

КЕРОВАНЕ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛИЦЯМИ: МОЖЛИВОСТІ ТА ВИКЛИКИ В АВТОМАТИЗАЦІЇ

¹Вінницький національний технічний університет, Україна

У статті розглядаються можливості та виклики, пов'язані з автоматизацією управління теплицями на основі штучного інтелекту (ШІ). У сучасному сільському господарстві постають проблеми, зокрема обмеженість орних земель, зміни клімату та необхідність забезпечення продовольством зростаючого населення. ШІ разом із комп'ютерним зором та машинним навчанням дозволяє розвивати більш точне управління в теплицях, що, своєю чергою, сприяє підвищенню врожайності та зниженню витрат ресурсів. Однак автоматизовані системи, особливо в умовах війни в Україні, стикаються з серйозними викликами, такими як залежність від інтернет-з'єднання, ризик втрат врожаю через форс-мажорні обставини та необхідність у високій стійкості до зовнішніх факторів.

В статті представлений аналіз наукових досліджень, які підтверджують потенціал ШІ в управлінні теплицями, а також аналіз існуючих рішень, таких як LUNA від iUNU, AgroFlow та Heliospectra. Рішення LUNA пропонує інтеграцію комп'ютерного зору для моніторингу стану рослин в реальному часі та забезпечує точне управління кліматичними умовами. AgroFlow спеціалізується на оптимізації зрошення та контролює стан ґрунту, а Heliospectra використовує інтелектуальні LED-системи освітлення для максимізації фотосинтезу. Ці технології дозволяють зменшити використання води, добрив та енергії, підвищуючи врожайність на 15-30% у різних умовах.

Окрему увагу автори приділяють викликам, пов'язаним із залежністю від хмарних сервісів та інтернет-з'єднання, що може спричинити перебої в роботі систем. Запропоновані шляхи вирішення включають впровадження локальних систем обробки даних, резервних джерел живлення, технологій альтернативного підключення, таких як супутниковий інтернет, а також розподіл електроживлення теплиці на зони з впровадженням черг.

Загалом, автори відзначають, що розвиток автономних теплиць з ШІ може суттєво покращити показники врожайності та стабільності агровиробництва, зменшуючи залежність від зовнішніх ресурсів і підвищуючи стійкість тепличних систем до зовнішніх факторів, що особливо актуально в умовах надзвичайних ситуацій, таких як війна та природні катастрофи.

Ключові слова: автоматизація, штучний інтелект, теплиці, хмарні технології, стійкість, машинне навчання, управління ресурсами, роботизовані системи.

Вступ

Сучасне сільське господарство стикається з численними викликами, включаючи зміни клімату, обмеженість орних земель та зростання попиту на продовольство. Щоб задовольнити потреби населення, що постійно збільшується, аграрні технології мають еволюціонувати, підвищуючи продуктивність сільськогосподарських культур на обмежених площах. Використання штучного інтелекту (ШІ), машинного навчання та комп'ютерного зору дозволяє оптимізувати управління теплицями, забезпечуючи точне керування процесами на основі даних. Технології, що сприяють автоматизації, спрямовані на підвищення врожайності, зменшення використання ресурсів і зниження людського втручання. Проте, впровадження таких рішень в умовах війни в Україні супроводжується певними викликами, серед яких залежність від інтернет-з'єднання, вразливість до форс-мажорних обставин та необхідність інтеграції систем для автономної роботи.

Аналіз досліджень і публікацій

Аналіз наукових досліджень свідчить про значний потенціал ШІ в аграрному секторі. Matysik [1] стверджує, що впровадження ШІ в теплицях може підвищити врожайність на 10-30%, оскільки автоматизація процесів моніторингу забезпечує більш точне управління умовами вирощування. Fisher [2] зазначає, що використання автоматизованих систем знижує витрати на управління теплицями на 20-40% завдяки скороченню ручної праці на 30%. Водночас, Hoseinzadeh

та Garcia [3] підкреслюють, що природні катастрофи можуть призвести до втрати врожаю до 60%, що вказує на необхідність розробки стійких систем для зменшення таких ризиків.

Невирішені проблеми

Хоча AI-технології допомагають ефективно керувати процесами, залишаються невирішені проблеми, такі як залежність від хмарних рішень сторонніх компаній. Проблеми відсутності інтернету або форс-мажорні ситуації (наприклад, довготривала відсутність електроенергії) ставлять під загрозу стабільність таких систем. При їхній втраті, до 60% врожаю може бути під загрозою через неможливість моніторингу та своєчасної корекції умов вирощування.

Hoseinzadeh та Garcia [3] зазначають, що стійкість до зовнішніх факторів має бути врахована при проектуванні таких систем, щоб забезпечити їх безперервну роботу навіть у екстремальних умовах.

Мета дослідження

Аналіз ключових особливостей та можливостей поточних світових технологій автоматизації теплиць на базі ШІ для подальшого пошуку та більш глибокого аналізу готових рішень, їх переваг, недоліків, актуальних викликів та потреб у інноваціях та оптимізації.

Також у дослідженні проводиться аналіз 3х сучасних рішень для автоматизації теплиць, таких як LUNA від iUNU, Heliospectra та AgroFlow. Вивчається їхня залежність від наявності доступу до хмарного сервісу, наявності можливості автономної роботи та інтеграції систем аварійного оповіщення персоналу.

Основні результати

Діаграма (рис.1) ілюструє способи використання алгоритмів ШІ для уникнення стресових станів, викликаних різними факторами, такими як: 1) управління ресурсами, 2) технічні збої у обладнанні, 3) стихійні лиха, 4) надзвичайні погодні умови, 5) шкідники рослин, 6) хвороби рослин, 7) потреба у терміновому оповіщенні персоналу.

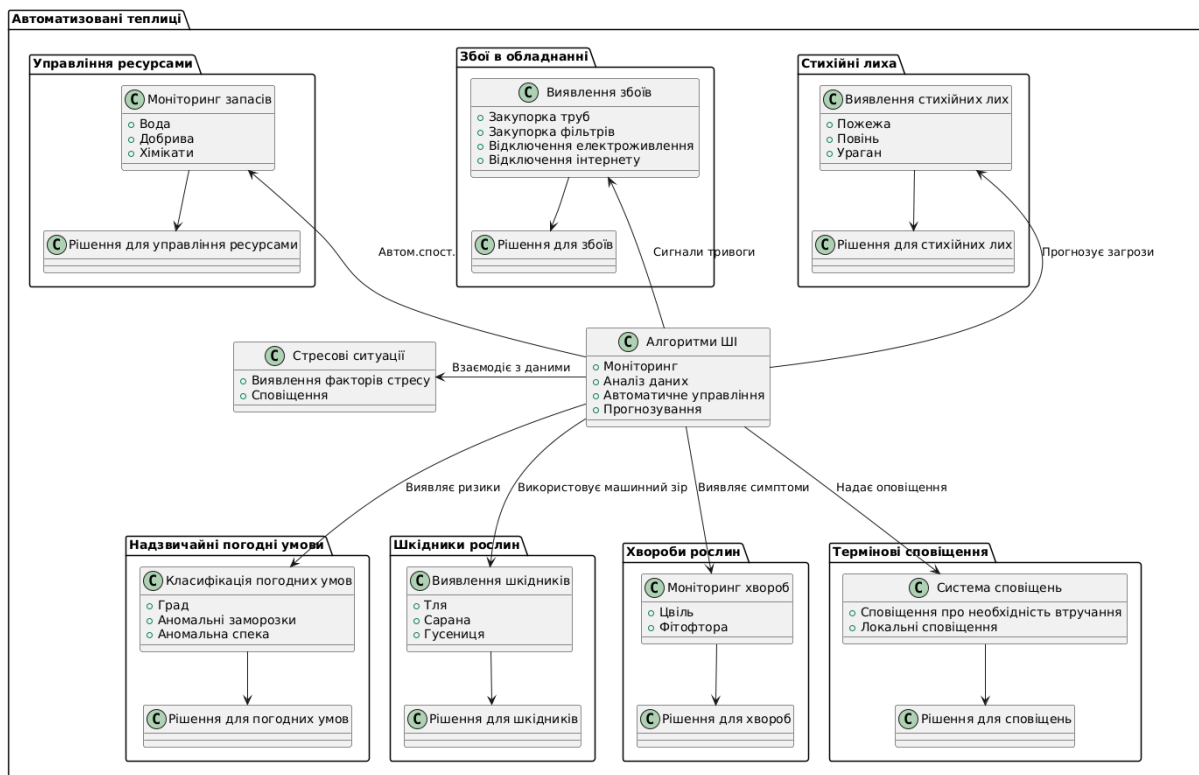


Рис. 1. UML діаграма ключових особливостей використання алгоритмів ШІ у автоматизованих теплицях

Сучасні технології ШІ вміють: 1) виявляти різні ризики, 2) використовують машинний зір для аналізу та прийняття рішень, 3) виявляти симптоми рослин за допомогою машинного навчання, 4) вчасно надавати оповіщення персоналу, 5) вести автоматичне спостереження за допомогою

сенсорів, дронів, 6) подавати сигнали тривоги і навіть самостійно усувати їх причини, 7) прогнозують зовнішні кліматичні загрози.

Таблиця 1. Оцінка поточних технологій автоматизації теплиць на базі ШІ для рішень LUNA, AgroFlow та Heliospectra

Аналіз сучасних рішень	LUNA	AgroFlow	Heliospectra
Оцінка поточних технологій	Автономний клімат контроль за допомогою ШІ та комп'ютерний зір для моніторингу рослин в реальному часі та аналізу їх стану, що дозволяє виявляти проблеми на ранніх етапах та прогнозувати врожай	Інструменти для оптимізації процесів зрошення та внесення добрив, які базуються на аналізі характеристик ґрунту та кліматичних умов у відкритому чи закритому ґрунті	Інтелектуальні LED-системи освітлення, які автоматично налаштовуються для оптимізації фотосинтезу та розвитку рослин
Кількісне покращення роботи теплиць через впровадження ШІ	<p>1. Збільшення врожайності: на Pure Green Farms впровадження оптимізованого зрошення LUNA призвело до збільшення врожайності рослин на 14%. Це було досягнуто завдяки забезпеченню рівномірного росту завдяки точному регулюванню зрошення, усуненню попередніх втрат 2% врожаю.</p> <p>2. Економія часу: шляхом автоматизованого підрахунку проростання одна теплиця повідомила про економію 973 годин на рік. Ця економія часу дозволяє виробникам зосередитися на більш важливих завданнях, а не на ручному зборі даних.</p> <p>3. Зменшення витрат: на фермах Bushel Boy Farms LUNA дозволила знизити витрати на добрива на 10%, надаючи детальні дані про врожай у реальному часі, що дозволило</p>	<p>1. Моніторинг і прогнозування врожайності: використовуючи супутникові зображення та датчики на техніці, система AgroFlow надає точні дані про врожайність, рівень вологості та мінливість полів, допомагаючи фермерам підвищити продуктивність на 15-20%.</p> <p>2. Моніторинг здоров'я врожаю: використання NDVI (нормалізований індекс різниці рослинності) дозволяє відстежувати стан врожаю в реальному часі. Це може призвести до зниження втрат врожаю на 10-15% порівняно з традиційними методами.</p> <p>3. Внесення із змінною нормою (VRA): автоматизоване внесення хімікатів, гербіцидів і насіння за допомогою датчиків і даних GPS забезпечує</p>	<p>1. Енергоефективність: світлодіоди споживають приблизно на 40% менше енергії порівняно з традиційними лампами HPS.</p> <p>2. Термін служби: високоякісні світлодіоди служать 50 000-100 000 годин, що значно довше, ніж традиційні лампи.</p> <p>3. Вартість: Початкові інвестиції в світлодіоди вищі, але експлуатаційні витрати нижчі через економію енергії та обслуговування.</p> <p>4. Теплова потужність: світлодіоди виробляють набагато менше тепла, зменшуючи потребу в охолодженні до 50%.</p> <p>5. Контроль спектру: світлодіоди дозволяють точно контролювати спектр світла, підвищуючи якість врожаю.</p> <p>Порівняння врожайності:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Високоякісні світлодіоди, такі як

	<p>точніше розподіляти ресурси.</p> <p>4. Точність керування культурами: Bushel Boy Farms також отримали переваги від покращеного керування культурами, зокрема завдяки кращому контролю за висотою ферми від головки до цвітіння, що допомагає оптимізувати виробничі процеси</p>	<p>точне використання матеріалу, потенційно знижуючи витрати на хімікати на 5-10%, зберігаючи при цьому якість і врожайність.</p> <p>4. Автоматизація: інтеграція AgroFlow робототехніки та систем навігації GPS забезпечує кращу точність у таких завданнях, як боротьба з бур'янами та посів насіння, ще більше підвищуючи ефективність і знижуючи витрати на оплату праці до 30%.</p>	<p>MITRA, продемонстрували здатність підвищувати врожайність, прискорювати виробництво та покращувати якість врожаю.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bridge Farm Group: досягнуто густішої рослинності, швидшого виробництва на 10 днів і більшої кількості горщиків за цикл за допомогою індивідуального спектру MITRA. • Грінбелт Мікрогрінс (Онтаріо): врожайність збільшилася на 13% завдяки освітленню Heliospectra.
Залежності від інфраструктури	Так, вимагає доступ до хмарного сервісу для обробки та аналізу даних	Не вимагає доступу до хмарного сервісу, оскільки може працювати локально	Так, вимагає доступ до хмарного сервісу для синхронізації й управління системами освітлення
Автономна версія рішення	Ні, потрібне постійне з'єднання з інтернетом для повноцінного функціонування	Є автономна версія, яка не потребує постійного інтернет-з'єднання	Ні, потрібне постійне з'єднання з інтернетом для повної інтеграції системи управління освітленням
Наявність системи аварійного оповіщення	Так, сповіщає про проблеми з рослинами в реальному часі, якщо виявлено будь-які аномалії	Не має автоматизованої системи аварійного оповіщення	Так, система автоматично сповіщає про зміни або проблеми з освітленням для підтримки оптимальних умов вирощування

Аналіз готових рішень показав, що системи управління теплицями на основі ШІ можуть суттєво підвищити ефективність аграрного виробництва. Наприклад, LUNA від iUNU використовує комп'ютерний зір для виявлення проблем з рослинами в режимі реального часу, що дозволяє прогнозувати та оптимізувати умови вирощування і зменшити використання ресурсів, таких як вода і добрива, на 15-25% [5].

Технології інтелектуального освітлення Heliospectra [6] забезпечують адаптивне регулювання світла залежно від потреб рослин, що дозволяє збільшити врожайність на 20-30%.

Система з ШІ AgroFlow [7] дозволяє проводити точковий моніторинг ґрунту на глибину до 60см для прийняття рішень про зволоження, внесення добрив та прогнозувати врожайність. Використовуючи супутникові зображення та виміри характеристик ґрунту та кліматичних умов рішення має потенціал підвищити врожай на 15-20%. AgroFlow не вимагає доступу до хмарного сервісу, оскільки може працювати локально від вбудованого акумулятора.

Основні виклики пов'язані із залежністю сучасних систем від стабільного інтернет-з'єднання та хмарних технологій, що робить їх вразливими до форс-мажорних обставин, таких як перебої в електропостачанні або природні катастрофи. У разі відсутності інтернет-з'єднання хмарні рішення [5] та [6] не можуть забезпечувати належний моніторинг умов вирощування, що може призвести до стресу рослин та зниження їх продуктивності. Крім того, існує ризик кібератак, що може вплинути на роботу систем або призвести до компрометації даних.

Для підвищення стійкості автоматизованих систем пропонується впровадження локальних рішень з обробки даних, що забезпечують автономну роботу навіть за відсутності доступу до мережі. Наприклад, дослідження Zhu та Shang [4] показало, що впровадження локальної обробки даних дозволяє зменшити ризики втрати даних на 80% у разі перебоїв з інтернетом або електропостачанням. Важливим компонентом автономних систем є резервні джерела живлення, такі як сонячні батареї або дизельні генератори, які можуть забезпечувати безперервну роботу систем.

Системи аварійного оповіщення, інтегровані з локальними рішеннями, можуть знизити ризик втрати врожаю на 20-30% завдяки своєчасному інформуванню персоналу про проблеми.

Для підвищення стабільності теплиць також рекомендується використовувати технології альтернативного підключення, такі як супутниковий інтернет, однак навіть такі рішення потребують резервного електропостачання для забезпечення стабільної роботи.

Коливання потужності в мережі можуть обмежити можливості для підтримання оптимального мікроклімату, що вимагає впровадження рішень з енергоефективності та альтернативного живлення. Серед найбільш ефективних підходів оптимізації є розподіл електроживлення теплиці на зони або секції, що активуються послідовно відповідно до потреб у певний час. Такий підхід дозволяє контролювати енерговитрати й забезпечувати необхідні процеси поступово.

Критично важливою частиною оптимізації є впровадження окремого джерела живлення для блока з контролером теплиці, який збирає дані про стан клімату та передає їх на сервер або оператору. Це забезпечує можливість корекції клімату в ручному режимі за допомогою електро незалежних пристроїв під час відключення електроенергії в мережі та при наявності обмежень у системі альтернативних джерел живлення.

Висновки

Виявлено залежність від інтернет-з'єднання та хмарних сервісів у деяких сучасних рішеннях розумних теплиць з ШІ, що створює значні ризики при використанні в умовах України, та може призвести до втрати до 60% врожаю від заморозків та інших зовнішніх чинників. Для підвищення надійності виробникам цих рішень бажано розробити комбіновані системи, які можуть працювати як в автономному режимі, так і через хмару. Розробка стійких комбінованих систем може зменшити ці втрати до 0-20% у форс-мажорних ситуаціях.

Використання резервних джерел живлення, розподіл живлення на черги та впровадження аварійних систем оповіщення є критично важливими для забезпечення безперервної роботи розумних теплиць.

Необхідно провести більш глибокий аналіз готових рішень розумних теплиць, їх переваг, недоліків, актуальних викликів та потреб оптимізації. Для цього необхідно провести дослідження технологічних можливостей та досвіду впровадження рішень розумних теплиць провідними виробниками з України та світу. Зробити порівняльний аналіз провідних рішень розумних теплиць різних моделей, типів та розмірів:

1. Теплиці з автоматизованим контролем клімату
2. Теплиці з системами автоматичного поливу
3. Теплиці з використанням ШІ для прогнозування та прийняття рішень
4. Теплиці з системами машинного зору
5. Автономні теплиці
6. Вертикальні теплиці
7. Малі, середні та великі теплиці
8. Теплиці з багаторівневими, децентралізованими розподіленими системами керування

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Matysik, N. Opportunities and Obstacles of AI in Greenhouse Management. *Greenhouse Grower*, 2024. URL: <https://www.greenhousegrower.com/technology/opportunities-and-obstacles-of-ai-in-greenhouse-management/>

- [2] Fisher, L. Why It's Time to Start Using Artificial Intelligence in Your Greenhouse. *Greenhouse Grower*, 2023. URL: <https://www.greenhousegrower.com/technology/why-its-time-to-start-using-artificial-intelligence-in-your-greenhouse/>
- [3] Hoseinzadeh, S., & Garcia, D. A.. AI-driven innovations in greenhouse agriculture: Reanalysis of sustainability and energy efficiency impacts. *Energy Conversion and Management*, 2024 URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100701>
- [4] Zhu, M., & Shang, J. Remote Monitoring and Management System of Intelligent Agriculture under the Internet of Things and Deep Learning. *ResearchGate*, 2022 URL: https://www.researchgate.net/publication/360811964_Remote_Monitoring_and_Management_System_of_Intelligent_Agriculture_under_the_Internet_of_Things_and_Deep_Learning
- [5] LUNA by iUNU. AI-Based Computer Vision Solutions for Greenhouses. *iUNU*. URL: <https://iunu.com/>
- [6] Heliospectra. Intelligent LED Grow Lights and Control Systems for Optimal Plant Growth. *Heliospectra*. URL: <https://heliospectra.com/>
- [7]. AgroFlow. AgroFlow Solutions. URL: <https://logger.agroflowsystem.com/>

O.I. Suvorin¹
V.V. Kabachiy¹

AI-DRIVEN GREENHOUSE MANAGEMENT: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES IN AUTOMATION

¹Vinnitsia National Technical University

The article discusses the opportunities and challenges associated with the automation of greenhouse management based on artificial intelligence (AI). Modern agriculture faces problems such as limited arable land, climate change and the need to ensure food security for a growing population. AI combined with computer vision and machine learning enables more precise management in greenhouses, which in turn contributes to higher yields and lower resource costs. However, automated systems face significant challenges, especially in the context of the war in Ukraine. These include dependence on internet connectivity, the risk of crop failure due to force majeure and the need for high resilience to external factors.

The article includes an analysis of scientific research confirming the potential of AI in greenhouse management, as well as an examination of existing solutions such as LUNA by iUNU, AgroFlow and Heliospectra. The LUNA solution integrates computer vision for real-time monitoring of plant conditions, enabling precise management of climatic conditions. AgroFlow specializes in optimizing irrigation and monitoring soil conditions, while Heliospectra uses intelligent LED lighting systems to maximize photosynthesis. These technologies reduce the use of water, fertilizers and energy and increase yields by 15-30% under different conditions.

The authors pay particular attention to the challenges associated with dependence on cloud services and internet connectivity, which can lead to interruptions in system operation. Proposed solutions include implementing local data processing systems, backup power sources, alternative connectivity technologies such as satellite internet and dividing the greenhouse power supply into zones with implemented queues.

Overall, the authors conclude that the development of autonomous greenhouses with AI can significantly improve the yield performance and stability of agricultural production, reduce dependence on external resources and increase the resilience of greenhouse systems to external factors, which is particularly important in emergencies such as war and natural disasters.

Keywords: automation, artificial intelligence, greenhouses, cloud technologies, sustainability, machine learning, resource management, robotic systems.

Suvorin Oleg Igorovich - Post-Graduate Student the Chair of Automation and intelligent information technologies, e-mail: bestwebdoctors@gmail.com

Kabachiy Vladyslav V. — Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Chair of Automation and Information-Measuring Equipment, e-mail: kabachij.v.v@vntu.edu.ua