemming, Feije de Zwart, Anne Elings, Isabella Righini, Anna Petropoulou. *Remote Control of Greenhouse Vegetable Production with Artificial Intelligence—Greenhouse Climate, Irrigation, and Crop Production*. // *Sensors*. – 2019. – 19(8). – С. 1807.
2. Аксак Н.Г., Безсонов О.О., Новосельцев І.В., Руденко О.Г. Розпізнавання зміни розміру і кольору зображення на основі згорткової нейронної мережі. *Науково-технічний журнал "Біоніка інтелекту"*. 2018. Т. 2. № 91. С. 114-119. DOI: [https://doi.org/10.30837/bi.2018.2\(91\).17](https://doi.org/10.30837/bi.2018.2(91).17)
3. Shoukat Ahmad Bhat, Nen-Fu Huang, Imtiyaz Hussain et al. *On the Classification of a Greenhouse Environment for a Rose Crop Based on AI-Based Surrogate Models*. // *Sustainability*. – 2021. – 13(21). – С. 12166. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ideas.repec.org/a/gam/jsusta/v13y2021i21p12166-d671932.html>.
4. Lee M-H, Yao M-H, Kow P-Y, Kuo B-J, Chang F-J. An Artificial Intelligence-Powered Environmental Control System for Resilient and Efficient Greenhouse Farming. *Sustainability*. 2024; 16(24):10958. <https://doi.org/10.3390/su162410958>