

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПОЛИВУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ВОДОСПОЖИВАННЯ В БАГАТОРІВНЕВИХ ТЕПЛИЦЯХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Автоматизовані системи зрошення з рециркуляцією дренажу дозволяють зменшити споживання води та добрив до 60%. Це рішення відкриває нові можливості для оптимізації технологічних процесів у сучасних теплицях та сприяє переходу до більш ефективних та екологічно стійких методів ведення сільського господарства.

Ключові слова: автоматизована система поливу, зворотний збір дренажу, оптимізація водоспоживання, теплиці.

Abstract

Automated irrigation systems with recirculation of hydroponic nutrient solution reduce water and fertilizer consumption by up to 60%. This solution creates new opportunities for optimizing technological processes in modern greenhouses and facilitates the transition to more efficient and environmentally sustainable farming methods.

Keywords: automated irrigation system, drainage return collection, water consumption optimization, greenhouses.

Вступ

Сучасні технології автоматизації сільського господарства відкривають нові можливості для підвищення ефективності використання ресурсів, зокрема води та добрив. Оптимізація водоспоживання є особливо важливою для тепличних господарств, оскільки навіть незначні втрати вологи можуть впливати на рентабельність виробництва. Використання автоматизованих систем поливу зі зворотним зв'язком дає змогу значно скоротити витрати, підвищити ефективність засвоєння поживних речовин та покращити якість врожаю [1].

Аналіз даних рівня рідини в баку дозволив визначити обсяг повернення дренажу та виявити потенціал для оптимізації поливного процесу. У цій роботі представлено результати розрахунків, які показують, наскільки можна зменшити витрати води та розчину шляхом автоматизації системи поливу, а також запропоновано варіанти впровадження цих технологій у міських вертикальних фермах та автономних агросистемах [2-3].

У роботі розглянуто особливості вирощування полуниці ранніх та ремонтантних сортів у тепличних умовах. Дослідження проводилося з використанням малооб'ємної технології на кокосовому субстраті, що дозволило оцінити вплив мікрокліматичних параметрів на розвиток рослин та ефективність тепличного виробництва.

Таким чином, аналіз даних рівня рідини в баку та оцінка ефективності використання водних ресурсів дозволяють визначити оптимальні параметри автоматизованої системи поливу.

Проведення експерименту

Для дослідження використовувалася автоматизована система контролю рівня рідини в баку, яка фіксувала зміни рівня води протягом дня [4]. Полив здійснювався через 30 капілярних подач, що працювали за розкладом:

- П'ять поливів по 6 хвилин
- Один полив по 3 хвилини

За цей час витрачалося 12.5 літрів розчину. За весь цикл вирощування полуниці (3 місяці) теплиця споживала 1125 літрів водного розчину.

Дослідження було проведене на основі експериментальної міні-ферми для вирощування полуниці, що має багаторівневу структуру. Теплиця розташована в приміщенні та має площу $1.43 \text{ м} \times 1.43 \text{ м}$ із двома рівнями розміщення рослин. У системі поливу використовується 30 поливних голок, кожна з яких подає 50 мл розчину за 6 хвилин. З огляду на розклад поливів (5 поливів по 6 хвилин і один полив по 3 хвилини), загальна витрата води в день становить 12.5 л [5].

Використання дренажного розчину в рециркуляційній гідропоніці потребує додаткової уваги через можливе накопичення корневих ексудатів, що може призводити до аутоксичності. Це явище негативно впливає на ріст та врожайність полуниці, тому важливо передбачити методи очищення живильного розчину.[6]

У процесі рециркуляційної гідропоніки було використано засоби для очищення та знезараження живильного розчину, оскільки накопичення корневих ексудатів спричиняло аутоксичність і розвиток шкідливих мікроорганізмів. Для усунення цих проблем застосовували Мікохелп, колоїдне срібло, ультрафіолетове опромінення та перекис водню, що сприяло покращенню росту та врожайності полуниці.

Автоматизована система управління теплицею використовує технологію для оптимізації умов росту рослин. Ця автоматизація забезпечує оптимальний стан рослин, зменшує ручну працю та максимізує врожайність. Завдяки автоматизації таких завдань, як полив оператори теплиць можуть досягти постійного та ефективного росту рослин, що призводить до підвищення якості продукції та зменшення споживання ресурсів [7].

Датчик HC-SR04 - це пристрій, який може вимірювати відстань до перешкоди за допомогою ультразвукових хвиль. Він складається з трьох компонентів: ультразвукового передавача, приймача та мікросхеми для керування ними. Цей модуль обробляє низькорівневі операції датчика HC-SR04. Він ініціалізує контакти тригера та ехо-сигналу, надсилає ультразвукові імпульси та вимірює час, потрібний для повернення ехо-сигналу. Потім цей час перетворюється на відстань.

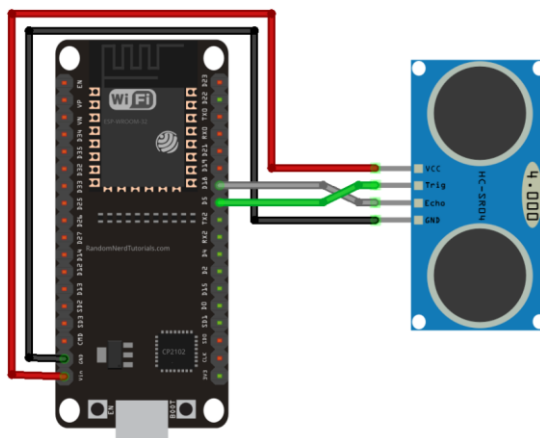


Рис. 1. Схема пристрою для вимірювання рівня рідини

З огляду на те що датчик HC-SR04 вимірює рівень розчину у баку у режимі реального часу з частотою раз на 1 сек, була також проведена автоматизація додавання розчину у бак з запасного (або маточного) баку. Для цього був задіяний окремий насос та програма що слідує коли рівень розчину підходить до критично низького. Додавання розчину також проводиться відповідно до значень датчика, які постійно оновлюються, аби вчасно вимкнути процес не переливаючи через верхню задачу межу.

Для оцінки ефективності використання водних ресурсів і визначення можливостей оптимізації було проведено розрахунок витрат на поливний цикл.

Розрахунок витрат

Загальна витрата розчину для поливу за один день:

$$30 \text{ ігол} \times 50 \text{ мл} \times 5 \text{ разів} + 30 \text{ ігол} \times 50 \text{ мл} \times 0.5 \text{ разів} = 12.5 \text{ л/день}$$

Загальна витрата за повний цикл що триває 90 днів (3 місяці):

$$12.5 \text{ л} \times 90 = 1125 \text{ л}$$

Вартість підготовленої води – 2 грн/л, а вартість добрив – 1.5 грн/л. Отже, витрати на цикл:

- Витрати на воду: $1125 \text{ л} \times 2 \text{ грн/л} = 2250 \text{ грн}$
- Витрати на розчин: $1125 \text{ л} \times 1.5 \text{ грн/л} = 1687.5 \text{ грн}$
- Загальні витрати: 3937.5 грн

Для аналізу ефективності використання води було проведено моніторинг дренажу. Відповідно до отриманих даних (див. рис. 2), система поливу призводила до надмірного дренажу, що означає, що частина розчину не використовувалася ефективно.



Рис. 2. Графік рівня розчину в баку на протязі дня

На основі аналізу було визначено, що оптимізація системи поливу дозволить скоротити витрати в середньому на 60% за рахунок повернення розчину в бак через дренаж.



Рис. 3. Фотографія реалізованого пристрою

Практичне застосування

Завдяки зменшенню витрат води та добрив, а також покращенню керованості поливного процесу, ця технологія може стати важливим інструментом для сучасного аграрного сектору.

Оптимізація поливу передбачає адаптивний підхід до зрошення, коли система аналізує вологість, РН субстрату, а також рівень засоленості (ЕС або TDS) і перед наступним поливом вчасно при потребі корелює параметри розчину а також при потребі зменшує час поливу [8]. Це дає змогу скоротити споживання води з 1125 л до 787.5 л за цикл.

Розрахунок економії:

1125 л - полив за цикл

60% - повернення дренажу

40% - використано рослинами

$1125 \times 60\% = 675$ л - повернулось через дренаж за цикл

$1125 \times 40\% = 450$ л - використано рослинами за цикл

$675 / (1.43 \times 1.43 \times 2) = 165$ л/м² - повернулось розчину з дренажем у розрахунку на 1м²

$450 / (1.43 \times 1.43 \times 2) = 110$ л/м² - використано розчину рослинами у розрахунку на 1м²

Завдяки поверненню розчину з дренажем реальні витрати на воду та добрива за цикл у 90 днів склали: $3937.5 \text{ грн} \times 40\% = 1575 \text{ грн}$

Отримані результати мають велике значення для комерційного використання у сучасних теплицях, зокрема:

- міські вертикальні ферми – дозволяють вирощувати продукцію у мегаполісах із мінімальним використанням ресурсів.

- автоматизовані теплиці закритого циклу – зменшують витрати води та покращують врожайність.

- автономні агросистеми – можуть використовуватися у місцях із обмеженим водопостачанням або для створення замкнених життєзабезпечувальних комплексів [9].

Окрім того, подібні технології можуть бути основою для розробки сільськогосподарських рішень для майбутніх космічних місій, де необхідна максимальна ефективність використання ресурсів [10].

Висновки

Автоматизація поливу дозволяє значно зменшити витрати води та добрив, що є ключовим фактором для сталого розвитку сільського господарства. Це дозволяє досягти двох ключових типів економії:

Повернення невикористаного розчину. Відстеження рівня рідини в баку та моніторинг дренажу показали, що значна частина поданого розчину (біля 60%) не використовується рослинами. Використання зворотного циклу збору та повторного використання цього розчину дає змогу скоротити витрати води та добрив без шкоди для рослин.

Оптимізація частоти поливу. Теоретично, зменшення частоти поливу може скоротити надлишковий дренаж до 30%, проте це рішення має обмеження. Оскільки кожна поливна голка може подавати різний обсяг рідини через зміну тиску або спонтанну засміченість, нерівномірність розподілу вологи може негативно вплинути на рослини. Тому основним напрямом для скорочення витрат є саме повернення дренажу, а не жорстке скорочення поливних циклів.

Найефективнішим рішенням є впровадження системи збору дренажу, що дозволяє досягти значної економії ресурсів без ризику дефіциту вологи в окремих частинах системи. Це забезпечує не лише скорочення витрат, а й стабільне зростання та розвиток рослин.

Автоматизована система своєчасно зупиняє полив при досягненні мінімального рівня розчину, запобігаючи забору повітря насосом та оперативно інформуючи фермера за допомогою чат бота.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Y. Achour, A. Ouammi, D. Zejli, and S. Sayadi, "Supervisory Model Predictive Control for Optimal Operation of a Greenhouse Indoor Environment Coping With Food-Energy-Water Nexus," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 211562–211575, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3037222. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3037222>.
2. Лактіонов І. Інформаційно-вимірювальне забезпечення та апаратно-програмні засоби побудови комп'ютеризованих систем моніторингу стану мікроклімату теплиць : дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.05. Покровськ, 2021. 518 с. URL: https://uacademic.info/download/file/0521U100274/dis_Laktionov.pdf (дата звернення: 07.03.2025).
3. N. Castilla, *Greenhouse Technology and Management*, 2nd ed., CABI, 2013, 335 pages. ISBN 1780641036, 9781780641034. Available: [Google Books](#).
4. Optimizing water use efficiency in greenhouse cucumber cultivation: A comparative study of intelligent irrigation systems / B. Faeze et al. *PLoS ONE*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0311699>.
5. O. Sharapa and A. Berdnikov, "Model of process control system in greenhouse agro-industrial complex," *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series: Mathematical Modeling. Information Technology. Automated Control Systems*, no. 47, pp. 108–118, 2020. DOI: 10.26565/2304-6201-2020-47-08. Available: <https://periodicals.karazin.ua/mia/article/view/16494/15301>.
6. Asaduzzamn M., Asao T. Autotoxicity in Strawberry Under Recycled Hydroponics and Its Mitigation Methods. *The Horticulture Journal*. 2020. Vol. 89. URL: <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-R009>.
7. Field and Modeling Study on Manual and Automatic Irrigation Scheduling under Deficit Irrigation of Greenhouse Cucumber / A. R. E. et al. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, no. 23. P. 9819. URL: <https://doi.org/10.3390/su12239819>.
8. Farai M. S. A flexible plant based irrigation control for greenhouse crops. 2012.
9. Development of smart irrigation systems based on real-time soil moisture data in a greenhouse: Proof of concept / R. Liao et al. *Agricultural Water Management*. 2021. Vol. 245. P. 106632. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106632>.

10. Automated ebb-and-flow subirrigation conserves water and enhances citrus liner growth compared to capillary mat and overhead irrigation methods / A. D. Jani et al. *Agricultural Water Management*. 2021. Vol. 246. P. 106711. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106711>.

Суворін Олег - аспірант 174-ї спеціальності, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: 00-24-048.stud@vntu.edu.ua

Науковий керівник: **Кабачій Владислав** – канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kabachij.v.v@vntu.edu.ua

Suvorin Oleg - Department of Intelligent Information Technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 00-24-048.stud@vntu.edu.ua

Supervisor: **Kabachii Vladyslav** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Intelligent Information Technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kabachij.v.v@vntu.edu.ua