

*Портянова Вікторія,*  
*здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти*  
*Навчально-науковий інститут біотехнологій та аквакультури*  
*Науковий керівник: Наконечна Оксана,*  
*кандидат технічних наук,*  
*доцент кафедри інформаційних технологій,*  
*Одеський державний аграрний університет,*  
*м. Одеса, Україна*

## **АЛГОРИТМИ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМИ ТЕПЛИЦЯМИ НА ФЕРМАХ**

**Вступ.** В умовах швидкого зростання населення та змін клімату, сільське господарство стикається з новими викликами, такими як зниження родючості ґрунтів і потреба в підвищенні продуктивності сільськогосподарських культур. Впровадження автоматизованих систем управління в агрономії, зокрема в автоматизованих теплицях, стає важливим кроком у напрямку оптимізації виробничих процесів. Такі системи дозволяють підтримувати контрольовані умови для вирощування рослин, забезпечуючи максимальну ефективність використання ресурсів і зменшуючи потребу в ручній праці. Актуальність теми також підкреслюється зростаючим інтересом до технологій Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту та машинного навчання, які відкривають нові можливості для моніторингу і управління агрономічними процесами.

**Метою дослідження** є аналіз алгоритмів, що використовуються для управління автоматизованими теплицями на фермах, а також вивчення їх впливу на підвищення ефективності виробництва. Дослідження спрямоване на виявлення найефективніших алгоритмічних рішень для контролю параметрів середовища, таких як температура, вологість, освітлення і вміст вуглекислого газу, а також оцінку їх здатності адаптуватися до змін умов зростання рослин.

Для досягнення поставленої мети визначено такі **завдання**: розглянути основні принципи роботи автоматизованих теплиць і їх технічні особливості; проаналізувати алгоритми, що забезпечують контроль температури, вологості, освітлення та рівня CO<sub>2</sub>; оцінити роль сучасних технологій, таких як IoT та штучний інтелект, у автоматизації управлінських процесів в теплицях; визначити переваги та виклики впровадження автоматизованих систем управління в агрономії.

Автоматизовані теплиці – це спеціалізовані конструкції, що використовуються для вирощування рослин у контрольованих умовах [1]. Вони обладнані різноманітними системами для моніторингу та управління фізичними параметрами навколишнього середовища, такими як температура, вологість, освітлення та рівень вуглекислого газу. Автоматизація теплиць дозволяє зменшити вплив зовнішніх факторів на процеси росту і розвитку рослин, створюючи оптимальні умови для їх вирощування. Ці системи здатні автономно регулювати необхідні параметри, використовуючи датчики і алгоритми управління, що сприяє підвищенню продуктивності та якості агропродукції.

#### Секція 4. Технології розробки інформаційних систем

Історія автоматизації в агрономії налічує десятиліття, починаючи з простих механічних пристроїв для поливу та закінчуючи сучасними високотехнологічними системами. Вперше автоматизацію почали застосовувати в теплицях у середині ХХ століття, коли впроваджувалися елементарні електричні системи для управління температурою і зволоженням. Згодом, з розвитком комп'ютерних технологій, з'явилися системи автоматизації, що базуються на комп'ютерному контролі, які дозволяли інтегрувати дані з різних джерел і автоматизувати управлінські рішення. Сучасні автоматизовані теплиці використовують Інтернет речей, штучний інтелект і машинне навчання для створення динамічних і адаптивних систем, здатних реагувати на зміни умов середовища в режимі реального часу [2].

Автоматизація управління теплицями має численні переваги, які сприяють підвищенню ефективності сільського господарства. По-перше, вона забезпечує оптимізацію використання ресурсів, таких як вода та добрива, що дозволяє знизити витрати на виробництво. По-друге, автоматизація підвищує продуктивність праці, зменшуючи потребу в ручній праці та покращуючи контроль за умовами вирощування. Крім того, системи автоматизації забезпечують стабільність і однорідність умов для рослин, що позитивно впливає на їх ріст і розвиток. В результаті, автоматизовані теплиці сприяють підвищенню якості продукції, зменшенню ризиків, пов'язаних із зміною клімату, та покращенню економічних показників агропідприємств [3].

Підтримка оптимальної температури є критично важливим завданням для автоматизованих теплиць, оскільки температура впливає на всі фізіологічні процеси, що відбуваються у рослин. Системи автоматизації використовують різноманітні датчики, щоб постійно моніторити температуру всередині теплиці та регулювати роботу нагрівачів, охолоджувачів або вентиляційних систем. Завдяки алгоритмам зворотного зв'язку, таким як PID-регулятори, система може адаптуватися до змін зовнішніх умов, забезпечуючи постійний контроль температури на оптимальному рівні для кожного конкретного виду рослин.

Контроль вологості ґрунту та повітря є ще одним важливим аспектом управління в автоматизованих теплицях. Належний рівень вологості необхідний для забезпечення нормального росту рослин і запобігання стресу, викликаного як надмірним зволоженням, так і його нестачею. Системи автоматизації використовують датчики вологості, які вимірюють вміст вологи в ґрунті та повітрі, і на основі цих даних активують системи поливу або зволоження. Це дозволяє підтримувати оптимальні умови для рослин без потреби в постійному контролі з боку оператора.

Оптимальне освітлення є ключовим фактором для росту і розвитку рослин. У автоматизованих теплицях використовуються різноманітні системи освітлення, такі як світлодіоди (LED), які можуть регулюватися відповідно до потреб рослин. Алгоритми управління освітленням враховують природний рівень світла, фазу росту рослин і їх специфічні вимоги. Автоматизація дозволяє точно регулювати інтенсивність і тривалість освітлення, що позитивно впливає на фотосинтез та загальний стан рослин.

#### Секція 4. Технології розробки інформаційних систем

Вміст вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) є важливим чинником, що впливає на фотосинтез і, відповідно, на ріст рослин. У автоматизованих теплицях використовуються системи, які контролюють рівень  $\text{CO}_2$  та регулюють його вміст шляхом вентиляції або додавання вуглекислого газу. Це дозволяє підтримувати оптимальні умови для фотосинтезу, що безпосередньо впливає на продуктивність рослин.

Захист рослин від шкідників є важливою задачею, оскільки шкідники можуть завдати значної шкоди урожаю. Автоматизовані теплиці можуть впроваджувати системи моніторингу, які використовують сенсори та камери для виявлення шкідників на ранніх стадіях. На основі отриманих даних системи автоматизації можуть активувати заходи боротьби зі шкідниками, такі як запуск спеціальних феромонних пасток або розпилення біологічних або хімічних препаратів, забезпечуючи безпечні умови для вирощування рослин та зменшуючи ризик економічних втрат.

Температура є одним з найважливіших факторів, що впливають на ріст і розвиток рослин у теплицях. Для її підтримки використовуються різноманітні алгоритми, які дозволяють автоматично регулювати кліматичні умови.

PID-регулятори (Пропорційно-Інтегрально-Деривативні регулятори) є одними з найпоширеніших алгоритмів для контролю температури в автоматизованих теплицях. Ці регулятори аналізують різницю між заданою та фактичною температурою, використовуючи три основні компоненти: пропорційний, інтегральний і деривативний. Завдяки цьому PID-регулятор може адаптуватися до швидких змін температури, забезпечуючи стабільність і точність у підтримці оптимальних умов для рослин.

Алгоритми зворотного зв'язку працюють на основі постійного моніторингу температури в теплиці та коригування роботи систем нагріву або охолодження залежно від фактичних показників. Цей підхід дозволяє досягти більшої гнучкості у управлінні мікрокліматом теплиці, оскільки система реагує на зміни в реальному часі. Вони можуть включати фідбек-контроль, де результат дії (температура) використовується для корекції майбутніх дій.

Оптимальне освітлення є необхідною умовою для успішного вирощування рослин у теплицях, і для цього застосовуються сучасні алгоритми управління.

Алгоритми машинного навчання можуть аналізувати дані про природне освітлення, фази росту рослин і їх потреби у світлі. На основі отриманих даних вони можуть прогнозувати і адаптувати інтенсивність освітлення, регулюючи роботу світлодіодів або інших освітлювальних систем. Це дозволяє забезпечити рослини достатньою кількістю світла в різні етапи їх розвитку, підвищуючи ефективність фотосинтезу.

Світлодіоди (LED) є ефективним джерелом світла для автоматизованих теплиць, оскільки вони споживають менше енергії та мають тривалий термін служби. Алгоритми управління освітленням регулюють роботу LED-ламп залежно від рівня природного освітлення, контролюючи їх яскравість і тривалість включення, що дозволяє оптимізувати витрати енергії та покращити умови для росту рослин.

#### Секція 4. Технології розробки інформаційних систем

Контроль вологості є важливим завданням для підтримки здоров'я рослин у теплицях. Нейронні мережі можуть бути використані для аналізу даних про вологість ґрунту та повітря, прогнозуючи зміни вологості на основі історичних даних і інших факторів, таких як температура та освітлення. Це дозволяє системам автоматизації адаптуватися до потреб рослин, своєчасно активуючи системи поливу або зволоження, що знижує ризик стресу рослин.

Контроль рівня CO<sub>2</sub> є критично важливим для підтримання фотосинтетичних процесів у рослинах. Пропорційні регулятори забезпечують простий і ефективний контроль за рівнем вуглекислого газу. Вони регулюють подачу CO<sub>2</sub> в залежності від різниці між бажаним і фактичним рівнем вмісту CO<sub>2</sub> у повітрі теплиці, забезпечуючи оптимальні умови для фотосинтезу.

Моделі сезонних змін враховують різні умови впродовж року, що впливають на рівень CO<sub>2</sub>. Ці моделі можуть допомогти у плануванні подачі CO<sub>2</sub> та вентиляції, враховуючи сезонні коливання у вимогах рослин до вуглекислого газу, що в свою чергу оптимізує процес фотосинтезу і підвищує продуктивність рослин.

Управління автоматизованими теплицями за допомогою сучасних технологій дозволяє оптимізувати процеси вирощування рослин, підвищити ефективність використання ресурсів та зменшити витрати. Ось основні технології та методи, які знаходять застосування в автоматизації теплиць.

Інтернет речей (IoT) надає можливість інтегрувати сенсори та пристрої в автоматизовані теплиці, створюючи мережу, що дозволяє здійснювати моніторинг та управління в реальному часі. Сенсори можуть вимірювати температуру, вологість, рівень CO<sub>2</sub>, освітленість та інші параметри навколишнього середовища, передаючи ці дані на центральну платформу для аналізу. Це дозволяє агрономам і фермерам отримувати детальну інформацію про стан рослин і оперативно реагувати на зміни умов, оптимізуючи процеси поливу, освітлення та вентиляції. Таким чином, IoT сприяє зменшенню витрат на ресурси і підвищенню врожайності.

Хмарні обчислення забезпечують зберігання та обробку великих обсягів даних, що генеруються в автоматизованих теплицях. За допомогою хмарних платформ агрономи можуть отримувати доступ до даних з будь-якого місця та в будь-який час, що спрощує аналіз і прийняття рішень. Хмарні рішення також підтримують спільну роботу команди, дозволяючи декільком користувачам працювати з однаковими даними. Крім того, хмарні обчислення забезпечують можливість масштабування ресурсів відповідно до потреб, що робить їх ідеальним рішенням для агробізнесу.

Штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання (МН) є потужними інструментами для аналізу даних, отриманих з автоматизованих теплиць. Вони можуть використовуватися для розробки моделей, які прогнозують потреби рослин на основі історичних даних, а також для виявлення закономірностей у поведінці рослин і умовах навколишнього середовища. Завдяки цим технологіям можна оптимізувати агрономічні практики, підвищити ефективність використання ресурсів та знизити ризики, пов'язані з несприятливими умовами.

#### Секція 4. Технології розробки інформаційних систем

Наприклад, моделі машинного навчання можуть передбачити необхідність поливу або внесення добрив, враховуючи зміни в погодних умовах та потреби конкретних культур.

Системи комп'ютерного зору використовують камери та алгоритми обробки зображень для моніторингу стану рослин у теплицях. Ці системи можуть автоматично виявляти ознаки захворювань, шкідників або стресу в рослин, аналізуючи зображення в реальному часі. З їхньою допомогою можна оцінити здоров'я рослин, розмір і форму плодів, а також виявити проблеми на ранніх стадіях. Це дозволяє агрономам своєчасно реагувати на загрози і оптимізувати догляд за рослинами. Використання систем комп'ютерного зору може суттєво підвищити ефективність управління теплицями, зменшуючи залежність від ручних перевірок і збільшуючи точність моніторингу.

Автоматизація теплиць має як численні переваги, так і певні виклики, з якими стикаються агрономи та фермера в процесі впровадження сучасних технологій. Цей розділ аналізує основні переваги автоматизації, а також труднощі, які можуть виникнути в результаті її впровадження.

Одна з ключових переваг автоматизації теплиць полягає в зменшенні витрат на ресурси, такі як вода, добрива та енергія. Системи автоматичного контролю дозволяють точно регулювати умови вирощування, оптимізуючи споживання цих ресурсів. Наприклад, автоматизовані системи поливу можуть реагувати на зміни вологості ґрунту, що дозволяє зменшити витрати на воду. Це особливо важливо в умовах обмежених водних ресурсів або підвищення вартості енергії.

Автоматизація дозволяє значно підвищити продуктивність теплиць. Завдяки інтеграції сучасних технологій, таких як IoT, ШІ та системи комп'ютерного зору, агрономи можуть отримувати точні дані про стан рослин і миттєво реагувати на зміни в умовах навколишнього середовища. Це призводить до оптимізації процесів вирощування, скорочення часу між етапами виробництва та підвищення якості врожаю. В результаті автоматизовані теплиці можуть забезпечити вищі обсяги продукції, що, в свою чергу, позитивно впливає на рентабельність бізнесу.

Впровадження автоматизованих систем вимагає значних початкових інвестицій. Закупівля і встановлення сенсорів, систем контролю, програмного забезпечення та інших технологій може бути дорогим задоволенням для фермерів, особливо для невеликих агрогосподарств. Це може стати перешкодою для багатьох фермерів, які бажають модернізувати свої теплиці. Проте, хоча початкові витрати можуть бути високими, довгострокові вигоди від економії ресурсів і підвищення продуктивності можуть компенсувати ці витрати.

Автоматизовані системи потребують регулярного технічного обслуговування для забезпечення їхньої ефективності та безперебійної роботи. Це може включати оновлення програмного забезпечення, перевірку й калібрування сенсорів, а також вирішення проблем, які можуть виникнути внаслідок збоїв у системі. Фермерам необхідно мати доступ до спеціалізованих знань і навичок, щоб ефективно підтримувати ці технології, що може бути викликом для тих, хто не має відповідної підготовки або ресурсів. Важливо

#### Секція 4. Технології розробки інформаційних систем

забезпечити навчання персоналу для роботи з новими системами, щоб максимально використовувати їх потенціал і уникнути простоїв.

Автоматизація теплиць відкриває нові горизонти для агрономії, дозволяючи досягати значних результатів у вирощуванні рослин. Одним із яскравих прикладів успішного впровадження автоматизованих теплиць є проект "Smart Greenhouse" у Нідерландах. У цій теплиці застосували систему IoT, що дозволяє дистанційно контролювати температуру, вологість, освітлення та рівень вуглекислого газу. Встановлені датчики збирають дані в реальному часі, а алгоритми машинного навчання аналізують інформацію для оптимізації умов вирощування. В результаті, фермерам вдалося підвищити врожайність томатів на 30% і знизити витрати на електроенергію на 20%.

Ще одним прикладом є автоматизовані теплиці компанії "Sustainable Agriculture" в Каліфорнії, де використовуються системи комп'ютерного зору для моніторингу стану рослин. Завдяки використанню камер та програмного забезпечення, що аналізує зображення, агрономи можуть своєчасно виявляти ознаки захворювань та шкідників. Це дозволяє зменшити застосування пестицидів на 40% та забезпечити якісніший врожай.

Аналіз результатів впровадження автоматизованих систем у теплицях свідчить про їхню високу ефективність. Дослідження показали, що автоматизація сприяє не лише збільшенню врожайності, але й поліпшенню якості продукції. Наприклад, у теплицях з автоматизованим контролем освітлення та вологості спостерігалася підвищена концентрація корисних речовин у овочах і фруктах, що робить їх більш привабливими для споживачів.

Важливим аспектом є також зменшення витрат на ресурси. У результаті впровадження автоматизованих систем, фермери змогли знизити споживання води на 30-50%, а витрати на електроенергію – на 15-25%. Це позитивно вплинуло на фінансові результати підприємств, забезпечивши їхню стійкість та прибутковість.

Отже, приклади успішного впровадження автоматизованих теплиць підтверджують, що новітні технології не лише покращують процеси вирощування рослин, але й сприяють сталому розвитку аграрного сектору в цілому.

**Висновки та рекомендації.** Дослідження алгоритмів для управління автоматизованими теплицями показало, що автоматизація є ключовим фактором підвищення ефективності аграрного виробництва. Запровадження сучасних технологій, таких як IoT, штучний інтелект та автоматизовані системи контролю, дозволяє створити оптимальні умови для вирощування рослин, знижуючи витрати на ресурси і підвищуючи продуктивність. Виявлено, що автоматизовані теплиці здатні не лише значно збільшити врожайність, але й покращити якість сільськогосподарської продукції, забезпечуючи привабливі умови для споживачів. Застосування алгоритмів зворотного зв'язку, нейронних мереж та машинного навчання дозволяє адаптувати процеси в реальному часі, що є критично важливим для успішного агровиробництва в умовах змінного клімату.

Враховуючи результати проведеного дослідження, рекомендується

#### Секція 4. Технології розробки інформаційних систем

зосередити увагу на наступних напрямках для подальших досліджень: дослідження нових алгоритмів для більш точного прогнозування і управління умовами в теплицях, зокрема з використанням глибокого навчання; вивчення можливостей інтеграції різних автоматизованих систем (контролю температури, вологості, освітлення тощо) для створення єдиної екосистеми управління теплицями; аналіз впливу кліматичних змін на ефективність автоматизованих теплиць і розробка адаптаційних стратегій; проведення глибокого економічного аналізу впровадження автоматизованих систем, включаючи порівняння витрат на традиційні та автоматизовані теплиці.

Зростаюча потреба в ефективних рішеннях для вирощування рослин, що враховують глобальні виклики, такі як зміна клімату і збільшення населення, вимагає постійного впровадження інноваційних технологій.

Ширше впровадження технологій Інтернету речей та штучного інтелекту призведе до більшої інтеграції і автоматизації процесів, що дозволить фермерам отримувати більше інформації для прийняття рішень.

Автоматизовані теплиці стануть важливим елементом сталого розвитку аграрного сектору, зосереджуючи увагу на раціональному використанні ресурсів і мінімізації екологічного впливу.

Посилення міжнародного співробітництва в галузі технологій і знань дозволить країнам розвивати свої системи автоматизації на основі передових практик та досягнень.

Таким чином, автоматизація теплиць є перспективним напрямком, який має потенціал змінити аграрний сектор, зробити його більш ефективним і стійким до викликів сучасності.

#### Список використаних джерел та літератури

1. Автоматична теплиця. URL: <https://teplitca.kiev.ua/ua/p631717548-avtomaticheskaya-teplitsa.html>
2. Автоматизація в теплиці – 25-річний досвід вирощування салату. URL: <https://landlord.ua/news/avtomatyizatsiia-v-teplytsi-25-richnyi-dosvid-vyroshchuvannia-salatu>
3. Автоматизація управління мікрокліматом у теплицях. URL: <https://buklib.net/books/35508/>
4. ПІД-регулятор. URL: <http://surl.li/zvzrgd>