

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПОДАЧЕЮ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ В ТЕПЛИЦЯХ

О. Ю. Синявський, кандидат технічних наук, доцент

В. В. Савченко, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Н. О. Соломко, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист

М. І. Олешко, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист

ВП НУБіП України «Ніжинський фаховий коледж»

E-mail: sinyavsky2008@ukr.net

Анотація. Нині в овочівництві закритого ґрунту широко застосовують малооб'ємну гідропоніку. Найбільшого поширення набуло вирощування рослин на мінераловатних субстратах з використанням краплинної системи поливання.

При цій технології необхідно підтримувати вологість субстрату на оптимальному для кожної культури рівні. Для цього нині застосовують програмне керування подачею живильного розчину, що не забезпечує режим мінерального живлення рослин на оптимальному рівні.

Втрати живильного розчину при застосуванні найдосконалішої системи краплинного поливання досягають щонайменше 25 %

Метою дослідження була розробка системи автоматичного керування подачею живильного розчину у теплицях.

Для досягнення поставленої мети було розроблено функціональну схему автоматичного регулювання вологості мінеральної вати та визначено передатні функції кожної її ланки.

Встановлено, що найбільш прийнятним є релейно імпульсний закон автоматичного регулювання.

Як показник якості при оптимізації системи автоматичного регулювання вологості мінеральної вати було прийнято сумарне квадратичне відхилення, що дозволило визначити тривалість імпульсу та період квантування за часом регулятора. Для теплиці площею 1 га тривалість імпульсу становить 111 с, інтервал квантування за часом 666 с. Ці параметри регулятора забезпечують абсолютну стійкість системи.

Розроблена система автоматичного регулювання забезпечує підтримку вологості мінеральної вати на заданому рівні з похибкою, яка не перевищує 5 %.

Ключові слова: малооб'ємна гідропоніка, вологість мінеральної вати, автоматичне регулювання, релейно-імпульсний регулятор

Актуальність. В останні роки у зимових теплицях овочі переважно вирощують методом малооб'ємної гідропоніки на мінераловатних субстратах.

Підживлення рослин живильним розчином здійснюють через систему краплинного поливання, що складається з розчинного вузла для приготування живильного розчину, насоса, фільтра та крапельниць.

Оскільки воду і всі мінеральні елементи рослини отримують із живильного розчину, то виникає необхідність у підтриманні на заданому рівні вологості мінеральної вати.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Регулювання вологості субстрату відповідно до біологічних особливостей рослин, температури та освітлення є важливими ланками агротехніки. Для огірків від посадки до початку плодоношення вологість субстрату має бути 65-75 % НВ (найменшої вологоємності), у період плодоношення 85-90 %, для томатів – відповідно 65-70 та 75-80 % [1].

Частоту поливання регулюють залежно від інтенсивності сонячної радіації або вологості субстрату [2]. При найпоширенішому програмному керуванні тривалість поливання становить від 3 до 15 хв, всього циклу – 30 хв, паузи між циклами – 3 хв. Система поливання вмикається від 5 до 20 разів на день [3]. Проте втрати мінеральних добрив і води становлять щонайменше 25 % [4], що зумовлює необхідність створення системи автоматичного регулювання вологості субстрату.

Мета дослідження – розроблення та дослідження системи автоматичного регулювання мінеральної вати в зимових теплицях.

Матеріали та методи дослідження. Для вимірювання вологості мінеральної вати в ІМА АПВ НААН був розроблений НВЧ-перетворювач, що дозволило розробити систему автоматичного регулювання вологості мінеральної вати, функціональна схема якої наведена на рис. 1.

Система працює в автоматичному режимі - за сигналами первинного перетворювача вологості субстрату 1, що надходять у регулятор 2, керуючого виконавчими механізмами 4 і 5, або за годинною програмою від автомата поливання 3 (КJ).

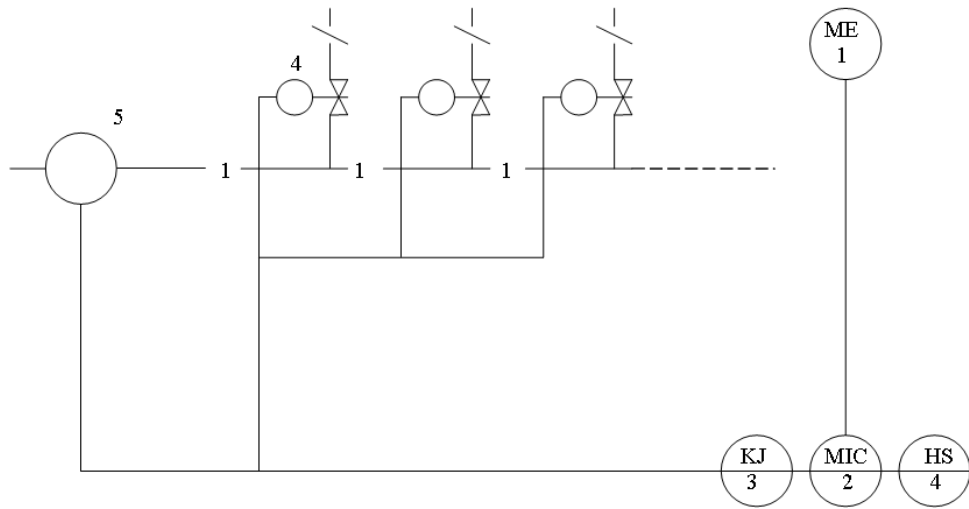


Рис. 1. Функціональна схема системи автоматичного регулювання вологості мінеральної вати

Для створення алгоритмічної структурної схеми системи автоматичного регулювання необхідно виконати математичний опис кожної її ланки.

Передатна функція об'єкта керування [5]:

$$W_o(p) = \frac{2.57 \cdot 10^5}{1050 p + 1} e^{-210p} \quad (1)$$

Передатна функція НВЧ-вологоміра вологості субстрату:

$$W_{nn}(p) = K_{nn}, \quad (2)$$

де K_{nn} - коефіцієнт передачі, $K_{nn} = 2\text{мВ} / \%$.

Виконавчим механізмом є насос із електромагнітним вентиляем. Оскільки час чистого запізнення об'єкта керування на порядок вищий за постійні часу виконавчих механізмів, то останніми можна знехтувати. Тоді передатна функція виконавчого механізму

$$W_{vm}(p) = K_{vm}, \quad (3)$$

де K_{vm} – коефіцієнт передачі, який становить $5.12 \cdot 10^{-7}$ л/(с·В).

Оскільки для об'єкта керування відношення $\tau/T < 0,2$, найдоцільнішим є позиційне регулювання. При виборі закону регулювання необхідно враховувати, що при краплинному зрошенні вся площа теплиць розділена на секції, які послідовно живляться живильним розчином. Тому, з динамічних властивостей об'єкта

керування з урахуванням існуючої технології подачі живильного розчину в теплиці, доцільним є релейно-імпульсний закон регулювання.

Релейно-імпульсний регулятор можна представити у вигляді послідовно з'єднаних нелінійного елемента, найпростішого елемента та формуючої ланки. Передатна функція формуючої ланки при прямокутній формі імпульсів має вигляд:

$$W_{\phi}(p) = \frac{1 - e^{-pt_{im}}}{p}, \quad (4)$$

де t_{im} - тривалість імпульсу.

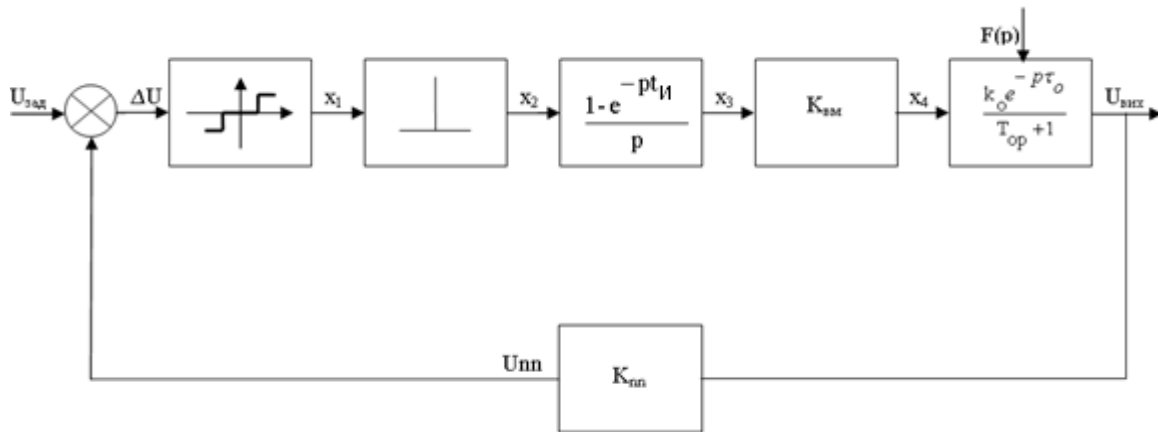


Рис. 2. Структурно-алгоритмічна схема системи автоматичного регулювання вологості субстрату

Ця система є нелінійною і дискретною, характеризується наявністю запізнювальних ланок. Для її аналізу необхідно скористатися теорією нелінійних імпульсних систем автоматичного регулювання [6].

Результати досліджень та їх обговорення. Рівняння системи автоматичного регулювання вологості субстрату складається з:

$$\text{- рівняння нелінійного елемента } x_1(t) = \begin{cases} U & \text{при } |x(t)| > \gamma \\ 0 & \text{при } |x(t)| < \gamma \end{cases}, \quad (5)$$

де γ – зона нечутливості регулятора, $\gamma = 10$ мВ;

- найпростішого імпульсного елемента

$$x_2(t) = \delta(t) = \sum_{m=-\infty}^{m=\infty} \delta(t - mT), \quad (6)$$

де T – інтервал квантування за часом;

- формуючого ланцюга

$$x_3(t) = \begin{cases} 1; & 0 \leq t \leq t_{im} \\ 0; & t_{im} \leq t < \infty \end{cases}, \quad (7)$$

- об'єкта керування з виконавчим механізмом

$$y_{вых} = K_{вм} K_o (1 - e^{-t\tau/T_o}). \quad (8)$$

Використовуючи рівняння (5), (6), (7), отримуємо рівняння щодо вихідної величини в дискретні моменти часу $t = mT$:

$$y_{вих}(mT) = \sum_{m=0}^{\infty} K_{im} K_o (m - m_\tau) U(1 - e^{-t_{im}/T_o}), \quad (9)$$

де $m_\tau = [\tau/T]$.

Як показник якості під час оптимізації системи автоматичного регулювання вологості субстрату приймаємо сумарне квадратичне відхилення

$$I = \sum_{m=0}^{\infty} (y - y_3)^2 \quad (10)$$

при обмеженні

$$|y_y - y_3| \leq \Delta, \quad (11)$$

де y_3 – задане значення вихідної величини; y_y – усталене значення вихідної величини; Δ – допустима похибка регулювання.

Використовуючи рівняння (10), знаходимо

$$I = \sum_{m=0}^{m_\zeta} (y - y_3)^2 + \sum_{m=m_\zeta}^{m_\phi} (y - y_3)^2 + \sum_{m=m_\phi}^{\infty} \Delta^2. \quad (12)$$

Перша складова виразу (12) обумовлена впливом на об'єкт керування збурень, останні – помилкою, що виникає в системі керування. Тому необхідно розглядати дві останні складові в рівнянні (12):

$$I = \sum_{m=m_3}^{m_y} (y - y_3)^2 + \sum_{m=m_3}^{\infty} \Delta^2. \quad (13)$$

Першу складову цього виразу можна записати у вигляді:

$$\sum_{m=m_3}^{m_y} (y - y_3)^2 = \sum_{m=m_3}^{m_y} (y - y_y \pm \Delta)^2. \quad (14)$$

Тоді

$$I = \sum_{m=m_3}^{m_y} (y - y_y \pm \Delta)^2 + \sum_{m=m_y}^{\infty} \Delta^2. \quad (15)$$

Використовуючи вираз (9), отримаємо:

$$I = \sum_{m=m_3}^{m_y} (K_{\text{ВМ}} K_o (m - m_y) U (1 - e^{-t_{\text{ім}}/T_o}) \pm \Delta)^2 + \sum_{m=m_y}^{\infty} \Delta^2, \quad (16)$$

Як впливає з рівняння (16) показник оптимальності I є функцією параметра $t_{\text{ім}}$. Умову його мінімуму отримаємо, прирівнюванням приватної похідної до нуля:

$$\frac{\delta I}{\delta t_{\text{ім}}} = \sum_{m=m_3}^{m_y} \frac{2}{T_o} (K_{\text{ВМ}} K_o (m - m_y) U e^{-t_{\text{ім}}/T_o} (K_o K_{\text{ВМ}} (m - m_y) U (1 - e^{-t_{\text{ім}}/T_o}) \pm \Delta) = 0. \quad (17)$$

Враховуючи, що в системі із запізненням

$$m_y = m_3 + m_\tau, \quad (18)$$

маємо

$$\frac{\delta I}{\delta t_{\text{ім}}} = \frac{2}{T_o} m_\tau K_{\text{ім}} K_o U e^{-t_{\text{ім}}/T_o} m_\tau K_o K_{\text{ВМ}} U (1 - e^{-t_{\text{ім}}/T_o}) \pm \Delta. \quad (19)$$

Звідси знаходимо формулу визначення тривалості імпульсу регулятора:

$$t_u = -T_o \ln\left(1 \mp \frac{\Delta}{m_\tau K_{\text{ВМ}} K_o U}\right). \quad (20)$$

За формулою (20) було визначено тривалість імпульсу системи автоматичного регулювання вологості мінеральної вати:

$$t_{\text{ім}} = -1054 \ln\left(1 \pm \frac{5}{5.12 \cdot 10^{-7} \cdot 2.57 \cdot 10^5 \cdot 380}\right) = 111 \text{ с.}$$

Інтервал квантування за часом визначається як

$$T = a t_{\text{ім}}, \quad (21)$$

де a – кількість секцій у теплиці.

Для теплиці площею 1 га $a = 6$, тоді

$$T = 6 \cdot 111 = 666 \text{ с.}$$

За цих параметрів налаштування регулятора виконується умова абсолютної стійкості системи (рис. 3).

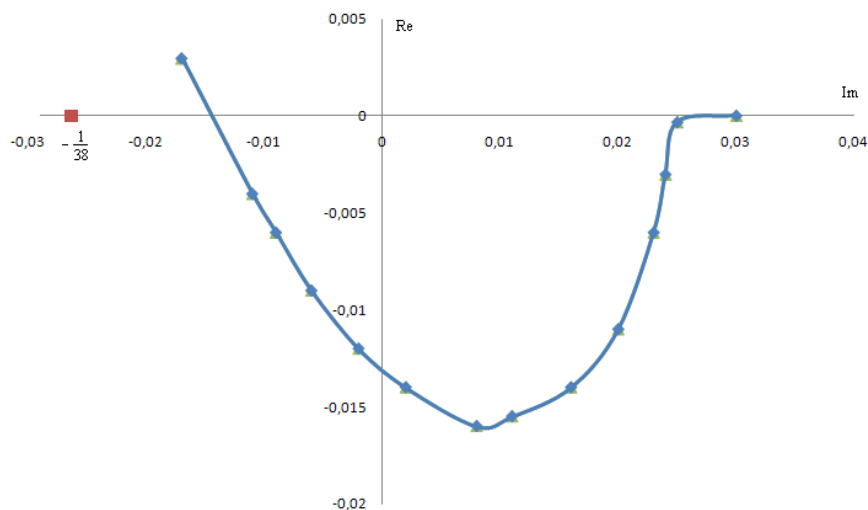


Рис. 3. Дослідження стійкості системи автоматичного регулювання вологості субстрату

Висновки і перспективи. Для системи автоматичного керування подачею живильного розчину при вирощуванні рослин на мінеральній ваті найдоцільнішим є релейно-імпульсний закон регулювання.

Визначені параметри налагодження регулятора із умови забезпечення мінімального сумарного квадратичного відхилення та абсолютної стійкості системи: тривалість імпульсу 111 с, інтервал квантування за часом 666 с.

Розроблена система автоматичного регулювання забезпечує підтримку вологості мінеральної вати на заданому рівні з похибкою, яка не перевищує 5%, що відповідає агротехнічним вимогам.

Список використаних джерел

1. Чернишенко В.І., Пашковський А.І., Кирій П.І. Сучасні технології овочівництва закритого ґрунту: Житомир: Рута, 2018. 400 с.
2. Alejandro Isabel Luna Maldonado, Julia Mariana Márquez Reyes, Héctor Flores Breceda, Humberto Rodríguez Fuentes, Juan Antonio Vidales Contreras and Urbano Luna Maldonado. Automation and Robotics Used in Hydroponic System. OPEN ACCESS PEER-REVIEWED CHAPTER. 27 December 2019.
DOI: 10.5772/intechopen.90438. <https://www.intechopen.com/chapters/7066>
3. Приліпка О.В. Тепличне овочівництво. К.: Урожай, 2015. 256 с.
4. Göhler F., Heissner A., Schmeil H. Control of water and nutrient supply in greenhouse. Acta hortoc. 1989. Vol. 260. P. 237 – 254.

5. Синявський О. Ю., Савченко В. В. Автоматичне керування мінеральним живленням рослин у гідропонних теплицях К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2016. 249 с.
6. Цыпкин Я. З., Попков Ю. С. Теория нелинейных импульсных систем. М.: Наука, 1973. 416 с.

References

1. Chernyshenko, V.I., Pashkovskiy, A.I., Kyrii, P.I. (2018). Suchasni tekhnolohii ovochivnytstva zakrytoho gruntu [Modern technologies of indoor vegetable growing]. Zhytomyr: Ruta, 400.
2. Alejandro Isabel Luna Maldonado, Julia Mariana Márquez Reyes, Héctor Flores Breceda, Humberto Rodríguez Fuentes, Juan Antonio Vidales Contreras and Urbano Luna Maldonado. (2019). Automation and Robotics Used in Hydroponic System. OPEN ACCESS PEER-REVIEWED CHAPTER. 27 December 2019.
DOI: 10.5772/intechopen.90438. Available at: <https://www.intechopen.com/chapters/7066>
3. Prylipka, O.V. (2015). Teplychne ovochivnytstvo [Greenhouse vegetable growing]. Kyiv: Urozhai, 256.
4. Göhler, F., Heissner, A., Schmeil, H. (1989). Control of water and nutrient supply in greenhouse. Acta hortoc., 260. 237 – 254.
5. Syniavskiy, O. Yu, Savchenko, V. V. (2016). Avtomatychnе керування мінеральним живленням рослин у гідропонних теплицях [Automatic control for mineral nutrition of plants in hydroponic greenhouses]. Kyiv: KOMPRYNТ, 249.
6. Tsyppkin, Ya. Z., Popkov, Yu. S. (1973). Teoriya nelineynykh impul'snykh sistem [Theory of nonlinear impulse systems]. Moscow: Nauka, 416.

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR THE SUPPLY OF NUTRIENT SOLUTION IN GREENHOUSES

O. Sinyavsky, V. Savchenko, N. Solomko, M. Oleshko

Abstract. *Currently, small-volume hydroponics is widely used in indoor vegetable production. Growing plants on mineral wool substrates using a drip irrigation system has become the most widespread.*

With this technology, it is necessary to maintain the humidity of the substrate at the optimal level for each culture. For this, software control of nutrient solution supply is currently used, which does not ensure the regime of mineral nutrition of plants at an optimal level.

Losses of nutrient solution when using the most advanced drip irrigation system reach at least 25 %

The purpose of the study was to develop a system for automatic control of the supply of nutrient solution in greenhouses.

To achieve the goal, a functional scheme for automatic regulation of mineral wool humidity was developed and the transfer functions of each of its links were determined.

It was established that the relay-pulse law of automatic regulation is the most acceptable.

As a quality indicator in the optimization of the system of automatic regulation of mineral wool humidity, the total quadratic deviation was adopted, which made it possible to determine the duration of the pulse and the period of quantization according to the time

of the regulator. For a greenhouse with an area of 1 ha, the pulse duration is 111 s, the time quantization interval is 666 s. These regulator parameters ensure absolute stability of the system.

The developed automatic regulation system ensures the maintenance of mineral wool humidity at the specified level with an error that does not exceed 5 %.

Key words: *low-volume hydroponics, mineral wool moisture, automatic control, relay-pulse regulator*