

УДК 631.2 : 658.2

АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ПРИГОТУВАННЯМ 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@ua.fm

Анотація. Метою дослідження була розробка системи автоматичного регулювання параметрів живильного розчину в гідропонних теплицях. Розроблена система передбачає автоматичне регулювання кислотності живильного розчину шляхом подачі у змішувальний резервуар за сигналами промислового рН-метра кислоти та концентрації розчину шляхом подачі за сигналами кондуктометра концентрованих розчинів мінеральних добрив. На основі проведених експериментальних досліджень визначено передатну функцію об'єкта керування, яку можна представити у вигляді інтегруючої та запізнювальної ланки. Встановлено, що найдоцільнішим є релейно-імпульсний закон регулювання. Розроблена система автоматичного регулювання параметрів живильного розчину дає можливість підвищити урожайність овочевих культур на 8 - 10 % при зменшенні на 10 – 15 % витрати мінеральних добрив і води.

Ключові слова: *гідропоніка, теплиця, живильний розчин, кислотність, концентрація розчину, питома електропровідність, система керування*

Актуальність. Гідропоніка – перспективний і ефективний метод в овочівництві закритого ґрунту, який дає можливість отримувати високі та стабільні врожаї за низької собівартості продукції.

Нині широке поширення набуло виробництво овочів на малооб'ємних субстратах, коли на одну рослину приходить 5 – 15 л субстрату. Вирощування тепличних культур цим методом дає можливість точніше та швидше регулювати параметри кореневого середовища, що суттєво підвищує врожайність, забезпечує більш раннє плодоношення, підвищує якість продукції. При цьому зменшується витрата води, мінеральних добрив та теплової енергії [1].

Найважливішими факторами при безґрунтовому вирощуванні рослин є кислотність (рН) та загальна концентрація живильного розчину, які необхідно

підтримувати на оптимальному рівні протягом всього періоду вегетації. Особливо це важливо при вирощуванні рослин методом малооб'ємної гідропоніки [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нині проводять коригування живильних розчинів на основі хімічних аналізів, які виконуються агрохімічною лабораторією. Дискретність відбору проб не дозволяє здійснювати безперервний контроль за зміною параметрів живильного розчину і своєчасно здійснювати його коригування, оскільки за період між аналізами 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 значення викликає порушення поглинання рослинами інших елементів [4], що призводить до зниження врожайності та якості продукції.

У зв'язку з цим виникла необхідність у розробці обладнання, яке забезпечує приготування живильного розчину заданого складу, контроль та автоматичне регулювання його кислотності на загальній концентрації.

Мета дослідження – розробка системи автоматичного регулювання кислотності та концентрації живильного розчину.

Матеріали і методи дослідження. Технологічна схема вузла приготування живильного розчину наведена на рис. 1. Блок теплиць обладнується розчинним вузлом, де в спеціальних ємкостях готуються розчини мінеральних добрив (на рис. 1 не показане), звідки вони насосом через фільтри закачуються в баки для зберігання концентрованих розчинів добрив А та Б відповідно для огірків 1 та томатів 3, добрива в яких для запобігання випадання в осад розподілені за спеціальною схемою. У розчинному вузлі встановлений також бак для зберігання кислоти 2.

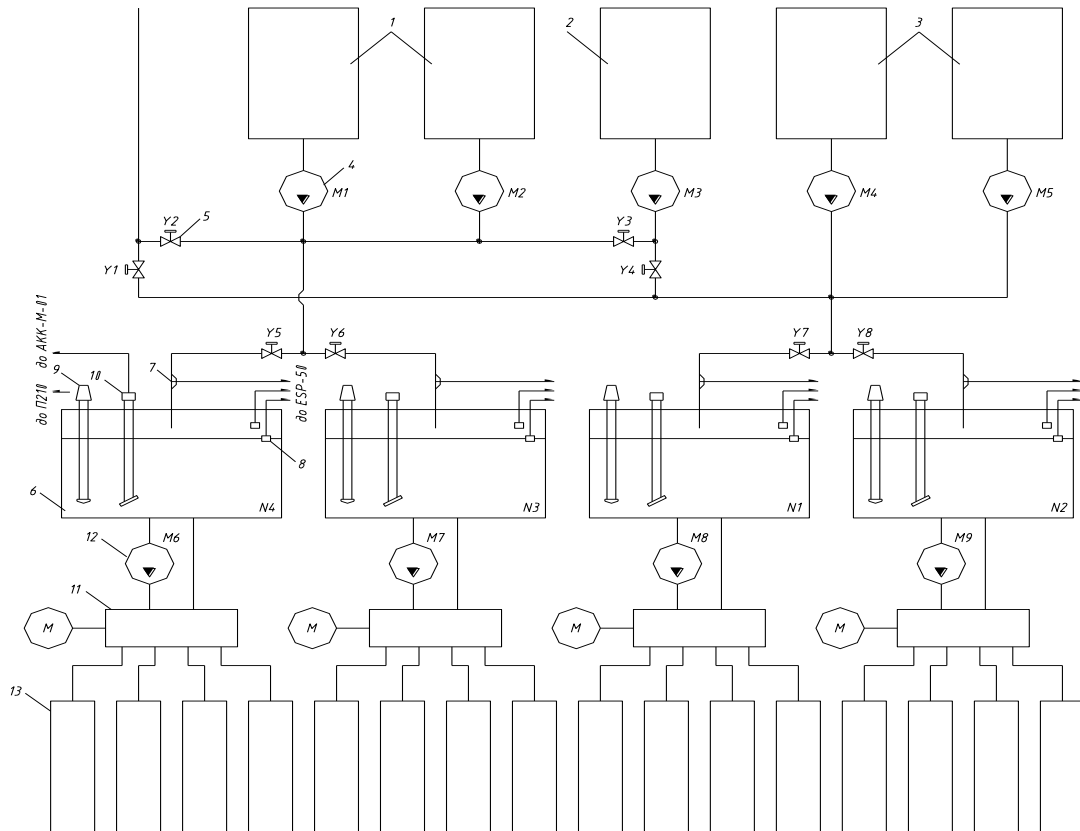


Рис. 1. Технологічна схема вузла для приготування живильного розчину в блоці гідропонних теплиць:

1 – баки для зберігання концентрованих розчинів добрив А та Б для огірків; 2 – бак для зберігання кислоти; 3 – баки для зберігання концентрованих розчинів добрив А та Б для томатів; 4 – насоси – дозатори; 5 – електромагнітні вентиля; 6 – змішувальні резервуари; 7 – датчик потоку; 8 – датчики верхнього та аварійного рівнів розчину; 9 – первинний перетворювач рН; 10 – первинний перетворювач кондуктометра

Із розчинного вузла компоненти живильного розчину подаються відповідними насосами – дозаторами 4 в змішувальні резервуари 6 спеціальним трубопроводом через керовані вентиля 5, встановлені на ньому. Потім у змішувальний резервуар тим же трубопроводом через вентиля Y1 або Y2 поступає вода з водопровідної мережі до його заповнення. При цьому компоненти живильного розчину подаються

у строго встановленій послідовності: кислота, концентровані розчини добрив А та Б, вода. Така послідовність їх подачі запобігає випаданню в осад мінеральних елементів. Приготовлений живильний розчин із резервуара 5 подається в систему краплинного поливання за заданою програмою.

Загальну концентрацію живильного розчину визначають за величиною його питомої електропровідності [5]:

$$\kappa = BC \quad (1)$$

де κ – питома електропровідність, См/м; B – коефіцієнт, См·л/м·моль; C – загальна концентрація солей у розчині, моль/л.

Коефіцієнт B визначають, використовуючи дані про склад розчину, які наводяться в рецептах живильних розчинів [6].

Для контролю загальної концентрації солей використовують аналізатор кондуктометричний, кислотності – автоматичний промисловий рН-метр з датчиками заглибного типу, які встановлюються у змішувальних резервуарах.

Загальна концентрація живильного розчину регулюється шляхом подачі насосами-дозаторами в змішувальний резервуар концентрованих розчинів добрив А і Б, а кислотність (рН) – шляхом подачі ортофосфорної кислоти.

Дослідження зміни параметрів живильного розчину при подачі концентрованих розчинів добрив проводилися з живильним розчином Зонневельда для огірків [7]. Розчини добрив, концентрація мінеральних елементів в яких у 100 разів перевищувала їх значення в робочому розчині, відбирали піпеткою об'ємом 1 мл і додавали до 1 л води. Кількість доданих концентрованих розчинів змінювали від 0 до 10 мл. При цьому вимірювали питому електропровідність розчину кондуктометром КЖІ-1.2, а кислотність – іономіром И-160М. Дослідження проводили при постійній температурі розчину 25 °С.

Коли знімали криві титрування води 30 % -ною ортофосфорною і 30 %-ною азотною кислотою, використовували блок автоматичного титрування БАТ-15 з бюреткою, ціна поділки якої становить 0,02 мл. Кислоту додавали до 1 л води. При цьому вимірювали значення питомої електропровідності і рН розчину. Температуру

розчину підтримували постійною (25 °С).

Результати дослідження. При подачі в змішувальний резервуар концентрованого розчину мінеральних добрив його питома електропровідність змінюється лінійно (рис. 2, крива 1).. При попередньому підкисленні води кислотою це не викликає істотної зміни величини рН (рис. 2, крива 2).

При подачі в змішувальний резервуар кислоти відбувається реакція нейтралізації бікарбонатів, які знаходяться у воді, і величина рН зменшується (рис. 3, криві 1, 3). Електропровідність живильного розчину змінюється неістотно (рис. 3, криві 2, 4). Вона дещо зменшується за рахунок утворення в ході реакції менш рухливих іонів.

Використовуючи результати досліджень зміни параметрів живильного розчину при подачі кислоти і концентрованих розчинів мінеральних добрив, розроблена математична модель динаміки кислотності і концентрації живильного розчину при його приготуванні.

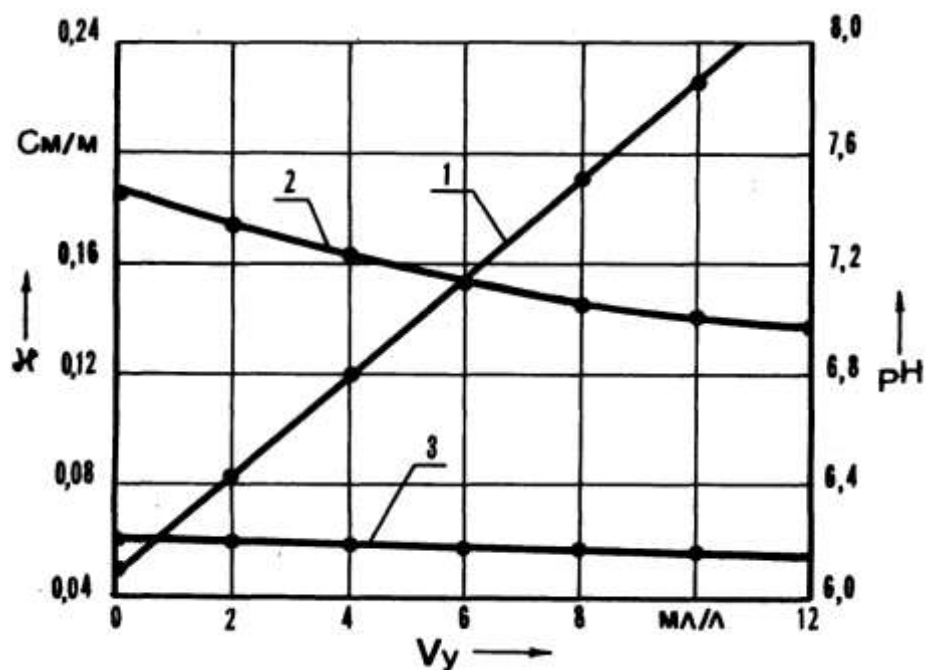


Рис. 2. Зміна параметрів живильного розчину при подачі концентрованих розчинів добрив:

1 – питома електропровідність; 2 – рН (водопровідна вода); 3 – рН (водопровідна вода, підкислена до рН 6,2)

Об'єктом керування є змішувальний резервуар. Змінні керування процесом – подача кислоти G_k і концентрованих розчинів мінеральних добрив G_y . Збуреннями є споживання рослинами мінеральних речовин із живильного розчину, а також подача води в змішувальний резервуар для компенсації її споживання рослинами. Вихідними параметрами процесу є кислотність (pH) та питома електропровідність живильного розчину.

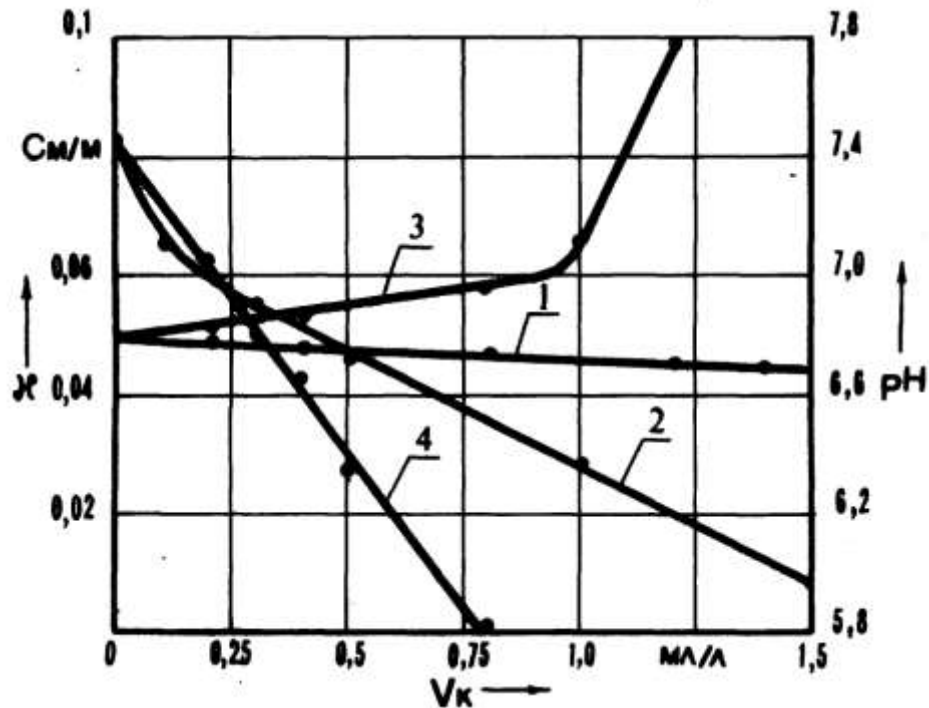


Рис. 3. Зміна параметрів живильного розчину при подачі 30%-го розчину ортофосфорної (1,2) і азотної (3,4) кислоти:

1,3 – питома електропровідність; 2,4 – pH

При дослідженні були прийняті такі допущення: питома електропровідність і кислотність живильного розчину представлені зосередженими параметрами; а процес описується лінійними диференційними рівняннями.

Для аналітичного опису змішувального резервуара як об'єкта керування скористуємося рівнянням матеріального балансу:

$$V \frac{dC_i}{dt} = \sum Q_i, \quad (2)$$

де C_i – концентрація речовини в розчині; V – об'єм розчину; $\sum Q_i$ – подача речовини в резервуар.

Із рівня матеріального балансу з урахуванням (2) випливає, що зміна питомої електропровідності та рН розчину при ідеальному змішуванні і нульових початкових умовах опишуться такими рівняннями:

$$\rho_k = K_{11}G_y + K_{12}G_k, \quad (3)$$

$$p(\Delta pH) = K_{21}G_y + K_{22}G_k, \quad (4)$$

де K_{11} , K_{12} , K_{21} і K_{22} – коефіцієнти передачі об'єкта керування. При об'ємі резервуара 120 м³, використанні розчину Зонневельда для огірків і 30 %-ної ортофосфорної кислоти коефіцієнт $K_{11}=0,147$ См· м⁻⁴, $K_{12}=0,025$ См· м⁻⁴, $K_{21}=-0,033$ од.рН· м⁻³, $K_{22}=-6,5$ од. рН· м⁻³.

У розглянутій системі буде виникати запізнювання, яке характеризується часом τ , необхідним для проходження живильного розчину від розчинного вузла до змішувального резервуара (транспортне запізнювання), а також для встановлення рівноваги внаслідок перемішування розчину. За імпульсними перехідними характеристиками об'єкта керування (рис. 4) встановлено, що час чистого запізнювання за каналом регулювання кислотності складає 528 с, за каналом регулювання концентрації – 1284 с.

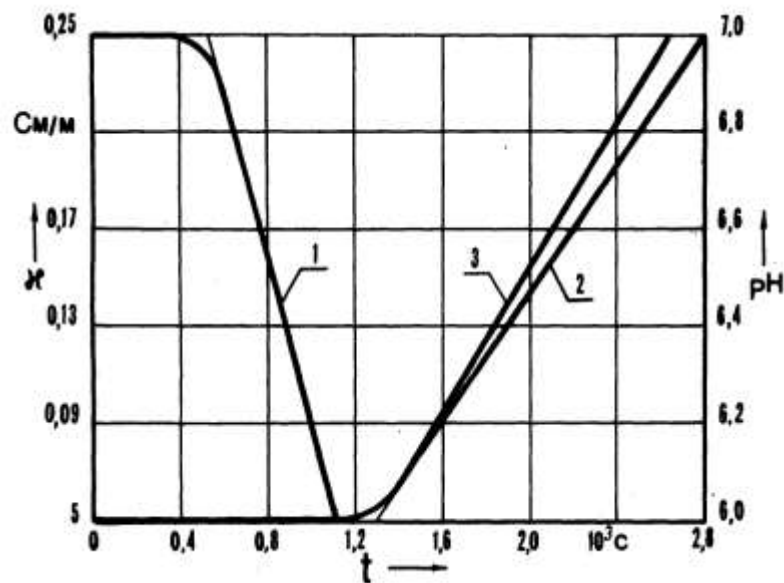


Рис. 4. Перехідні характеристики об'єкта керування:

1 – за каналом регулювання кислотності розчину; 2 – за каналом регулювання концентрації розчину при вирощуванні огірків; 3 – за каналом регулювання концентрації розчину при вирощуванні томатів

Як випливає із рівнянь (3), (4) змішувальний резервуар є двомірним об'єктом. Але внаслідок того, що коефіцієнти K_{12} та K_{21} дуже малі, двосторонніми перехресними зв'язками можна знехтувати і розглядати регулювання як незв'язне з передатною функцією об'єкта керування

$$W(p) = \begin{vmatrix} W_{11} \\ W_{22} \end{vmatrix}, \quad (5)$$

де $W_{11}(p)$ – передатна функція за каналом регулювання загальної концентрації розчину при вирощуванні огірків:

$$W_{11}(p) = \frac{0,147}{p} e^{-1284p}; \quad (6)$$

при вирощуванні томатів:

$$W_{11}(p) = \frac{0,167}{p} e^{-1284p}, \quad (7)$$

$W_{22}(p)$ – передатна функція за каналом регулювання кислотності розчину:

$$W_{22}(p) = \frac{6,5}{p} e^{-528p}. \quad (7)$$

Оскільки об'єкт керування характеризується великим часом запізнювання як за каналом регулювання кислотності, так і за каналом регулювання його концентрації, а також необхідністю окремої подачі компонентів живильного розчину у встановленій послідовності: кислота, концентровані розчини А і Б, вода, найприйнятнішим є релейно-імпульсний закон регулювання.

Замкнені системи автоматичного регулювання параметрів живильного розчину є двома одноконтурними системами, які мають первинні вимірювальні перетворювачі питомої електропровідності 6 та кислотності 10, регулюючий пристрій 3, насоси подачі кислоти 9 та концентрованих розчинів добрив 4 (рис. 5).

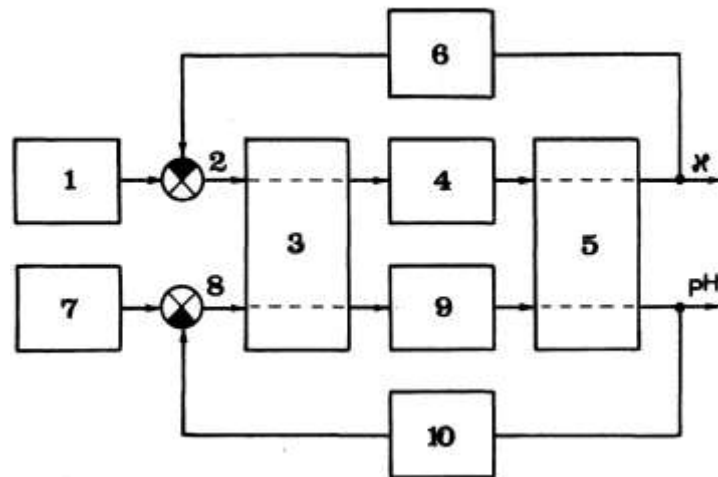


Рис. 5. Функціональна схема системи автоматичного регулювання параметрів живильного розчину:

1,7 – задавальні пристрої; 2, 8 – пристрої порівняння; 3 – керуючий пристрій; 4, 9 – виконавчі механізми; 5 – об’єкт керування; 6 – концентратомір; 10 – рН-метр

Якщо значення кислотності розчину більше заданого, включається в роботу насос-дозатор кислоти і подає її в змішувальний резервуар до тих пір, доки рН не досягне заданого значення. Також якщо значення концентрації розчину менше заданого, включаються в роботу насоси-дозатори добрив (виконавчі механізми), які подають у змішувальний резервуар концентровані розчини мінеральних добрив до тих пір, доки значення питомої електропровідності не досягне заданого значення. При цьому спочатку в змішувальний резервуар поступає певна доза кислоти, потім – добрив, після чого подають воду до досягнення в резервуарі датчика верхнього рівня. Після цього опитуються первинні перетворювачі і відбувається подача компонентів живильного розчину в другий змішувальний резервуар і т.д.

Для попередження виникнення аварійних ситуацій при приготуванні живильного розчину на трубопроводі встановлюють датчики потоку 7 (рис. 1), а в змішувальних резервуарах – датчики верхнього та аварійного рівнів 8. За сигналами цих датчиків, а також при перевищенні концентрації розчину заданого значення або зниженні його кислотності припиняється подача компонентів живильного розчину і вмикається аварійна сигналізація.

Керуючий пристрій виконаний на базі мікропроцесора з блоком спряження з датчиками і виконавчими механізмами. Він є багатоканальним регулятором, який реалізує імпульсний закон регулювання, забезпечує виконання логічних операцій та програмне керування виконавчими механізмами.

Висновки

У результаті проведених досліджень розробленої системи автоматичного керування приготуванням живильного розчину в гідропонних теплицях встановлено, що відхилення кислотності живильного розчину від заданого значення не перевищує 0,2 од. рН, а його питомої електропровідності – 0,02 См/м, що відповідає агротехнічним вимогам. При цьому не спостерігалось випадання солей в осад.

За рахунок регулювання складу живильного розчину урожайність овочів підвищилася на 8 – 10 % при зменшенні на 10 – 15 % витрати мінеральних добрив і води.

Список літератури

1. Савинова Н. И. Малообъемная гидропоника: что сдерживает ее внедрение / Н. И. Савинова // Картофель и овощи. – 1989. – №6. – С. 22-26.
2. Тепличное овощеводство на малообъемной гидропонике / [Х. Симитчиев, В. Каназирска, К. Милие, П. Джуров]; пер. с болг. – М.: Агропромиздат, 1985. – 136 с.
3. Выращивание овощей в гидропонных теплицах / Под ред. Д. Д. Крылова. – К.: Урожай, 1977. – 128 с.
4. Алиев Э.А. Выращивание овощей в гидропонных теплицах / Э. А. Алиев. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – К.: Урожай, 1985. – 160 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. – 1990. – Вып. 72. – С. 64-68.
6. Синявський О. Ю. Автоматичне керування мінеральним живленням рослин у гідропонних теплицях / О. Ю. Синявський, В. В. Савченко. – К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2016. – 249 с.
7. Sonneveld C. Growing cucumbers and Tomatoes in Rockwool // Pros. of the 5th Intern. Cong. on Soilless Culture. – 1980. – P. 253 – 262.

References

1. Savinova, N. I. (1989). Maloob'yemnaya gidroponika: chto sderzhivayet eye vnedreniye [Small-volume hydroponics: what hinders its implementation]. Kartofel' i ovoshchi, №6, 22-26.

2. Simitchiyev, Kh., Kanazirska, V., Miliyev, K., Dzhurov, P. (1985). Teplichnoye ovoshchevodstvo na maloob'yemnoy gidroponike [Greenhouse vegetable production on small-volume hydroponics]. Moscow, Agropromizdat, 136.
3. Krylov, D.S. ed. (1977). Vyrashchivaniye ovoshchey v gidroponnykh teplitsakh [Cultivation of vegetables in hydroponic greenhouses] . Kyiv, Urozhay, 128.
4. Aliyev, E.A. (1985). Vyrashchivaniye ovoshchey v gidroponnykh teplitsakh [Cultivation of vegetables in hydroponic greenhouses]. Kyiv, Urozhay, 160.
5. Kisten', G. E., Nakonechnyy, V. V., Sinyavskiy, A. YU. (1990). Opredeleniye kontsentratsii pitatel'nogo rastvora v gidroponnykh teplitsakh konduktometricheskim metodom [Determination of the concentration of the nutrient solution in hydroponic greenhouses by conductometric method]. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva., 72, 64-68.
6. Syniavskiy, O. Yu, Savchenko, V. V. (2016). Avtomatychne keruvania mineralnym zhyvlenniam roslin u hidroponnykh teplytsiakh [Automatic control for mineral nutrition of plants in hydroponic greenhouses]. Kyiv, KOMPRYNT, 249 .
7. Sonneveld, C. (1980). Growing cucumbers and Tomatoes in Rockwool. Pros. of the 5th Intern. Cong. on Soilless Culture, 253 – 262.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРИГОТОВЛЕНИЕМ ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА В ГИДРОПОННЫХ ТЕПЛИЦАХ

А. Ю. Синявский, В. В. Савченко

Аннотация. *Целью исследования была разработка системы автоматического регулирования параметров питательного раствора в гидропонных теплицах. Разработанная система предусматривает автоматическое регулирование кислотности питательного раствора путем подачи в смесительный резервуар по сигналам промышленного рН-метра кислоты и концентрации раствора путем подачи по сигналам кондуктометра концентрированных растворов минеральных удобрений. На основе проведенных экспериментальных исследований определена передаточная функция объекта управления, которую можно представить в виде интегрирующего и запаздывающего звеньев. Установлено, что наиболее целесообразным является релейно-импульсный закон регулирования. Разработанная система автоматического регулирования параметров питательного раствора позволяет повысить урожайность овощных культур на 8 – 10 % при уменьшении на 10 – 15 % расхода минеральных удобрений и воды.*

Ключевые слова: *гидропоника, теплица, питательный раствор, кислотность, концентрация раствора, удельная электропроводность, система управления*

AUTOMATIC CONTROL BY THE PREPARATION OF NUTRIENT SOLUTION IN HYDROPONIC GREENHOUSES

A. Sinyavsky, V. Savchenko

Annotation. *The aim of the study was to develop a system of automatic control of the nutrient solution parameters in hydroponic greenhouses. A system provides for automatic*

control of acidity by feeding of nutrient solution in the mixing tank by signals commercial pH meter and the concentrations of solution by feeding of concentrated solutions by signals conductometer. On the basis of experimental studies determined the transfer function of control object, which can be represented as an integrating and delayed care. It was found that the most appropriate is the relay switching control law. The developed system of automatic control of the parameters of the nutrient solution allows to increase the yield of vegetable crops by 8 – 10 % with a decrease by 10 – 15 % of the consumption of mineral fertilizers and water.

Key words: *hydroponics, greenhouse, nutrient solution, acidity, concentration of the solution, the conductivity, the control system*