



УДК [628.87:621. 234]+[681.5:001.827]

## АДАПТИВНА СИСТЕМА З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ ТЕПЛИЦІ ЯК ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ

Сабо А.Г., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел.: (0619) 42-57-97

**Анотація** – в роботі обґрунтована можливість створення моделі теплиці для наступної побудови системи управління мікрокліматом захищеного ґрунту на основі адаптивної системи з використанням принципів нечіткої логіки. Наведено приклад отримання моделі, що пов'язує температуру в теплиці з основними збурюючими впливами.

**Ключові слова** – теплиця, мікроклімат, температура, модель, нечітка логіка, ідентифікація, адаптивна система.

*Постановка проблеми.* Відомо, що галузь тепличного овочівництва є чи не найбільш енергоємною серед усіх галузей сільського господарства. Наприклад, зараз у країнах помірному клімату на 1 га зимових теплиць витрачається до 3 тис. тон умовного палива на рік, а на виробництво однієї тони продукції йде від 100 до 350 ГДж теплової енергії [1]. Між тим, постійне підвищення цін на енергоносії суттєво стримує нарощування площ споруд захищеного ґрунту. Саме тому подальше нарощування площ споруд захищеного ґрунту, до якого спонукає недостатнє забезпечення населення України овочевою продукцією, особливо у зимовий період, що суттєво знижує продовольчу безпеку країни, конче потребує зменшення питомого енергоспоживання цими об'єктами. Одним з основних шляхів зменшення енергоспоживання тут є вдосконалення систем управління параметрами мікроклімату. Слід згадати, що робота таких систем управління ускладнена наявністю численних збурюючих факторів а також зміною параметрів теплиці як об'єкту управління під час роботи як внаслідок зміни цих параметрів під дією згаданих збурюючих факторів, так і при зміні параметрів рослин, що вирощуються у теплиці. Одним з найбільш перспективних шляхів для побудови систем управління є використання моделей теплиці як об'єкту управління, що особливо важливо для систем з використанням принципу управління «за збуренням»,

які мають кращу швидкість реакції, а отже, і дозволяють досягти більшої точності підтримання параметрів мікроклімату, що в свою чергу дозволяє досягти більшої врожайності, а отже, і зниження питомої енергоємності продукції [2-6].

Між тим, більшість моделей, що отримується з цією метою, як правило можуть бути використані для застосування лише з певними типами теплиць або навіть для використання з окремими конкретними теплицями, а тому не мають універсального застосування, тобто використані на них технічні засоби, принципи управління та програмне забезпечення не можуть бути використані на іншому об'єкті без суттєвої переробки та перенастроювання, що здорожує самі системи управління, подовжує період налагодження систем та ускладнює навчання персоналу [2,3,6]. До того ж такі моделі як правило не є достатньо точними через зазначену вище високу вірогідність зміни параметрів об'єкту управління при його експлуатації.

*Аналіз останніх досліджень.* Проблема отримання моделей об'єктів управління, зокрема і теплиць, є темою багатосторонніх досліджень [2-10]. Слід зазначити, що переважно для розробку моделей теплиць використовують теоретичні методи або методи активного експерименту. Використання традиційних методів активного експерименту утруднюється великим різноманіттям збудовуючи факторів і надзвичайною складністю підтримання вхідних факторів на належному рівні при проведенні експериментів. До того ж такі методи є помітно дорожчими, ніж теоретичні. Теоретичні побудови моделей ведуть з використанням основних фізичних законів, що описують процеси, які відбуваються в спорудах захищеного ґрунту, в основному балансів потоків речовини та енергії. Проте слід зазначити, що точність таких моделей невелика, оскільки в теплицях одночасно відбувається кілька досить складних процесів тепломасопереносу при наявності численних періодичних і детермінованих збудовуючи факторів, що тісно пов'язані між собою, що суттєво ускладнює побудову точних моделей [2,3,6]. Використання методів обчислювальної термодинаміки дозволяє підвищити точність теоретичних моделей, однак отримані моделі тісно прив'язані до конкретного об'єкту і не є доступними для виробників, до того ж їх точність суттєво залежить від точності початкових параметрів для розрахунку, отримання яких потребує проведення активних експериментів і знову ж таки не гарантує незмінності параметрів моделі в процесі експлуатації системи управління [5,7,8].

Відносно невелика кількість моделей була отримана з використанням досягнень теорії ідентифікації систем, що пояснюється тим, що через складності лінеаризації та нестабільність параметрів об'єкту застосовувати традиційні методи, наприклад, метод найменших квадратів, не є можливим [7,10]. Перспективним шляхом є використання

для ідентифікації нейронних мереж, однак через досить тривалий час навчання систем ідентифікації, погану збіжність алгоритмів та непрозорість систем їх використання є досить обмеженим [6,9]. Також обмежене використання мають звичайні методи нечіткої логіки, які хоч і дозволяють використати експертні оцінки, проте не мають можливості для безпосередньої корекції правил при роботі системи в цілому. Саме це і обумовило вибір адаптивної системи ідентифікації на основі використання нечіткої логіки, яка дозволяє як використовувати попередні експертні знання, так і провадити корекцію правил висновку під час змін самих вхідних і вихідних правил, тобто навчати систему, при цьому вибір початкових параметрів є обґрунтованим з точки зору фізичних моделей і законів на відміну, наприклад, від використання нейронних мереж, для яких такий вибір є випадковим, що дозволяє прискорювати процес навчання системи та досягати значно більшої універсальності отриманого результату у вигляді моделей [6-11].

*Мета публікації.* Таким чином, постає задача пошуку універсальних принципів для побудови моделей теплиць для використання в системах управління параметрами мікроклімату споруд захищеного ґрунту.

*Основні результати досліджень.* При пошуку принципів для побудови моделей теплиць як об'єктів управління з метою побудови систем управління мікрокліматом споруд захищеного ґрунту найбільшу увагу привертають так звані універсальні апроксиматори, зокрема нечітка логіка, оскільки вона дозволяє найбільш швидко враховувати наявний людський досвід, що має велике значення саме для цієї галузі [5,11], а також є найбільш придатною для адаптації в нових умовах, наступної модернізації в сенсі зміни меж контрольованих чи регульованих величин, збільшення переліку параметрів та врахування додаткових вхідних та збурюючих факторів [4-7]. До того ж, розробка систем управління на базі принципів нечіткої логіки полегшується наявністю спеціалізованих програмних пакетів (таких, як Matlab та FuzzyTech) та наявністю досвіду застосування цих принципів в інших галузях [11].

В даному випадку було поставлено задачу побудови моделі залежності температури повітря в теплиці  $T$  від основних збурюючих факторів, за які було прийнято наступні: температуру зовнішнього повітря  $A_1$ , надходження сонячної радіації до теплиці  $A_2$ , дефіциту тиску водяної пари  $A_3$  та сили вітру назовні  $A_4$ .

Модель має вигляд дискретної нелінійної системи, що описується функціональною залежністю

$$T(i) = F(A_1(i), A_2(i), A_3(i), A_4(i), T(i-1))). \quad (1)$$

Сам процес отримання моделі можна розділити умовно на дві частини:

- 1) отримання початкових параметрів системи на основі нечіткої логіки, що виконується при використанні основних фізичних законів та експертних знань;
- 2) корекція правил висновку отриманої системи в режимі реального часу.

На першому етапі було визначено список основних збурюючі факторів та визначено початкові значення центрів кожної з функцій належності (табл. 1). Було обрано вид функцій належності – гаусові функції [11].

Таблиця 1 – Вхідні та вихідні величини

	Позначення	Назва	Одиниці вимірювання	Початкове середнє значення відповідних рівнів				
				1	2	3	4	5
Збурюючі впливи	<b>A1</b>	Температура повітря назовні	°C	-10	-3	+4	+11	+18
	<b>A2</b>	Сонячна радіація	Вт/м <sup>2</sup>	50	150	300	500	700
	<b>A3</b>	Дефіцит тиску водяної пари	У.о.	-0,5	0	0,5	1,0	1,5
	<b>A4</b>	Сила вітру	м/с	2	7	12	17	22
Вихідна величина	<b>T</b>	Температура повітря в теплиці	°C	10	15	20	25	30

Слід зазначити, що хоча теоретично зазначена система має мати 5<sup>5</sup> правил висновку, але попередньо проведені досліді щодо зв'язку між параметрами [9] та наявність цілком зрозумілих фізичних зв'язків між окремими параметрами дозволяє значно скоротити список правил висновку. Зокрема, можна зауважити, що розбіжність між параметрами A1(i), A2(i) та T(i-1) не може перевищувати 2 рівнів і т.п. На основі зазначених факторів було залишено лише 20 висновку, які приведено тут:

```

IF A1(i)=5 & A2(i)=5 & A3(i)=5 & A4(i)=5 & T(i-1)=5 THEN T(i)=5
IF A1(i)=5 & A2(i)=4 & A3(i)=5 & A4(i)=5 & T(i-1)=5 THEN T(i)=5
IF A1(i)=5 & A2(i)=3 & A3(i)=5 & A4(i)=5 & T(i-1)=5 THEN T(i)=5
IF A1(i)=5 & A2(i)=3 & A3(i)=5 & A4(i)=5 & T(i-1)=4 THEN T(i)=5
IF A1(i)=4 & A2(i)=2 & A3(i)=4 & A4(i)=3 & T(i-1)=3 THEN T(i)=3
IF A1(i)=4 & A2(i)=3 & A3(i)=3 & A4(i)=3 & T(i-1)=3 THEN T(i)=4
IF A1(i)=4 & A2(i)=4 & A3(i)=3 & A4(i)=1 & T(i-1)=4 THEN T(i)=5
IF A1(i)=4 & A2(i)=1 & A3(i)=2 & A4(i)=5 & T(i-1)=4 THEN T(i)=4

```

**IF A1(i)=3 & A2(i)=1 & A3(i)=3 & A4(i)=5 & T(i-1)=4 THEN T(i)=3**  
**IF A1(i)=3 & A2(i)=2 & A3(i)=3 & A4(i)=4 & T(i-1)=3 THEN T(i)=2**  
**IF A1(i)=3 & A2(i)=5 & A3(i)=2 & A4(i)=2 & T(i-1)=2 THEN T(i)=3**  
**IF A1(i)=3 & A2(i)=1 & A3(i)=2 & A4(i)=4 & T(i-1)=3 THEN T(i)=2**  
**IF A1(i)=3 & A2(i)=3 & A3(i)=3 & A4(i)=3 & T(i-1)=3 THEN T(i)=2**  
**IF A1(i)=2 & A2(i)=4 & A3(i)=3 & A4(i)=2 & T(i-1)=3 THEN T(i)=3**  
**IF A1(i)=2 & A2(i)=2 & A3(i)=2 & A4(i)=4 & T(i-1)=3 THEN T(i)=2**  
**IF A1(i)=2 & A2(i)=4 & A3(i)=3 & A4(i)=1 & T(i-1)=2 THEN T(i)=3**  
**IF A1(i)=1 & A2(i)=1 & A3(i)=1 & A4(i)=2 & T(i-1)=2 THEN T(i)=1**  
**IF A1(i)=1 & A2(i)=3 & A3(i)=2 & A4(i)=5 & T(i-1)=2 THEN T(i)=1**  
**IF A1(i)=1 & A2(i)=4 & A3(i)=3 & A4(i)=2 & T(i-1)=1 THEN T(i)=2**  
**IF A1(i)=1 & A2(i)=5 & A3(i)=3 & A4(i)=2 & T(i-1)=3 THEN T(i)=3**

На другому етапі проводилося настроювання системи в режимі реального часу при використанні ПК з наявною нечіткою моделлю, побудованою в середовищі Matlab з використанням системи Мамдані та методу дефузифікації «центр мас» [11]. Загальна схема отримання моделі наведена на рисунку 1.

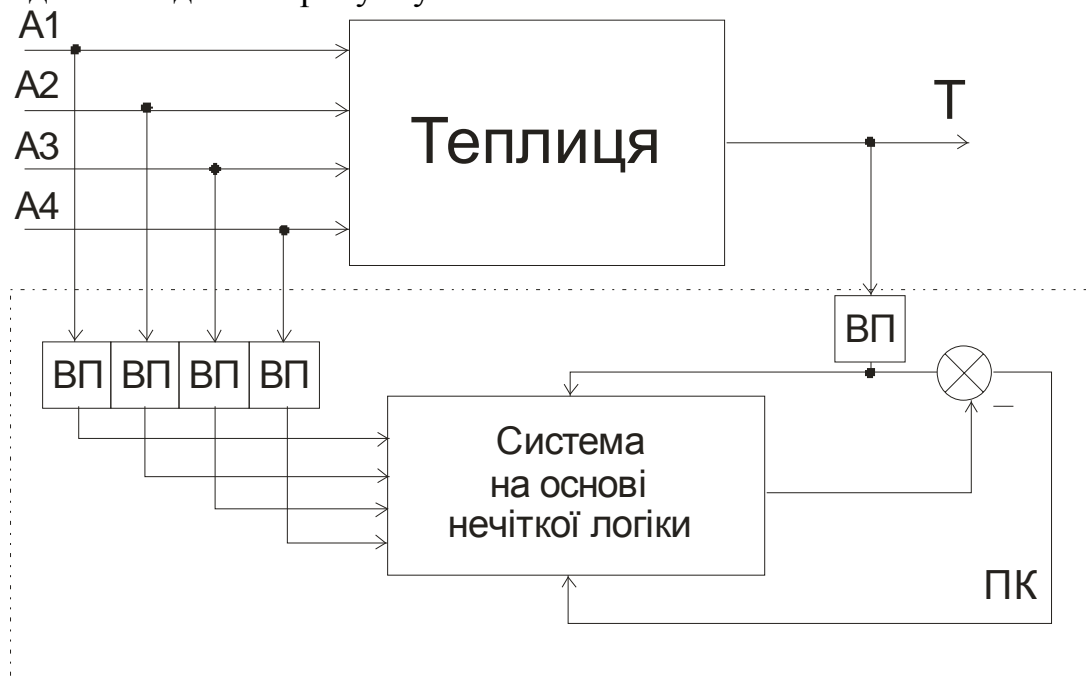


Рис. 1. Схема настроювання адаптивної системи на етапі 2.

Для даної системи функція належності має вигляд

$$F(x) = \frac{\sum_{n=1}^N C_n \prod_{m=1}^M K_{mn} \exp\left(-\left(\frac{x_m - C_{mn}}{W_{mn}}\right)^2\right)}{\sum_{n=1}^N \prod_{m=1}^M K_{mn} \exp\left(-\left(\frac{x_m - C_{mn}}{W_{mn}}\right)^2\right)}$$

де  $C_n$  – центр для вихідної нечіткої множини;  
 $K_{mn}$  та  $W_{mn}$  – центри та ширина відповідних вхідних нечітких множин;  
 $x_m$  – відповідні вхідні величини.

Ідентифікація значення вихідної величини йшла згідно виразу

$$T(i) = Y/Z, \tag{2}$$

у якому значення  $Y$  та  $Z$  визначалися наступним чином:

$$Y = \sum_{n=1}^{20} T_n(i) \left( \prod_{m=1}^4 K_{mn} \exp\left(-\left(\frac{A_m(i) - A_{mn}(i)}{W_{mn}}\right)^2\right) \cdot K_{5n} \exp\left(-\left(\frac{T(i-1) - T_n(i-1)}{W_{5n}}\right)^2\right) \right),$$

$$Z = \sum_{n=1}^{20} \left( \prod_{m=1}^4 K_{mn} \exp\left(-\left(\frac{A_m(i) - A_{mn}(i)}{W_{mn}}\right)^2\right) \cdot K_{5n} \exp\left(-\left(\frac{T(i-1) - T_n(i-1)}{W_{5n}}\right)^2\right) \right).$$

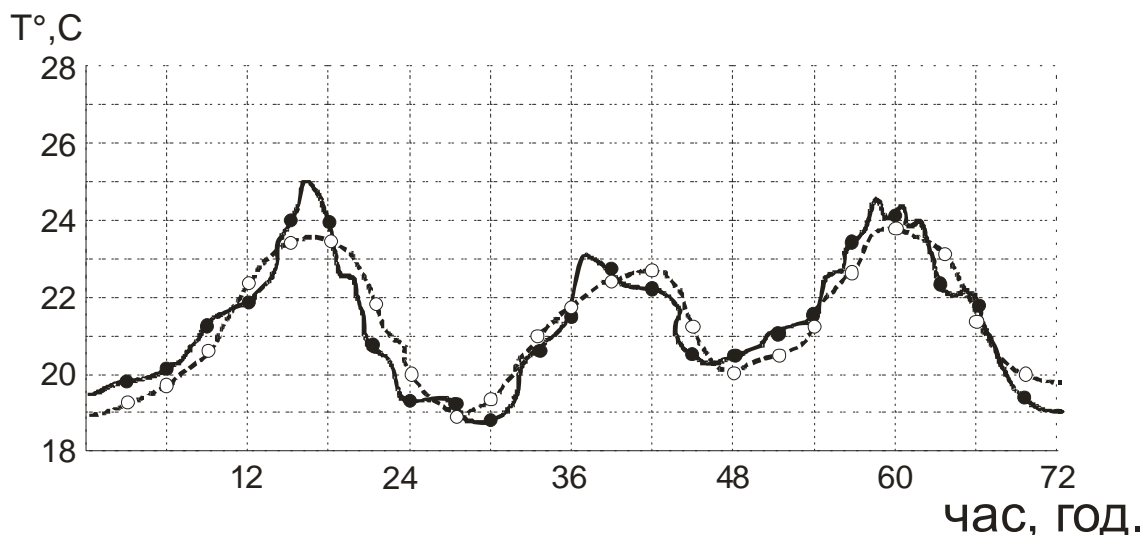


Рис. 2. Результати вимірювання (—●—) та прогнозування (--○--) значень температури повітря в теплиці при проведенні експерименту 2-4 січня 2011 р.

На рис. 2 наведено у порівнянні фактичні зміни температури повітря у теплиці та її прогнозовані значення на основі використання зробленої системи ідентифікації. Як бачимо, результати моделювання можна вважати цілком задовільними. Незначні розходження між мо-

деллю та об'єктом спостерігаються головним чином при дуже швидких змінах збурюючі факторів. Вірогідно, ці розходження можна в подальшому зменшити при використанні усереднених значень від вимірювання температури та сонячної радіації в кількох точках об'єкту.

*Висновки.* Для отримання моделі теплиці як об'єкту управління для наступної розробки систем управління параметрами мікроклімату споруд захищеного ґрунту є доцільним використання принципів нечіткої логіки у системі ідентифікації в режимі реального часу, що дозволяє створити більш універсальні, зручні в користуванні та точні моделі для використання принципу управління «за збуренням» у системах управління у порівнянні з традиційними підходами.

### *Література*

1. *Тихомиров А.В.* Энергетические показатели работы тепличных комбинатов / *А.В. Тихомиров, Е.К. Маркелова, Е.Ю. Черномурова* // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2002. - №12. - С. 6-9.
2. *Van Stratten G.* Towards user accepted optimal control of greenhouse climate / *G. Van Stratten, H. Challa, F. Bualda* // *Comp. & Electron. in Agric.* - 2000. - №26. - P. 221-238.
3. *Сабо А.Г.* Управління мікрокліматом споруд захищеного ґрунту як задача зменшення питомої енергоємності продукції/ *А.Г. Сабо* // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип. 19. – Мелітополь: ТДАТА, 2004. – С. 124-131.
4. *Рысс А.А.* Автоматическое управление температурным режимом в теплицах / *А.А. Рысс, Л.И. Гурвич.* - М.: Агропромиздат, 1986. - 128 с.
5. *Ерков А.А.* Микропроцессорная система управления микроклиматом в теплицах / *А.А. Ерков* // Техника в сельском хозяйстве. – 2005. - №3. – С. 23-27.
6. *Martin-Clouaire R.* A survey of computer-based approaches for greenhouse climate management / *R. Martin-Clouaire, P.J. Schotman, M.Tchamitchian* // *Acta Horticulturae.* - 1996. – V. 406. - P. 409-423.
7. *Sigrimis N.* Advances in greenhouse environment control / *N. Sigrimis, R. King* // *Computers & Electronics in Agric.* -2000. - №. 26(3). – P. 321-342.
8. *Сабо А.Г.* Універсальна система управління мікрокліматом споруд захищеного ґрунту на основі використання нечіткої логіки / *А.Г. Сабо, Р.В. Василішин, Д.М. Нестерюк* // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип. 43. – Мелітополь: ТДАТА, 2006. – С. 109-118.
9. *Seginer I.* Neural network models of the greenhouse climate / *I. Seginer, T. Boulard, B.J. Bailey* // *J. Agr. Engng. Res.*, 1994. - № 59 - P. 203-216.

10. *Sigrimis N.* A linear model for greenhouse control / *N. Sigrimis, N. Rerras* // Trans. ASAE, 1996. - № 39(1) - P. 253-261.
11. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / *А.В. Леоненков.* – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.

## **АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ТЕПЛИЦЫ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ**

*Сабо А.Г.*

**Аннотация** - в работе обоснована возможность создания модели теплицы для последующего синтеза системы управления микроклиматом на основе адаптивной системы с использованием принципов нечеткой логики. Приведен пример получения модели, которая связывает температуру в теплице с основными возмущающими воздействиями.

## **ADAPTIVE FUZZY LOGIC SYSTEM FOR CREATION OF THE GREENHOUSE MODEL FOR TEMPERATURE CONTROL**

*A. Sabo*

### *Summary*

**The options for the adaptive fuzzy logic system for greenhouse identification and modeling are the subject of the consideration. The result of the greenhouse modeling with main disturbances as inputs and greenhouse air temperature as output is given on the base of on-line experiment.**