АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ПОДАЧЕЮ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ В ТЕПЛИЦЯХ

О. Ю. Синявський, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

В. Г. Кістен, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Н. О. Соломко, викладач-методист

ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний коледж»

E-mail: sinyavsky2008@ukr.net

Анотація. Нині у зимових теплицях найбільш поширеною є технологія вирощування овочів на малооб'ємній гідропоніці. При гідропонних технологіях всі необхідні мінеральні речовини рослини отримують з живильного розчину, тому відхилення кислотності і концентрації мінеральних елементів в субстраті та його вологості від оптимальних значень призводять до порушення поглинання рослинами поживних речовин і води, що може призвести до захворювань рослин і їх загибелі.

Нині найпоширенішим є програмне керування поливанням рослин, але при цьому втрати мінеральних добрив і води складають не менше 25 %, що обумовлює необхідність створення системи автоматичного регулювання вологості субстрату.

Метою роботи була розробка системи автоматичного керування подачею живильного розчину в теплицях з малооб'ємною гідропонікою.

Для досягнення поставленої мети була розроблена функціональна схема автоматичного регулювання вологості мінеральної вати і визначені передавальні функції кожного її ланки.

Встановлено, що найприйнятнішим є релейно-імпульсний закон автоматичного регулювання. Як показник якості при оптимізації системи автоматичного регулювання вологості мінеральної вати було прийнято сумарне відхилення, що дозволило визначити тривалість імпульсу і період квантування за часом регулятора, які відповідно становлять 111 та 666 с.

Розроблена система автоматичного регулювання є стійкою і 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. Збільшення виробництва тепличних овочів, підвищення їх врожайності, поліпшення якості продукції та зниження затрат праці в захищеному

ґрунті багато в чому залежать від впровадження нових прогресивних енергозберігаючих технологій, однією з яких є малооб'ємна гідропоніка. При використанні цієї технології врожайність овочів підвищується на 25-30 % при скороченні витрати води на 30 %, мінеральних добрив на 40 %, теплової та електричної енергії на 15-20 % [1].

При гідропонних технологіях всі необхідні мінеральні речовини рослини отримують з живильного розчину, тому відхилення кислотності і концентрації мінеральних елементів в субстраті та його вологості від оптимальних значень призводять до порушення поглинання рослинами поживних речовин і води, що може призвести до захворювань рослин і їх загибелі [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При вирощуванні рослин методом малооб'ємної гідропоніки подачу рослинам живильного розчину здійснюють через систему краплинного поливання, що складається з розчинного вузла для приготування живильного розчину, насоса, фільтра і крапельниць.

Регулювання вологості субстрату відповідно до біологічних особливостей рослин, температури і освітлення є важливими ланками агротехніки. Для огірків від посадки до початку плодоношення вологість субстрату повинна бути 65-75 % НВ (найменшої вологоємності), в період плодоношення 85-90 %, для томатів – відповідно 65-70 і 75-80 %.

Частоту поливання регулюють залежно від інтенсивності сонячної радіації або за вологістю субстрату [3]. При найпоширенішому програмному керуванні тривалість поливання складає від 3 до 15 хв, всього циклу – 30 хв, паузи між циклами – 3 хв [4]. Система поливання включається від 5 до 20 разів на день. Однак втрати мінеральних добрив і води складають не менше 25 %, що обумовлює необхідність створення системи автоматичного регулювання вологості субстрату [1].

Мета дослідження – розробка системи автоматичного керування подачею живильного розчину в теплицях з малооб'ємною гідропонікою.

Матеріали і методи дослідження. Для вимірювання вологості мінеральної вати в ІМЕСГ НААНУ був розроблений НВЧ-перетворювач, що дозволило

розробити систему автоматичного регулювання вологості мінеральної вати, функціональна схема якої приведена на рис. 1.

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

Коли система працює в автоматичному режимі, то сигнали від первинного перетворювача вологості субстрату 1 надходять в регулятор 2, який керує виконавчими механізмами 4 і 5. Також передбачена робота системи за часовою програмою від автомата поливання 3 (KJ).

Для створення алгоритмічної структурної схеми системи автоматичного регулювання необхідно виконати математичний опис кожного 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 з електромагнітним вентилем. Оскільки час чистого запізнювання об'єкта керування на порядок вище постійних часу виконавчих механізмів, то останніми можна знехтувати. Тоді передатна функція виконавчого механізму

$$W_i(p) = K_{im}, \quad (3)$$

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

Оскільки для об'єкта керування відношення $\tau/T < 0,2$, то найдоцільнішим є позиційне регулювання. При виборі закону регулювання необхідно враховувати, що при краплинному зрошенні вся площа теплиць розділена на секції, які послідовно підживлюються живильним розчином. Тому, виходячи з динамічних властивостей об'єкта керування і з урахуванням існуючої технології подачі живильного розчину в теплиці, доцільним є застосування релейно-імпульсного закону регулювання.

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

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

де t_{im} – тривалість імпульсу.

Результати досліджень та їх обговорення. Використовуючи передавальні функції елементів системи автоматичного регулювання вологості субстрату, була розроблена структурно-алгоритмічна схема (рис. 2).

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

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

Рівняння системи автоматичного регулювання вологості субстрату складається з:

– 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 кола

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

- об'єкта керування з виконавчим механізмом

$$y_{вих} = K_{im} K_o (1 - e^{-t_{im}/T_o}). \quad (8)$$

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

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

де $m_{\tau} = [\tau/T]$.

Як показник якості при оптимізації системи автоматичного регулювання вологості субстрату приймаємо сумарне відхилення

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

при обмеженні

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

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

Використовуючи рівняння (10), знаходимо:

$$I = \sum_{m=0}^{m_3} (y - y_3)^2 + \sum_{m=m_3}^{m_y} (y - y_3)^2 + \sum_{m=m_y}^{\infty} \Delta^2. \quad (12)$$

Перша складова виразу (12) обумовлена впливом на об'єкт керування збурень, останні – помилкою, яка виникає в системі керування. Тому необхідно розглядати два останніх складових у рівнянні (12):

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

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:

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

Як впливає з рівняння (16), показник оптимальності I є функцією параметра t_{im} . Умову його мінімуму отримаємо, прирівнявши частинну похідну до нуля:

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

З огляду на те, що в системі із запізненням

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

маємо

$$\frac{\partial I}{\partial t_{im}} = \frac{2}{T_o} m_\tau K_{sm} K_o U e^{-t_{im}/T_o} (m_\tau K_o K_{sm} U (1 - e^{-t_{im}/T_o}) \pm \Delta). \quad (19)$$

Звідси знаходимо формулу для визначення тривалості імпульсу регулятора:

$$t_{iM} = -T_0 \ln\left(1 \mp \frac{\Delta}{m_{\tau} K_{iM} K_o U}\right). \quad (20)$$

За формулою (20) була визначена тривалість імпульсу для системи автоматичного регулювання вологості мінеральної вати:

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

Інтервал квантування за часом визначається як

$$T = a t_{iM}, \quad (21)$$

де a – кількість секцій в теплиці.

Для теплиці площею 1 га $a = 6$, тоді

$$T = 6 \cdot 111 = 666 \text{ с.}$$

При цих параметрах налагодження регулятора виконується умова абсолютної стійкості системи (рис. 3).

Рис. 3. Дослідження стійкості системи автоматичного регулювання вологості субстрату

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

Список літератури

1. Савинова Н. И. Малообъемная гидропоника: что сдерживает ее внедрение. Картофель и овощи. 1989. №6. С. 22-26.
2. Алиев Э. А. Выращивание овощей в гидропонных теплицах. К.: Урожай, 1985. 160 с.
3. Göhler F., Heissner A., Schmeil H. Control of water and nutrient supply in greenhouse. Acta hortoc. 1989. Vol. 260. P. 237 – 254.
4. Пилюгина В. В., Шейнгин Ю. Г., Захаров Б. В. Автоматическое управление подачей питательного раствора в теплице на малообъемной гидропонике. Науч. – техн. бюлл. по электр. с. х-ва ВИЭСХ. 1986. Вып. 1 (56). С. 33-38.
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. Savinova, N. I. (1989). Maloob'yemnaya gidroponika: chto sderzhivayet eye vnedreniye [Low-volume hydroponics: what constrains its introduction]. Kartofel' i ovoshchi, 6, 22-26.
2. Aliyev, E. A. (1985). Vyrashchivaniye ovoshchey v gidroponnykh teplitsakh [Growing vegetables in hydroponic greenhouses]. Kyiv: Urozhay, 160.
3. Göhler, F., Heissner, A., Schmeil, H. (1989). Control of water and nutrient supply in greenhouse. Acta hortoc., 260, 237 – 254.
4. Pilyugina, V. V., Zakharov, B. V. (1986). Avtomaticheskoye upravleniye podachey pitatel'nogo rastvora v teplitse na maloob'yemnoy gidroponike [Automatic control of the supply of nutrient solution in the greenhouse on low-volume hydroponics]. Nauch. – tekhn. byull. po elektr. s. kh-va VIESKH, 1 (56), 33-38.
5. Sinyavsky, O. Yu, Savchenko, V. V. (2016). Avtomatychne keruvania mineralnym zhyvlenniam roslyn u hidroponnykh teplytsiakh [Automatic control for mineral nutrition of plants in hydroponic greenhouses]. Kyiv: KOMPRYNT, 249 .
6. Tsypkin, Ya. Z., Popkov, Yu. S. (1973). Teoriya nelineynykh impul'snykh sistem [Theory of nonlinear impulse systems]. Moskow: Nauka, 416.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОДАЧЕЙ ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА В ТЕПЛИЦЕ

А. Ю. Синявский, В. Г. Кистень, Н. А. Соломко

Аннотация. В настоящее время в зимних теплицах наиболее распространенной является технология выращивания овощей на малообъемной гидропонике. При гидропонных технологиях все необходимые минеральные вещества растения получают из питательного раствора, поэтому отклонения

кислотности и концентрации минеральных элементов в субстрате и его влажности от оптимальных значений приводят к нарушению поглощения растениями питательных веществ и воды, что может привести к заболеваниям растений и их гибели.

В настоящее время самым распространенным является программное управление поливом растений, но при этом потери минеральных удобрений и воды составляют не менее 25 %, что обуславливает необходимость создания системы автоматического регулирования влажности субстрата

Целью работы была разработка системы автоматического управления подачей питательного раствора в теплицах с малообъемной гидропоникой.

Для достижения поставленной цели была разработана функциональная схема автоматического регулирования влажности минеральной ваты и определены передаточные функции каждого ее звена.

Установлено, что наиболее приемлемым является релейно-импульсный закон автоматического регулирования. Как показатель качества при оптимизации системы автоматического регулирования влажности минеральной ваты было принято суммарное отклонение, что позволило определить длительность импульса и период квантования по времени регулятора, которые соответственно составляют 111 и 666 с.

Разработанная система автоматического регулирования устойчива и обеспечивает поддержание влажности минеральной ваты на заданном уровне с погрешностью, не превышающей 5 %.

Ключевые слова: малообъемная гидропоника, влажность минеральной ваты, автоматическое регулирование, релейно-импульсный регулятор

AUTOMATIC CONTROL OF NUTRIENT SOLUTION SUPPLY IN GREENHOUSES

O. Sinyavsky, V. Kisten, N. Solomko

Abstract. Today, the most common technology in winter greenhouses is to grow vegetables in low-volume hydroponics. With hydroponic technologies, all the necessary minerals of the plant are obtained from the nutrient solution, so deviations of acidity and concentration of mineral elements in the substrate and its humidity from optimal values lead to impaired plant uptake of nutrients and water, which can lead to plant diseases and death.

Currently, the most common is software control of watering plants, but the loss of fertilizers and water is at least 25 %, which necessitates the creation of a system of automatic control of substrate humidity

The aim of the work was to develop a system of automatic control of the supply of nutrient solution in greenhouses.

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

It is established that the most acceptable is the relay-pulse law of automatic regulation. As an indicator of quality in the optimization of the system of automatic humidity control of mineral wool, the total deviation was taken, which allowed to

determine the pulse duration and quantization period by the time of the regulator, which are 111 and 666 s, respectively.

The developed system of automatic regulation is stable and provides maintenance of humidity of mineral wool at the set level with an error which does not exceed 5 %.

Key words: *low-volume hydroponics, mineral wool humidity, automatic regulation, relay-pulse regulator*