

УДК 631.2:631.171.65

DOI <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/22>

Прокопенко Т.О.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Березюк І.А.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Зубенко В.О.

Центральноукраїнський національний технічний університет

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВОЛОГІСНИМ РЕЖИМОМ ТЕПЛИЦІ НА ОСНОВІ АПАРАТУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

На основі аналізу стану досліджень в галузі автоматизації процесів керування мікрокліматом у теплиці, особливостей теплиці як складного об'єкта керування з перехресними зв'язками в роботі доведено, що підвищення енергоефективності процесу вирощування овочів у спорудах закритого ґрунту можна досягти за рахунок вибору та впровадження нової методології розробки та реалізації системи автоматичного керування температурно-вологісним режимом.

У статті подано методику створення автоматизованої системи керування температурно-вологісним режимом теплиці на основі нейромережевого підходу. Виконано оцінку можливості та обґрунтовано особливості використання математичного апарату нейронних мереж для створення інтелектуальної системи керування температурно-вологісним режимом у теплиці. Встановлено, що архітектура адаптивної системи керування температурно-вологісним режимом у теплиці, побудованій за допомогою такого підходу, повинна включати блок нейромережевої адаптації, на вході якого діють агротехнічні вимоги до вирощування продукції, та базу знань технологічного процесу, яка постійно оновлюється за даними про контрольовані збурення.

Нейромережева система керування температурно-вологісним режимом у теплиці змінює значення потужностей обігрівачів повітря та ґрунту до тих пір, поки температура повітря біля рослини та вологість повітря не будуть дорівнювати нормативним вимогам. У системі керування паралельно відбувається два процеси: формування енергоефективної вибірки навчальних даних, яку здійснює інтелектуальний модуль адаптації системи керування, та безпосереднє керування температурно-вологісним режимом. Мета такого розпаралелювання полягає у тому, щоб постійно (у випадку неякісної роботи системи керування) або періодично, наприклад раз на добу, адаптивно уточнювати її роботу відповідно до характеристик процесів у теплиці. Таким чином забезпечується постійне відслідковування зміни параметрів теплиці та зміна налаштувань системи керування.

Використання нейромережевої адаптації дозволило оптимізувати структуру автоматизованої системи керування температурно-вологісним режимом овочевої теплиці в умовах реального часу та створити енергоефективну поновлювану базу знань режимів функціонування автоматизованої системи керування тепличного господарства.

Ключові слова: теплиця, енергоефективність, температурно-вологісне поле, агротехнічні вимоги, алгоритм Сугено, нейронна мережа, інтелектуальна система керування, нейромережева адаптація.

Постановка проблеми. Нині можна виділити певні проблеми керування тепловими процесами споруд захищеного ґрунту. Низький рівень керування теплообмінними процесами у теплицях пов'язаний як із великими значеннями транспортного запізнення в каналах керування, так і з дією численних збурень, із нерівномірністю обігріву повітря та ґрунту трубними системами та іншими чинниками. Одна з причин полягає в недостатній

обґрунтованості використовуваних математичних моделей і відсутності систем автоматизації математичного опису цих об'єктів на всіх стадіях розробки та експлуатації автоматизованих систем управління.

Існуючі закони керування мікрокліматом теплиць не оптимальні, вони не враховують перехресних зв'язків між параметрами, що може призвести до несвочасної подачі теплоносія,

надлишкових витрат енергії і недоотримання врожаю овочів [1; 4; 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений порівняльний аналіз існуючих систем керування мікрокліматом у теплицях показав, що всі розглянуті системи не враховують нерівномірність споживання електроенергії, що призводить до її перевитрат. У найпростішому випадку енергоефективність від використання систем керування виражається економією енергетичних витрат за умови дотримання нормативних вимог щодо мікроклімату.

Одним із перспективних напрямів зниження витрат на вирощування продукції при дотриманні агротехнічних вимог є електричний спосіб обігріву.

Аналіз досліджень у галузі автоматизації процесів керування мікрокліматом у теплиці показав, що підвищення енергоефективності процесу вирощування овочів у спорудах закритого ґрунту можна досягти за рахунок вибору та впровадження нової методології розробки та реалізації системи автоматичного керування температурно-вологісним режимом. На вибір такої методології впливає багато чинників [4; 5]: характер зміни сигналів у трактах керування, збурень і завад; динаміка теплиці як об'єкта керування; тип та властивості регулюючих органів; тип джерела енергії.

Аналіз теплиці як об'єкта керування показав [4; 5], що вона належить до багатовимірних багатозв'язаних об'єктів зі змінними параметрами, які функціонують в умовах дії векторних випадкових корисних сигналів, збурень і завад, характеристики яких наперед невизначені. Тому найбільш ефективним є [1; 4; 5] формування методології проектування систем керування такими об'єктами на основі використання адаптивних методів керування в поєднанні з методами побудови нейронних мереж [2; 3].

Останнім часом все більшого розповсюдження набувають системи керування з використанням нейронних мереж [2; 3; 4]. Використання математичного апарату нечіткої логіки в системах автоматичного керування мікрокліматом у теплиці дозволяє формалізувати і опрацювати інформацію про параметри, що контролюються, яка надходить у лінгвістичній формі. Проте більша частина систем, які розглядаються, не мають інформації з об'єкта досліджень у реальному часі, оскільки працюють із базою даних з інформації, яку було отримано раніше, не враховують і не регулюють енерговитрати при виробництві овочів, що в умовах підвищення цін на енергоносії має велике значення [2; 3; 4].

Якщо взяти до уваги складність безпосереднього виміру значення норми ефективного енергоспоживання та зв'язок між її значенням і агротехнічними умовами вирощування певної культури у теплиці [2; 3; 4; 5], то стає зрозумілим, що для підвищення енергоефективності процесу вирощування овочів за рахунок автоматизації процесу керування доцільно розробити аналітичну систему самонастроювання з нейромережним обчислювачем. В аналітичних системах, які самонастроюються, необхідність у безпосередньому вимірюванні показника мети управління (наприклад, норми енергоефективності) на заданому інтервалі часу відсутня, оскільки екстремальне значення цього показника визначається побічно з аналізу агротехнічних вимог і конструкції джерела тепла. Проте виникає необхідність у технічних засобах, здатних виконувати таке вимірювання в умовах невизначеності.

Нині існує низка автоматичних систем керування та експертних систем із нечіткими та нейромережними структурами, які переважають традиційні аналоги при роботі із нелінійними та нестационарними об'єктами (процесами) [1; 5]. Перевагами розробок із використанням нечіткої логіки та нейронних мереж є:

1) робота в умовах невизначеності щодо характеру вхідних сигналів;

2) надійне функціонування порівняно з традиційними системами вхідних змінних.

До недоліків нейронної мережі можна віднести:

1) тривалий час навчання;

2) складність аналізу структури «навченої» мережі, неможливість її оптимізації;

3) неможливість введення апріорної (експертної) інформації для прискорення навчання мережі.

До недоліків систем із використанням нечіткої логіки можна віднести:

1) неможливість автоматичного здобуття знань у процесі функціонування;

2) необхідність розбиття універсальних множин на окремі області, що створює граничну кількість вхідних параметрів.

Усунення цих недоліків сприяло б підвищенню продуктивності роботи систем керування та керування об'єктів (процесів). Такі міркування були покладені в основу створення гібридних нейронних мереж, де висновки робляться на основі апарату нечіткої логіки, а відповідні функції належності підстроюються із використанням алгоритму навчання нейронних мереж. Ці системи можуть не лише використовувати апріорну інформацію, а й отримувати у процесі функціонування нові знання [5].

Одним із ефективних засобів вимірювання в умовах невизначеності, як доведено у літературних джерелах [4; 5], є інтелектуальна система, побудована за допомогою нейронної мережі. Тому поєднання аналітичної системи адаптації з нейронною мережею для автоматизації управління таким складним технологічним об'єктом як теплиця є обґрунтованим.

Постановка завдання. Метою роботи є обґрунтування методики створення автоматизованої системи керування температурно-вологісним режимом на основі апарату нечіткої логіки за конструкцією теплиці, характеристиками системи підігріву теплоносія, агротехнічними умовами, характеристиками датчиків і виконавчих органів системи автоматики теплиці блочного типу з комбінованим обігрівом ґрунту та повітря для підвищення ефективності процесів вирощування сільськогосподарських культур.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для вирішення поставленої задачі було обрано підхід, при якому повинно відбуватися створення бази знань роботи системи та самонавчання системи керування.

Використання адаптивних методів керування є одним з ефективних способів вирішення задач управління об'єктами в умовах невизначеності. Найдоцільнішим є використання апарату нечіткої логіки з нейромережевою адаптацією [2; 3], оскільки внаслідок зміни зазначених вище умов нейронну мережу можна буде перенавчати за рахунок накопичення бази знань під час роботи системи. Саме така можливість програмно реалізована у середовищі ANFIS Editor пакету прикладних математичних програм MatLab® [3; 4]

Із використанням нейронної мережі система керування температурно-вологісним режимом у теплиці змінює значення потужностей обігрівачів повітря та ґрунту до тих пір, поки температура повітря біля рослини та вологість повітря не встановляться рівними нормативним вимогам, які проаналізовані у [4] (рис. 1). Такий набір даних зберігається та буде використаний для створення

нейромережевої системи керування. Основним критерієм при створенні нейромережі є:

$$P_n + \alpha \cdot f \cdot (\Theta - t) = m_n \cdot c_n \cdot \frac{dt}{d\tau} + \alpha_s \cdot F_c \cdot (t - \Theta_c) + \alpha_p \cdot f_p \cdot (t - \Theta_p)$$

де: СПО – сумарна потужність обігрівачів, АВ – агротехнічні вимоги

Для опрацювання інформації було використано алгоритм Сугено (рис. 2). Сугено – це нечітка база знань, яка ділить простір вхідних змінних на нечіткі зони, у яких зв'язок між вхідними та вихідною змінною задають лінійною функцією. Результат нечіткого висновку отримують як зважену лінійну комбінацію результатів нечітких логічних висновків для кожного правила [3].

Алгоритм Сугено використовує набір правил у такій формі (наведемо приклад двох правил):

П₁: якщо $x \in A_1$ і $y \in B_1$ тоді $z_1 = a_1x + b_1y$,

П₂: якщо $x \in A_2$ і $y \in B_2$ тоді $z_2 = a_2x + b_2y$.

На першому етапі знаходяться ступені істинності для передумов кожного правила: $A_1(x_0)$, $A_2(x_0)$, $B_1(y_0)$, $B_2(y_0)$.

На другому етапі знаходяться:

$$m_c \cdot c_c \cdot \frac{d\Theta_c}{d\tau} = \alpha_c^a \cdot F_c^a \cdot (t - \Theta_c) - \alpha_c^n \cdot F_c^n \cdot (\Theta_c - t_s), \quad (1)$$

індивідуальні виходи правил:

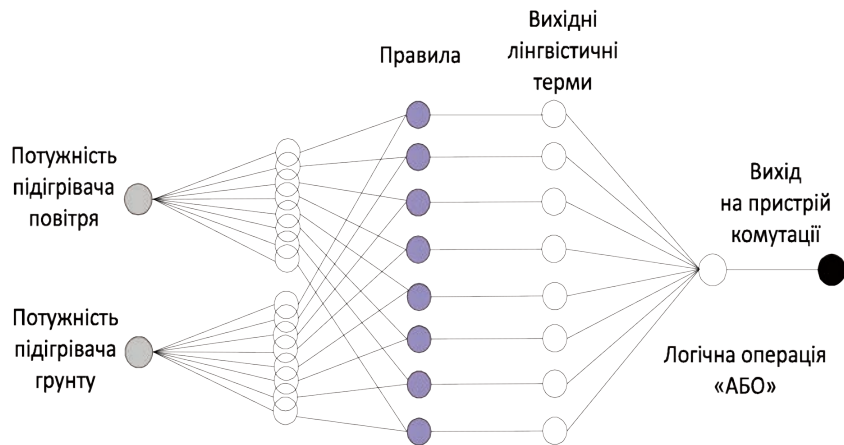


Рис. 1. Архітектура АСК температурно-вологісним режимом (модуль ANFIS-Editor MatLab®)

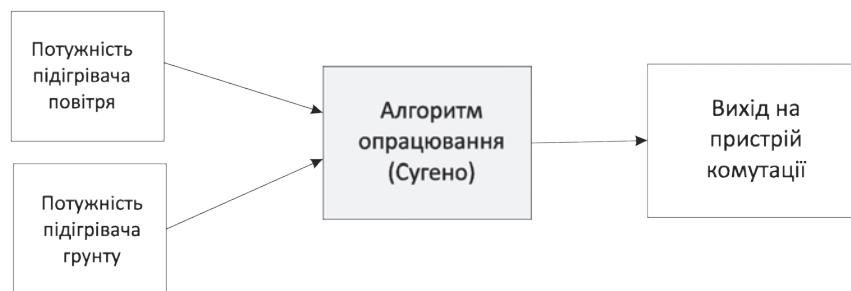


Рис. 2. Структура нечіткої АСК температурно-вологісним режимом (модуль FIS-Editor MatLab®)

$$m_p \cdot c_p \cdot \frac{d\Theta_p}{d\tau} = \alpha_p \cdot f_p \cdot (t - \Theta_p), \quad (2)$$

На третьому етапі визначається чітке значення змінної висновку:

$$z_0 = \frac{\alpha_1 z_1^* + \alpha_2 z_2^*}{\alpha_1 + \alpha_2}, \quad (3)$$

де A_1, A_2, B_1, B_2 – нечіткі множини вхідних параметрів АСК температурно-вологісним режимом у теплиці; x та y – вхідний і вихідний сигнали; α_1, α_2 – ступені істинності; z_1, z_2 – індивідуальні виходи правил; z_0 – вихід мережі.

Архітектура комплексу прийняття рішень автоматизованої системи керування, представлена на рис. 3, буде мати у своєму складі:

- блок нечіткого керування;
- пристрій комутації (вибору режиму);
- базу знань технологічного процесу;
- блок нейромережевої адаптації.

На вхід надходять дані щодо потужності, яка здатна забезпечити необхідний температурно-вологісний режим у теплиці. Вихідний параметр – потужність, яка потрібна для обігріву теплиці при дотриманні агротехнічних вимог та економії енерговитрат у виробника. Залежно від їх значень комутаційний пристрій повинен забезпечувати один із режимів:

- Режим 1 – підключення лише обігрівача повітря.
- Режим 2 – підключення лише обігрівача ґрунту.
- Режим 3 – підключення обігрівача повітря та ґрунту.

На початковому етапі за допомогою нейронної мережі із використанням експертних даних відбувається адекватне налаштування системи керування на основі нечіткої логіки. Далі відбувається запуск автоматизованої системи керування. У процесі функціонування постійно поповнюється база знань технологічного процесу. На початковому етапі нейромережевого моделювання температурно-вологісного режиму в теплиці база знань наповнюється на основі експериментальних досліджень.

При невідповідності якості керування або через певний інтервал часу (встановлюється фахівцем-експертом) інформація із бази даних передається на інтелектуальний модуль, де за допомогою нейронної мережі здійснюється перенавчання нечіткої системи. Все це виконується на основі алгоритму зворотного розповсюдження помилки, який можна реалізувати за допомогою модуля Fuzzy Logic Toolbox програмного пакету MatLab®, а саме графічного інтерфейсу гібридних (нечітких) нейронних мереж ANFIS (Adaptive Network Based Fuzzy Inference System). Цей редактор дозволяє автоматично синтезувати з експериментальних даних нейронечіткої мережі. У системі використано нейронну мережу типу радіально-базисна функція (RBF) (рис. 4) [6; 7; 8].

Аналіз результатів імітаційного моделювання [8] дозволив зробити висновок, що якісні характеристики системи керування задовольняють агротехнічні вимоги. Використавши створену адекватну нейромережеву модель, сформовано енергоефективну вибірку даних для синтезу відповідної інтелектуальної системи керування.

Використання нейромережевої адаптації дозволило оптимізувати структуру автоматизованої системи керування температурно-вологісним режимом овочевої теплиці в умовах реального часу та створювати енергоефективну поновлювану базу знань режимів функціонування автоматизованої системи керування тепличного господарства.

Висновки. Визначено, що виконання завдань формування мікроклімату доцільно здійснювати шляхом апарату

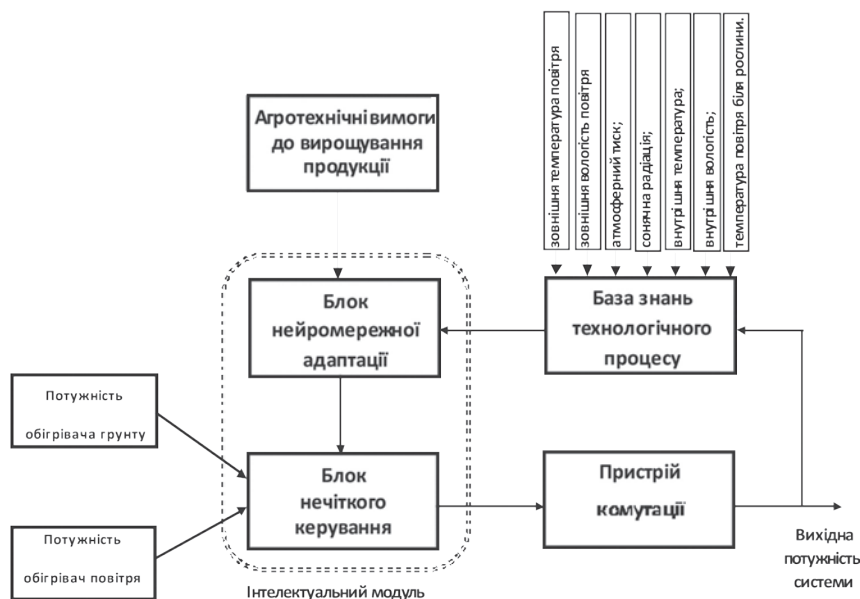


Рис. 3 Архітектура автоматизованої системи керування температурно-вологісним режимом овочевої теплиці

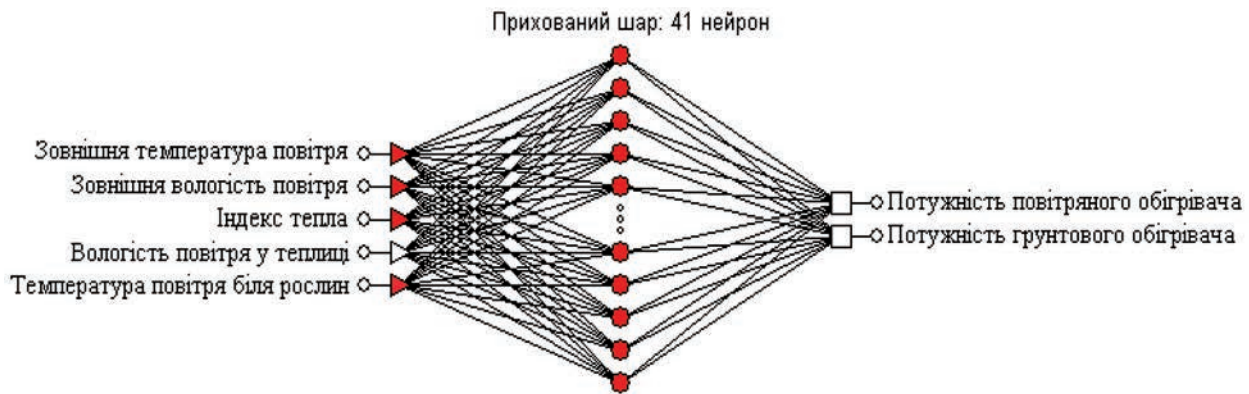


Рис. 4. Архітектура нейромережевої моделі температурно-вологісного режиму у теплиці

нечіткої логіки. Оцінено можливість та обґрунтовано особливості використання математичного апарату нейронних мереж для створення інтелектуальної системи керування температурно-вологісним режимом у теплиці.

Встановлено, що архітектура адаптивної системи керування температурно-вологісним режи-

мом у теплиці аркового типу, вона побудована за допомогою нечіткого підходу і повинна включати блок нейромережевої адаптації, на вході якого діють агротехнічні вимоги до вирощування продукції, та базу знань технологічного процесу, яка постійно оновлюється за даними про контрольовані збурення.

Список літератури:

1. Гільє Л.С. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту. Частина 1. Закритий ґрунт. Вінниця : Нова книга, 2008, 364 с.
2. X. Blasco Model-based predictive control of greenhouse climate for reducing energy and water consumption. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2007. Vol. 55, Issue 1. P. 49–70.
3. Корчемний М.О., Лисенко В.П. Нейронні мережі. Київ : НАУ, 2008. 156 с.
4. Лисенко В.П., Дудник А.О. Оптимальне управління: стан та перспективи розвитку в тепличній галузі. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2011. Вип. 166. С. 53–56.
5. Інноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу / А.П. Ладанюк, В.М. Решетюк, В.Д. Кишенько, Я.В. Смітюх. Київ : Центр учбової літератури, 2014. 280 с.
6. Прокопенко Т.О. Інтелектуальна система керування температурно-вологісним режимом у теплиці. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК»*. 2015. Вип. 209. Ч. I. С. 140–147.
7. Прокопенко Т.О., Мірошніченко М.С., Зубенко В.О. Комп'ютерно-інтегрована система автоматизації мікроклімату у теплиці з використанням нейромереж. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»*. 2014. Вип. 154. С. 79–82.
8. Прокопенко Т.О., Мірошніченко М.С., Зубенко В.О. Моделювання нейромережевого керування температурно-вологісним режимом у теплиці. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2016. Вип. 29. С. 235–239.

Prokopenko T.O., Bereziuk I.A., Zubenko V.O. AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF TEMPERATURE-HUMIDITY REGIME OF THE GREENHOUSE ON THE BASIS OF THE FUZZY LOGIC APPARATUS

Based on the analysis of the state of research in the field of automation of microclimate control processes in the greenhouse, features of the greenhouse as a complex control object with cross-links, it is proved that increasing energy efficiency of vegetable growing in indoor facilities can be achieved by the implementation of an automatic control system for temperature and humidity. The article presents the method of creation of automated control system of a temperature-humidity mode of the greenhouse based on the neural network approach.

Besides, it includes the assessment of the possibility and features of the use of the mathematical apparatus of neural networks to create an intelligent control system for temperature and humidity in the greenhouse. It is established that the architecture of the adaptive temperature-humidity control system in a greenhouse built using this approach should include a neural network adaptation unit, at the entrance of which there are agronomic requirements for growing products and a knowledge base of technological process, which is constantly updated on controlled disturbances.

The neural network temperature and humidity control system in the greenhouse changes the values of air and soil heaters until the air temperature near the plant and humidity are equal to the regulatory requirements. In the control system there are two processes in parallel: the formation of energy-efficient sampling of educational data, which is carried out by an intelligent module of adaptation of the control system and direct control of temperature and humidity. The purpose of such parallelization is to constantly, in case of poor operation of the control system or periodically, for example once a day, adaptively refine its operation in accordance with the characteristics of the processes in the greenhouse.

This ensures constant monitoring of changes in the parameters of the greenhouse and changes in the settings of the control system. The use of neural network adaptation allowed to optimize the structure of the automated control system of temperature and humidity of the vegetable greenhouse in real-time and to create an energy-efficient renewable knowledge base of the automated control system of the greenhouse.

Key words: *greenhouse, energy efficiency, temperature – humidity field, agrotechnical requirements, Sugeno algorithm, neural network, intelligent control system, neural network adaptation.*