Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference «Society and Science: Interconnection»
(February 16-18, 2025).
Porto, Portugal

No 235

BUSINESS ECONOMICS

Впровадження цифрових рішень у тепличному господарстві

Якимчук Віталій Юрійович[1]

[1] аспірант кафедри «Бізнес-економіки та підприємництва»;
КНЕУ ім. Вадима Гетьмана; Україна

Анотація. Стаття розглядає впровадження цифрових технологій у тепличне господарство для підвищення ефективності та конкурентоспроможності, зокрема використання IoT, Big Data та автоматизованих систем управління. IoT-датчики допомагають моніторити мікроклімат теплиць, оптимізуючи витрати на воду, енергію та добрива. Окремо аналізуються можливості Big Data для прогнозування врожайності, оптимізації посівів і управління ризиками, що сприяє зниженню витрат і підвищенню якості продукції. Водночас розглядаються виклики, зокрема висока вартість технологій і потреба в спеціалізованих знаннях. Цифровізація є важливим чинником для розвитку галузі та підвищення конкурентоспроможності.
Ключові слова: *тепличне господарство, цифрові технології, IoT, Big Data, автоматизація.*

Вступ. Зростання населення планети, що очікується до понад 9 мільярдів людей до 2050 року, створює серйозні виклики для сільського господарства, оскільки попит на продукти харчування постійно зростає. Традиційні методи ведення аграрного виробництва вже не можуть забезпечити задоволення цих потреб без значних змін. Водночас, із збільшенням попиту на ресурси, виникає необхідність в оптимізації аграрного виробництва для підвищення його ефективності та сталості.

Паралельно зростають негативні наслідки зміни клімату, що проявляються у непередбачуваних погодних умовах, підвищених температурах і змінених рівнях опадів. Це створює додаткові ризики для врожаю, ускладнює прогнозування врожайності та збільшує економічні втрати для фермерів. Зміна клімату також ставить під сумнів ефективність традиційних методів землеробства, що потребує запровадження нових технологій для адаптації до змінюваних умов навколишнього середовища.

Одним з таких інноваційних підходів є впровадження цифрових рішень у сільське господарство, зокрема в тепличне господарство. Технології автоматизації, Інтернет речей (IoT) та Big Data надають можливості для точного контролю умов вирощування рослин, що дозволяє значно зменшити витрати на

This work is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

ресурси та збільшити продуктивність. Цифрові рішення відкривають нові горизонти для підвищення ефективності аграрного виробництва та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище [1].

Інтернет речей, як рушійний елемент оптимізації витрат ресурсів і забезпечення максимальної продуктивності тепличного господарства

Однією з ключових відповідей на виклики розвитку та удосконалення тепличного господарства є впровадження технологій інтернету речей (IoT), які дозволяють автоматизувати процеси, роблячи їх більш точними та екологічно ефективними. Сенсори IoT забезпечують детальний моніторинг умов середовища, таких як температура, вологість, освітленість та вміст поживних речовин у ґрунті. Це дозволяє аграріям вчасно виявляти проблеми, оптимально планувати зрошення, освітлення, якість повітря, внесення добрив та боротьбу зі шкідниками, зменшуючи втрати врожаю та надлишкове використання ресурсів.

Інтеграція IoT також сприяє значному скороченню негативного впливу на екосистеми. Використання точних даних допомагає уникнути перевитрати води й добрив, що знижує ризик забруднення довкілля, зокрема водних ресурсів. Ця технологія також сприяє скороченню викидів парникових газів, адже підвищує ефективність використання енергії. Завдяки цьому тепличне господарство стає більш продуктивним, стійким і готовим до викликів майбутнього.

Сільське господарство залишається основою цивілізації, однак потребує адаптації до зростаючої кількості населення, змін клімату та екологічних викликів. Очікується, що до 2050 року виробництво їжі має зрости на 70%. Для цього необхідні інноваційні технології, такі як IoT, робототехніка та автоматизація. Ринок технологій IoT стрімко розширюється, демонструючи зростання з $18.12 млрд у 2021 році до прогнозованих $43.37 млрд у 2030.

Архітектура IoT для тепличного господарства складається з чотирьох основних рівнів:

1. Рівень сприйняття в IoT-архітектурі теплиць збирає дані про вологість ґрунту, температуру та освітлення. Сенсори передають інформацію виконавчим пристроям, які автоматично коригують процеси, наприклад, активуючи полив за потребою. Це економить воду та підтримує оптимальні умови для рослин. Дані надходять на хмарні платформи для аналізу, що забезпечує гнучке управління, підвищує врожайність і знижує витрати. IoT-технології сприяють стійкому розвитку агросфери,

This work is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

покращуючи продуктивність.

2. Мережевий рівень у IoT-системах теплиць передає дані між датчиками, системами управління та центрами обробки. Використовує Wi-Fi, мобільні мережі та LPWAN для швидкої передачі даних у реальному часі. Гарантує надійний зв'язок для автоматичного контролю параметрів середовища. Вибір технологій залежить від умов теплиці та вимог до покриття й енергоспоживання.

3. Хмарний рівень зберігає, обробляє та аналізує дані з датчиків і пристроїв, забезпечуючи доступ у реальному часі. Алгоритми аналізу, включаючи машинне навчання, допомагають прогнозувати врожайність і автоматизувати полив чи внесення добрив. Також забезпечує безпеку й резервне копіювання даних.

4. Рівень застосувань – це інтерфейс для доступу користувачів до даних та управління системами. Панелі та додатки дають змогу моніторити умови вирощування, налаштовувати процеси й отримувати сповіщення. Інтерактивні інтерфейси дозволяють швидко реагувати, оптимізуючи витрати та підвищуючи врожайність. [2]

Ця архітектура створює основу для ефективного управління ресурсами та оптимізації сільськогосподарських процесів.

Вже зараз IoT виконує наступні функції у тепличному господарстві:

1. Моніторинг мікроклімату в тепличному господарстві включає контроль температури, вологості та освітлення для створення оптимальних умов росту рослин. Системи IoT використовують сенсори для постійного збору даних, що дозволяє фермерам підтримувати потрібні параметри середовища в реальному часі.

2. Автоматизоване управління зрошенням і внесенням добрив забезпечує точний контроль над процесами поливу та живлення рослин, використовуючи сенсори для визначення рівня вологості та потреби у поживних речовинах.

3. Виявлення хвороб і шкідників за допомогою сенсорів дозволяє вчасно реагувати на загрози і вживати необхідні заходи для захисту рослин. Сенсори можуть фіксувати зміни в умовах навколишнього середовища та сигналізувати про потенційні проблеми, що дає змогу фермерам швидко діагностувати ситуацію.

4. Збір та аналіз даних для прогнозування врожайності дозволяє фермерам планувати агропроцеси і оптимізувати витрати у реальному часі. Це забезпечує можливість своєчасної адаптації стратегій управління та покращення продуктивності тепличного господарства.

This work is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

На сьогодні, у розумному тепличному господарстві застосовують наступні групи сенсорів для моніторингу його роботи:

1. **Сенсори вологості** — вимірюють рівень вологи в ґрунті, що дозволяє автоматизовано регулювати полив. Це допомагає уникнути надмірного зволоження або пересихання ґрунту, забезпечуючи оптимальні умови для рослин.

2. **Сенсори NPK** — визначають концентрацію азоту, фосфору та калію в ґрунті, що необхідно для правильного живлення рослин. Це дозволяє регулювати внесення добрив для підтримки балансу поживних речовин.

3. **Сенсори температури та вологості повітря** — моніторять мікроклімат у теплиці для підтримки оптимальних умов росту. Вони допомагають контролювати температурні коливання та вологість, що важливо для запобігання захворюванням рослин.

4. **Датчики світла** — вимірюють інтенсивність освітлення, щоб забезпечити достатню кількість світла для фотосинтезу. Вони допомагають автоматично регулювати штучне освітлення, коли природного світла недостатньо.

5. **Сенсори pH** — перевіряють кислотно-лужний баланс ґрунту для оптимізації умов росту рослин. Ці сенсори допомагають визначити, чи потрібні корекції у складі добрив чи обробках ґрунту.

6. **CO2 сенсори** — контролюють рівень вуглекислого газу, що впливає на процес фотосинтезу. Це дозволяє підтримувати ідеальні умови для росту рослин та підвищення врожайності.

7. **Датчики якості повітря** — відстежують наявність шкідливих речовин у повітрі, що може запобігти розвитку хвороб і появі шкідників. Вони допомагають своєчасно реагувати на погіршення умов і забезпечувати здоров'я рослин.

Отже, IoT у тепличному господарстві забезпечує точний моніторинг умов середовища, що допомагає ефективно управляти ресурсами, знижувати витрати на водопостачання та добрива, а також підвищувати врожайність і зменшувати ризики хвороб рослин. Однак, впровадження цієї технології супроводжується високими початковими витратами, складністю інтеграції з існуючими системами, необхідністю навчання персоналу та потенційними проблемами зі зв'язком у віддалених місцях.

Big Data та їх аналіз для прогнозування врожаїв, оптимізації посівів і планування продажів.

Big Data у тепличному господарстві включають дані від сенсорів, камер і погодних станцій, що вимірюють умови вирощування. Швидке оновлення дозволяє в реальному часі відстежувати зміни температури, вологості та освітлення.

This work is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Різноманітність інформації – від біологічних показників до ринкових прогнозів – забезпечує комплексний підхід, проте важлива висока достовірність даних для правильних рішень[5].

Прогнозування врожаїв у тепличному господарстві за допомогою Big Data базується на аналізі історичних даних про клімат, добрива та врожайність. Штучний інтелект виявляє патерни, що дозволяють точно прогнозувати обсяги та якість врожаю. Моделі передбачають кількість зібраної продукції та ризики зниження її якості через несприятливі фактори. Оптимізація посівів включає аналіз умов вирощування для вибору найкращих параметрів – щільності посіву, вологості ґрунту та часу посадки. Дані про витрати ресурсів допомагають ефективно розподіляти воду, добрива й енергію. Системи моніторингу виявляють ризики, такі як шкідники чи несприятлива погода, забезпечуючи своєчасне реагування. [4].

Big Data у комерційній частині тепличного господарства використовується для прогнозування попиту через аналіз ринкових трендів, споживчих вподобань і сезонності. Це допомагає коригувати обсяги вирощування, мінімізувати перевиробництво й максимізувати прибутки. Оптимізація логістики включає вибір маршрутів і умов зберігання для зменшення втрат, а також адаптивне ціноутворення та таргетований маркетинг. Це підвищує конкурентоспроможність і спрощує вихід на нові ринки. Впровадження Big Data робить управління точним і проактивним, покращуючи контроль умов вирощування, що сприяє підвищенню врожайності та якості продукції.

Найбільш відомими кейсами застосування Big Data є:

– прогнозування врожаїв у Нідерландах. Тепличні господарства Нідерландів використовують платформи, як-от Climate FieldView і HortiMaX, для аналізу даних про вологість, температуру, рівень CO_2 і освітлення. Завдяки об'єднанню історичних даних та штучного інтелекту вони досягають точного прогнозування врожайності та якості продукції. Це дозволило значно підвищити продуктивність, мінімізувати втрати через перевиробництво та знизити витрати на енергію [6].

– **біологічний контроль шкідників в Ізраїлі.** Ізраїль є лідером у використанні біологічних методів контролю шкідників у тепличному господарстві. Один з успішних прикладів — використання **Phytoseiulus persimilis**, хижого кліща, для боротьби з павутинним кліщем на томатах. Ці біологічні агенти вводяться в тепличне середовище, де вони націлені на знищення популяцій шкідників без застосування хімічних пестицидів. Цей метод виявився особливо ефективним в органічному

This work is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

землеробстві, сприяючи отриманню здоровіших культур і більш сталому сільському господарству[7].

- оптимізація ресурсів у США. Компанія BrightFarms застосовує аналіз Big Data для управління водними ресурсами та добривами. Використовуючи платформи на основі IoT, вони відстежують витрати ресурсів у реальному часі, оптимізуючи їхнє використання. Це дозволило скоротити споживання води на 40%, забезпечуючи при цьому стабільно високу врожайність.

Ці приклади демонструють, як різні країни застосовують Big Data для вирішення конкретних проблем і досягнення високої ефективності у тепличному господарстві. Використання Big Data у тепличному господарстві відкриває великі перспективи для підвищення ефективності та стійкості виробництва. Аналіз даних дозволяє прогнозувати врожаї, оптимізувати ресурси, зменшувати ризики та адаптуватися до змін ринку, забезпечуючи конкурентну перевагу. У майбутньому роль Big Data буде лише зростати, особливо у зв'язку з розвитком штучного інтелекту, Інтернету речей (IoT) і автоматизації, що створить ще більше можливостей для підвищення продуктивності тепличних господарств.

Автоматизація. Що зроблено і які тренди подальшого вдосконалення чекають на галузь у найближчому майбутньому.

Автоматизація у тепличному господарстві підвищує ефективність, стабільність врожаїв і знижує людську участь. Вона забезпечує контроль клімату, водних ресурсів і поживних речовин, мінімізуючи помилки та витрати. Системи автоматично реагують на зміни, підтримуючи якість продукції та сприяючи сталому розвитку. Автоматичний полив і контроль температури знижують витрати, а роботизовані системи збору врожаю підвищують продуктивність і зменшують залежність від сезонної робочої сили.

Досягнення автоматизації включають IoT-системи моніторингу клімату, що забезпечують безперервний збір даних і оптимізацію умов у реальному часі. Це підвищує ефективність, знижує енергетичні та водні витрати та покращує управління теплицями. [8]. Іншим важливим досягненням є використання роботизованих систем для автоматичного поливу, обробки рослин і збору врожаю, що значно знижує потребу в ручній праці і підвищує точність виконання робіт. Ці роботи можуть автоматично контролювати процеси на всіх етапах росту рослин, включаючи обробку та збори, що веде до зменшення витрат на персонал і зниження ризиків помилок.

Один з провідних трендів сьогодення в автоматизації тепличного господарства є інтеграція штучного інтелекту (ШІ)

This work is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

та машинного навчання для прогнозування умов вирощування та оптимізації витрат на ресурси. Ці технології дозволяють аналізувати великі обсяги даних, що зібрані з датчиків та сенсорів, для точного прогнозування змін в умовах середовища та потреб рослин. Використання роботів і дронів дозволяють збирати врожай з високою точністю, знижуючи втрати та забезпечуючи більшу ефективність на всіх етапах процесу. Розвиток автономних систем зберігання та транспортування продукції всередині теплиці також стає важливою частиною автоматизації, оскільки ці системи можуть самостійно переміщати продукти до місць зберігання або відправлення, що мінімізує потребу в ручній праці та оптимізує логістичні процеси[9].

Технології майбутнього у тепличному господарстві включають розвиток автономних теплиць, де всі процеси — від моніторингу клімату до збору врожаю — здійснюються без участі людини. Ці теплиці зможуть самостійно регулювати умови для рослин за допомогою інтелектуальних систем. Розвиток інтегрованих систем для зменшення втрат продукту є ще однією важливою технологією майбутнього. Поліпшення логістики через автоматизовані системи збору, транспортування та зберігання продукції допоможе знизити втрати і забезпечить більш швидку доставку свіжих продуктів на ринки.

Висновки. Впровадження цифрових технологій у тепличне господарство є важливим кроком до підвищення ефективності аграрного виробництва. Інтернет речей (IoT) та технології Big Data дозволяють точно контролювати умови вирощування, знижуючи витрати на ресурси та підвищуючи врожайність. Однак, для широкого впровадження цих технологій необхідні значні інвестиції та висококваліфікований персонал.

Автоматизація процесів у тепличному господарстві сприяє оптимізації використання води, енергії та добрив, що знижує екологічний вплив і підвищує продуктивність. За допомогою сучасних технологій стає можливим прогнозування врожайності, планування посівів і адаптація до змінних умов навколишнього середовища. Це забезпечує аграріям гнучкість у прийнятті рішень та дозволяє знижувати ризики при несприятливих погодних умовах.

Майбутнє тепличного господарства залежить від подальшого розвитку цифрових рішень, що дозволяють зменшити витрати і підвищити ефективність виробництва. Використання IoT, Big Data та автоматизації та автономності відкриває нові можливості для сталого розвитку та збереження ресурсів. Ці технології вже сьогодні демонструють позитивні результати, і

This work is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

їхнє впровадження буде сприяти зміцненню конкурентоспроможності галузі на глобальному ринку.

References:

[1] Th Onchoila Maring, Nang Priyanka Langkhun, Snata Kaushik Recent Trends in Agriculture 2023 Chapter: The Role of Digital Technologies in Agriculture (pp.371-421) URL: https://www.researchgate.net/publication/381655215_The_Role_of_Digital_Technology_in_Agriculture (дата звернення: 30.01.2025)
[2] Morchid A. et al. Applications of internet of things (IoT) and sensors technology to increase food security and agricultural Sustainability: Benefits and challenges //Ain Shams Engineering Journal. – 2024. – Т. 15. – № . 3. – С. 102509. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447923003982 (дата звернення: 30.01.2025)
[3] Salam A. Internet of things in agricultural innovation and security //Internet of Things for Sustainable Community Development: Wireless Communications, Sensing, and Systems. – Cham : Springer International Publishing, 2024. – URL: С. 71-112. https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1027&context=cit_articles (дата звернення: 30.01.2025)
[4] Zhang Y. Application of big data in smart agriculture //Advances in Resources Research. – 2024. – Т. 4. – № . 2. – С. 221-230. URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/arr/4/2/4_221/_pdf/-char/ja (дата звернення: 30.01.2025)
[5] Wang B. Smart Farming Using the Big Data-Driven Approach for Sustainable Agriculture with IOT: Deep Learning Techniques //Scalable Computing: Practice and Experience. – 2024. – Т. 25. – № . 2. – С. 675-682. URL: https://scpe.org/index.php/scpe/article/view/2540 (дата звернення: 30.01.2025)
[6] Climate FieldView™ does the listening so you can get the most out of every acre URL: https://climate.com/ (дата звернення: 30.01.2025)
[7] Israeli Scientistis Develop a Unique Pest Control Method URL: https://israelagri.com/israeli-scientistis-develop-a-unique-pest-control-method/ (дата звернення: 30.01.2025)
[8] Ahmed N. et al. Advancing horizons in vegetable cultivation: a journey from ageold practices to high-tech greenhouse cultivation—a review //Frontiers in Plant Science. – 2024. – Т. 15. – С. 1357153. URL: https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1357153/full (дата звернення: 30.01.2025)
[9] Janbandhu M. S. et al. Advances and Emerging Trends in Horticultural Production and Management //Journal of Experimental Agriculture International. – 2024. – Т. 46. – № . 3. – С. 47-69. URL: http://research.manuscritpub.com/id/eprint/3975/1/Mehta4632024JEAI112176.pdf (дата звернення: 30.01.2025)

This work is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).