

УДК 631.2 : 658.2

## **АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ КОНЦЕНТРАЦІЇ ТА КИСЛОТНОСТІ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ В ГІДРОПОННИХ ТЕПЛИЦЯХ**

*О. Ю. Синявський, кандидат технічних наук, доцент*

*В. В. Савченко, кандидат технічних наук, доцент*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*e-mail [vit1986@fm.ua](mailto:vit1986@fm.ua)*

**Анотація.** *Вирощування рослин у спорудах закритого ґрунту гідропонним методом потребує систематичного контролю концентрації та кислотності живильного розчину. Метою дослідження була розробка системи автоматичного контролю концентрації та кислотності живильного розчину при вирощуванні рослин у теплицях гідропонним методом. Встановлено, що питома електропровідність живильного розчину прямо пропорційно залежить від його концентрації. Тому для визначення концентрації живильного розчину доцільно застосовувати промислові кондуктометри. Кислотність розчину визначають промисловим рН-метром зі скляним вимірювальним та хлорсрібним допоміжним електродами. Динамічні властивості цих перетворювачів описуються аперіодичною ланкою першого порядку. Розроблена методика градування кондуктометрів та рН-метрів у виробничих умовах.*

**Ключові слова:** *гідропонна теплиця, живильний розчин, питома електропровідність, кислотність розчину, кондуктометр, рН-метр, градування*

**Актуальність.** *Нині в овочівництві закритого ґрунту широкого поширення набуло виробництво овочів на малооб'ємних субстратах, що дає можливість точніше та швидше регулювати параметри кореневого середовища. Внаслідок цього суттєво підвищується врожайність, забезпечується більш раннє плодоношення, підвищується якість продукції. При цьому зменшується витрата води, мінеральних добрив та теплової енергії [1].*

*При гідропонних технологіях всі необхідні мінеральні речовини рослини отримують з живильного розчину, тому відхилення кислотності і концентрації мінеральних елементів в ньому 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 та публікацій.** Застосовуваний на практиці щотижневий контроль і коригування складу живильного розчину на підставі аналізів, виконуваних агрохімічною лабораторією, не дозволяє підтримувати кислотність і концентрацію живильного розчину на оптимальному рівні, оскільки за цей період рН розчину змінюється на 0,7-0,8 одиниць, а концентрація мінеральних елементів на 60-90 % [3], хоча відхилення концентрації окремого елемента на 30 % від оптимального його вмісту викликає порушення поглинання рослинами інших елементів [4], що призводить до зниження врожайності і якості продукції.

**Мета дослідження** – розробка системи автоматичного контролю концентрації та кислотності живильного розчину при вирощуванні рослин у теплицях гідропонним методом.

**Матеріали і методи дослідження.** Питома електропровідність багатокомпонентного розчину визначається за формулою [5]:

$$\kappa = \sum_{i=1}^k f_i \alpha_i \beta_i \lambda_i^0 C_i \quad (1)$$

де  $f$  – коефіцієнт електропровідності, який враховує сили взаємодії іонів у розчині;  $\alpha$  – ступінь електролітичної дисоціації;  $\beta$  – добуток кількості катіонів або аніонів, які утворюються при дисоціації молекули речовини, на їх валентність;  $\lambda_i^0$  – рухливість іонів;  $C_i$  – концентрація електроліту.

Ступінь електролітичної дисоціації та коефіцієнт електропровідності залежать від концентрації електроліту. Тому залежність (1) для широкого діапазону зміни концентрації має складний характер.

Живильні розчини мають низьку загальну концентрацію. Діапазон зміни концентрації окремих елементів також не великий. Тому можна вважати ступінь електролітичної дисоціації незмінним, а коефіцієнт електропровідності близьким до одиниці.

Тоді рівняння (1) можна записати у вигляді:

$$\kappa = \sum_{i=1}^k B_i C_i, \quad (2)$$

де  $B_i = f_i \alpha_i \beta_i \lambda_i^0 \dots$  – коефіцієнт, См/(м·моль).

Як випливає з формули (1), питома електропровідність розчину залежить від хімічного складу і концентрації елементів, які входять до його складу. При цьому немає однозначної залежності між питомою електропровідністю та концентрацією розчину.

Якщо відомі співвідношення між концентраціями солей в розчині, тобто

$$\mu_i = \frac{C_i}{C_\Sigma}, \quad (3)$$

де  $C_\Sigma$  – загальна концентрація солей в розчині, рівняння (2) набуде вигляду:

$$\kappa = \sum_{i=1}^k B_i \mu_i C_\Sigma = B C_\Sigma, \quad (4)$$

де  $B = \sum_{i=1}^k B_i \mu_i$ .

У цьому випадку питома електропровідність прямо пропорційна загальній концентрації розчину і однозначно визначається нею.

Звідси випливає, що при постійному співвідношенні поживних речовин у розчині, яке має місце при вирощуванні рослин з використанням системи краплинного поливання, або якщо це співвідношення змінюється не істотно, контроль концентрації живильного розчину можна здійснювати за величиною його питомої електропровідності.

На основі аналізу рецептів живильних розчинів було встановлено, що значення коефіцієнта  $B_\Sigma$  для більшості живильних розчинів лежить в межах 0,097 – 0,114 См · м<sup>-1</sup> · г<sup>-1</sup> · л. Його середнє значення становить 0,1066 См · м<sup>-1</sup> · г<sup>-1</sup> · л. Цю величину можна використовувати для наближеного визначення значення питомої електропровідності живильного розчину за його концентрацією. При

цьому середньоквадратичне відхилення становить  $0,0054 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{л}$ , а похибка визначення питомої електропровідності розчину не перевищує  $0,015 \text{ См/м}$ .

Для приготування живильних розчинів використовують водопровідну воду, яка також має питому електропровідність  $\kappa_6$ . Тоді питома електропровідність живильного розчину

$$\kappa = \kappa_i + \sum_{i=1}^k B_i C_i. \quad (5)$$

**Результати досліджень та їх обговорення.** Для вимірювання питомої електропровідності розчинів випускаються контактні і безконтактні кондуктометричні аналізатори. Для слабких розчинів солей, які не утворюють осадів на поверхні первинного перетворювача, найбільш прийнятним є контактний кондуктометричний метод вимірювання.

Первинним перетворювачем контактного кондуктометричного перетворювача є вимірювальна комірка. Його входною величиною є питома електропровідність розчину  $\kappa$ , а вихідною – провідність вимірювальної комірки  $\sigma$ , які пов'язані співвідношенням:

$$\sigma = \frac{\kappa}{K}, \quad (6)$$

де  $K$  – константа комірки.

Проміжний перетворювач кондуктометра перетворює провідність вимірювальної комірки в уніфікований сигнал напруги постійного струму. При цьому статична характеристика проміжного перетворювача є лінійною. Тому статична характеристика кондуктометра є також лінійною і описується рівнянням:

$$U_{m1} = K_{m1} \kappa, \quad (7)$$

де  $U_{m1}$  – напруга на виході перетворювача, мВ;  $K_{m1}$  – коефіцієнт передачі.

Динамічні характеристики кондуктометра визначалися експериментально шляхом знімання кривих розгону. Для цього первинний перетворювач, розміщений у повітрі, вносили в  $0,02 \text{ н}$  розчин хлористого калію, питома

електропровідність якого при температурі 25 °С становить 0,2767 См/м. При цьому реєстрували зміну напруги на виході перетворювача за допомогою самописного приладу Н338. Отримана розгінна характеристика (рис. 1) апроксимувалася аперіодичною ланкою першого порядку:

$$W_{m1}(p) = \frac{K_{m1}}{T_{m1}p + 1}, \quad (8)$$

де  $T_{m1}$  – стала часу кондуктометричного перетворювача.

Значення сталої часу визначалося шляхом обробки експериментальних даних методом найменших квадратів. Для досліджуваного кондуктометричного концентратоміра АКК-М-01 коефіцієнт передачі становив  $100 \text{ мВ} \cdot \text{См}^{-1} \cdot \text{м}$ , стала часу 0,2 с, а передатна функція

$$W_{m1}(p) = \frac{10}{0,2p + 1}. \quad (9)$$

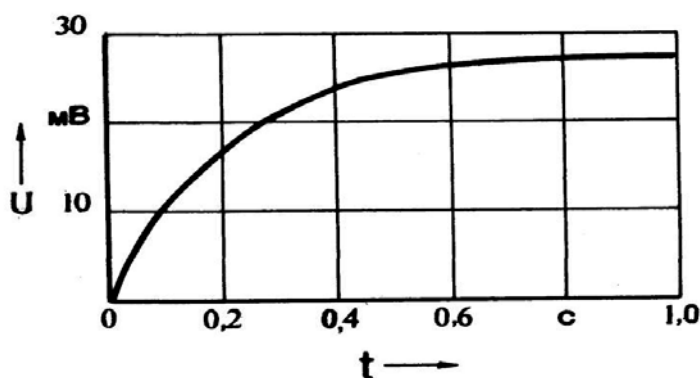


Рис. 1. Розгінна характеристика кондуктометричного концентратоміра

На підставі виробничих випробувань була розроблена методика калібрування кондуктометрів при контролі питомої електропровідності живильного розчину в гідропонних теплицях. На початку кожного сезону необхідно виконувати градування і перевірку вимірювального перетворювача за градуювальними розчинами 0,01 н, 0,02 н і 0,05 н розчинами хлористого калію, питома електропровідність яких відповідно становить 0,141, 0,277 і 0,667 См/м, тобто охоплює увесь діапазон зміни концентрації живильного розчину.

Вимірювальну комірку розміщують в 0,02 н розчині хлористого калію і коригують її константу, встановлюючи покажчик приладу на відповідну позначку шкали – 0,277 См/ м. Перевірку налагодження приладу виконують за двома іншими розчинами. Градування виконують при температурі розчинів, що дорівнює 25 °С.

У процесі експлуатації не рідше 1 разу на місяць необхідно перевіряти показання приладу шляхом відбору проб і вимірювання значення їх питомої електропровідності на лабораторному кондуктометрі. Якщо похибка вимірювань перевищує  $\pm 0,01$  См/м, коригують константу вимірювальної комірки, не виймаючи первинний перетворювач з розчину, попередньо вимірявши величину його питомої електропровідності на лабораторному кондуктометрі.

Нині для визначення величини рН розчинів найбільшого поширення набув потенціометричний метод вимірювання з використанням електродної системи, яка складається зі скляного вимірювального і хлорсрібного допоміжного електродів. Для визначення кислотності живильного розчину необхідно використовувати промислові рН-метри.

При зануренні в розчин електродної системи на виході первинного перетворювача виникає ЕРС, прямо пропорційна величині рН. Залежність ЕРС електродної пари  $E$  від активності іонів водню  $a_{H^+}$  описується рівнянням Нернста [6]:

$$E = E_0 + 2,3 \frac{RT}{zF} \lg a_{H^+}, \quad (10)$$

де  $E_0$  – стандартний потенціал;  $R$  – універсальна газова стала;  $T$  – абсолютна температура;  $z$  – заряд іонів;  $F$  – число Фарадея.

Проміжний перетворювач перетворює ЕРС електродної пари в уніфіковану напругу постійного струму. Він має лінійну статичну характеристику. Тому статична характеристика промислового рН-метра є також лінійної і описується рівнянням:

$$U_{m2} = K_{m2} \Delta pH, \quad (11)$$

де  $U_{m2}$  – напруга на виході перетворювача,  $K_{m2}$  – коефіцієнт передачі.

Динамічні характеристики рН-метра визначалися експериментально шляхом знімання кривих розгону при переході від буферного розчину з  $pH_1 = 8,93$  до буферного розчину з  $pH_2 = 4,01$  при температурі розчинів  $25\text{ }^\circ\text{C}$ . При цьому реєстрували зміну вихідної напруги проміжного перетворювача за допомогою самописного приладу НЗ38. Отримана розгінна характеристика (рис. 2) апроксимувалася аперіодичною ланкою першого порядку:

$$W_{m2}(p) = \frac{K_{m2}}{T_{m2}p + 1}, \quad (12)$$

де  $T_{m2}$  – стала часу.

Значення сталої часу визначали шляхом обробки експериментальних даних методом найменших квадратів. Для досліджуваного рН-метра рН-215 коефіцієнт передачі становила  $20\text{ мВ/од.рН}$ , стала часу  $T_{m2} 1,82\text{ с}$ , а передатна функція рН-метра має вигляд:

$$W_{m2}(p) = \frac{20}{1,82p + 1}. \quad (13)$$

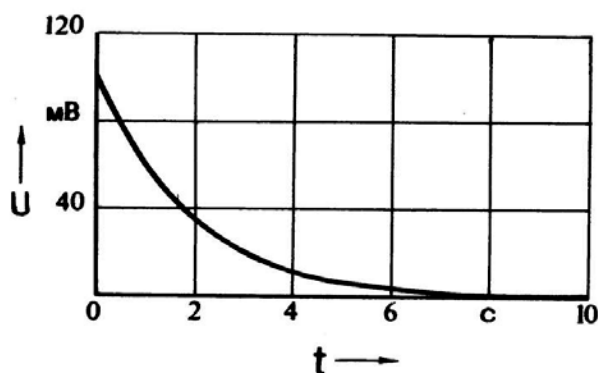


Рис. 2. Розгінна характеристика промислового рН-метра

На підставі виробничих випробувань була розроблена методика градуювання промислових рН-метрів для контролю кислотності живильного розчину. На початку кожного сезону необхідно ретельно промити електродний

систему, заправити бачок насиченим розчином хлористого калію і провести калібрування вимірювального перетворювача за буферними розчинами, які мають значення рН при температурі 25 °С 4,01, 6,86 і 8,93. За відсутності останнього можна також використовувати буферний розчин з рН 9,18. Електродну систему градуують за буферними розчинами з рН 4,01 і рН 8,93 (або 9,18). Перевіряють правильність калібрування за буферним розчином з рН 6,86. При цьому похибка вимірювань не повинна перевищувати  $\pm 0,1$  од. рН. Буферні розчини повинні мати температуру 25 °С.

У процесі експлуатації не рідше одного разу на місяць необхідно перевіряти показання приладу шляхом відбору проб і вимірювання кислотності розчину на лабораторному іонометрі типу И-160М. Якщо похибка вимірювання величини рН перевищує  $\pm 0,1$ , проводять коригування налагодження проміжного перетворювача, попередньо вимірявши значення рН розчину на лабораторному іонометрі, при цьому не виймаючи первинний перетворювач з розчину.

**Висновки і перспективи.** Для автоматичного контролю концентрації живильного розчину в гідропонних теплицях доцільно застосовувати промислові кондуктометри, а кислотності – рН-метри. Їх передатні характеристики апроксимуються аперіодичною ланкою першого порядку.

Розроблена методика вимірювання концентрації та кислотності живильного розчину, яка полягає у градуюванні кондуктометрів та рН-метрів за стандартними зразками розчинів перед сезоном вирощування овочів з періодичним контролем і коригуванням градуювання приладів за результатами вимірювання проб на відповідних лабораторних приладах.

#### **Список використаних джерел**

1. Савинова Н. И. Малообъемная гидропоника: что сдерживает ее внедрение / Н. И. Савинова // Картофель и овощи. – 1989. – №6. – С. 22-26.
2. 2. Алиев Э.А. Выращивание овощей в гидропонных теплицах / Э. А. Алиев. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – К.: Урожай, 1985. – 160 с.



3. Выращивание овощей в гидропонных теплицах / Под ред. Д. Д. Крылова. – К.: Урожай, 1977. – 128 с.

4. Агрохимия / [Ягодин Б.А., Смирнов П.М., Петербургский А.В. и др.]; под ред. Б.А. Ягодина. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Агропромиздат, 1989. – 639 с.

5. Кистень Г. Е. Определение концентрации питательного раствора в гидропонных теплицах кондуктометрическим методом / Г. Е. Кистень, В. В. Наконечный, А. Ю. Синявский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – К., 1990. – Вып. 72. – С. 64-68.

6. Физическая химия. Теоретическое и практическое руководство / [Б. П. Никольский, Н. А. Смирнова, М. Ю. Панов и др.]; под ред. акад. Б. П. Никольского – Л.: Химия, 1987. – 880 с.

### **References**

1. Savinova, N. I. (1989). Maloob'yemnaya gidroponika: chto sderzhivayet eye vnedreniye [Low-volume hydroponics: what constrains its introduction]. Kartoffel' i ovoshchi, 6, 22-26.

2. Aliyev, E. A. (1985). Vyrashchivaniye ovoshchey v gidroponnykh teplitsakh [Growing vegetables in hydroponic greenhouses]. Kyiv.: Urozhay, 160.

3. Krylov, D. D. (1977). Vyrashchivaniye ovoshchey v gidroponnykh teplitsakh [Growing vegetables in hydroponic greenhouses]. Kyiv: Urozhay, 128.

4. Yagodin, B. A., Smirnov, P. M., Peterburgskiy, A.V. (1989). Agrokhimiya. [Agrochemistry]. Moskow: Agropromizdat, 639.

5. Kisten', G. E., Nakonechnyy, V. V., Sinyavsky A. A. (1990). Opredeleniye kontsentratsii pitatel'nogo rastvora v gidroponnykh teplitsakh konduktometricheskim metodom [Determination of nutrient solution concentration in hydroponic greenhouses by conductometric method]. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva, 72, 64-68.

6. Nikol'skiy, B. P., Smirnova, N. A, Panov, M. Y. (1987). Fizicheskaya khimiya. Teoreticheskoye i prakticheskoye rukovodstvo [Physical chemistry. Theoretical and practical guidance ]. Leningrad: Khimiya, 880.

## **АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ И КИСЛОТНОСТИ ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА В ГИДРОПОННЫХ ТЕПЛИЦАХ**

*А. Ю. Синявский, В. В. Савченко*

**Аннотация.** *Выращивание растений в сооружениях закрытого грунта гидропонным методом требует систематического контроля концентрации и кислотности питательного раствора. Целью исследования была разработка системы автоматического контроля концентрации и кислотности питательного раствора при выращивании растений в теплицах гидропонным*

методом. Установлено, что удельная электропроводность питательного раствора прямо пропорционально зависит от его концентрации. Поэтому для определения концентрации питательного раствора целесообразно применять промышленные кондуктометры. Кислотность раствора определяют промышленным рН-метром со стеклянным измерительным и хлорсеребряным вспомогательным электродами. Динамические свойства этих преобразователей описываются аperiodическим звеном первого порядка. Разработана методика градуировки кондуктометров и рН-метров в производственных условиях.

**Ключевые слова:** гидропонная теплица, питательный раствор, удельная электропроводность, кислотность раствора, кондуктометр, рН-метр, градуировка

## **AUTOMATIC CONTROL OF CONCENTRATION AND ACIDITY OF A NUTRIENT SOLUTION IN HYDROPONIC GREENHOUSES**

*A. Sinyavsky, V. Savchenko*

**Abstract.** *Cultivation of plants in the structures of closed ground hydroponic method requires a systematic control of the concentration and acidity of the nutrient solution. The aim of the study was to develop a system for automatic control of the concentration and acidity of the nutrient solution when growing plants in greenhouses by the hydroponic method. It is established that the specific electrical conductivity of the nutrient solution is directly proportional to its concentration. Therefore, to determine the concentration of nutrient solution, it is advisable to use industrial conductometers. The acidity of the solution is determined by an industrial pH meter with glass measuring and silver chloride auxiliary electrodes. The dynamic properties of these converters are described by a first-order aperiodic link. A method for calibrating conductometers and pH meters in production conditions has been developed.*

**Key words:** *hydroponic greenhouse, nutrient solution, specific electrical conductivity, acidity of solution, conductometer, pH meter, graduation*