ГІБРИДНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЛЯ СПОРУД ЗАХИЩЕНОГО ГРУНТУ

В. П. Лисенко, доктор технічних наук, професор

E-mail: lysenko@nubip.edu.ua

І. Ю. Якименко, аспірантка

E-mail: icheshun@gmail.com

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. Проведений аналіз сучасних підходів до мінімізації енерговитрат у спорудах захищеного ґрунту. Запропоновано концептуальну модель енергетичних потоків в теплиці для дослідження зв'язків контрольованих параметрів в теплиці. Розроблено гібридну систему автоматизації регулювання параметрів мікроклімату в теплиці, використовуючи нейронечіткий підхід для визначення налаштувань ПІ-регулятора та нечітку нейронну мережу для прогнозування параметрів мікроклімату в теплиці. Моделювання показали збіг між обчисленими та вимірюваними даними. Розроблена інтелектуальна система визначення параметрів ПІ-регулятора на основі нечіткої логіки та з використанням генетичного алгоритму контролю температури та вологості в приміщенні показала ефективність використання такого рішення. За результатами використання різних методів налаштувань ПІ-регулятора отримано такі показники якості регулювання: використання генетичного алгоритму $K_p = 74,8$, $K_i = 1,8$; нечіткого висновку $K_p = 73,1$, $K_i = 1,8$; традиційної методики налаштувань $K_p = 75,1$, $K_i = 3,1$. Перевагою гібридної системи керування є те, що обмеження нечіткої системи можуть бути змінені, що дозволяє розширити використання запропонованої моделі на будь-яку теплицю з іншими характеристиками.

Для розробки та аналізу системи керування енергоефективністю тепличного господарства експериментальні дані та перелік основного електротехнологічного обладнання отримано за результатами досліджень, проведених у тепличному господарстві ПРАТ «Комбінат «Тепличний» смт. Калінівка, Броварського району, Київської обл.

Ключові слова: енергоефективність, ресурсоефективність, параметри мікроклімату, споруди захищеного ґрунту, теплиця

Актуальність. Зі зростаючим попитом на продовольство у всьому світі регульоване навколишнє середовище створює умови для виробництва продукції рослинництва протягом року. При цьому роль споруд захищеного ґрунту, типовим

представником котрих є сучасні теплиці, в останні часи суттєво зросла. Проте енергетичні витрати на забезпечення основних технологічних вимог (концентрація вуглекислого газу в повітрі, відносна вологість та температура повітря, освітлення тощо) для таких споруд у структурі собівартості виробленої продукції досягають іноді 80 %. Зазначене спонукає до створення автоматизованих систем керування як технологічними процесами, так і виробництвом в цілому, використовуючи при цьому сучасні алгоритми та мінімізуючи участь людини у самому виробництві.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нині економія енергоносіїв у спорудах захищеного ґрунту стала важливою науково-практичною проблемою. Визначено, що моделювання енергетичних потоків прискорює аналізування складних теплових процесів, що виникають в спорудах захищеного ґрунту, а це, у свою чергу, сприяє розробленню енергоефективних систем автоматизації теплиць [2].

Дослідники у своїх роботах часто обговорюють можливості підвищення енергоефективності в теплиці завдяки застосуванню відповідних алгоритмів регулювання процесів, керування ключовими технологічними параметрами, використання систем моніторингу. Для керування тепличними об'єктами використовують різноманітні алгоритми: традиційні (частіше ПІ- та ПІД-), на основі нечіткої логіки, на основі нейронних мереж та гібридні [3]. Недоліком у використанні традиційних алгоритмів є невисока якість регулювання в умовах невизначеності, що є характерним для тепличного виробництва [4].

Сучасні тепличні комплекси потребують використання нових підходів до регулювання параметрів мікроклімату. Такими є, наприклад, інтелектуальні алгоритми, які використовують методи штучного інтелекту та є корисними за відсутності математичної моделі об'єкта керування. N. Bennis, J. Duplaix, та ін. [5] використали інтелектуальну систему на основі нечіткої логіки для регулювання температури та вологості в теплиці з вентиляцією і підтриманням норм підживлення рослин. Ними було досягнуто 22 % та 33 % економії енергії та води відповідно. T. Blevins, W.K. Wojsznis та M. Nixon у своїй роботі [6] використали нечіткий

алгоритм визначення параметрів ПІ-регулятора, що регулює подачу теплоносія в контури опалення теплиці. Li Y, Ding Y, Li D, Miao Z. [7] запровадили децентралізований нечіткий логічний регулятор, показавши його корисність порівняно зі звичайним ПІ-регулятором, але при цьому не враховувався вплив вентиляції на температуру. Генетичні алгоритми, реалізовані в системі управління зрошенням в теплицях, були запропоновані в роботі Ding J.T. [8]. Результати показали ефективність такого рішення. У роботі A. Baille [9] описується використання гібридної системи керування, коли поєднується два або більше класичних та інтелектуальних алгоритми. Описаний підхід включає в себе переваги та стабільність класичних алгоритмів управління та швидкість інтелектуальних. Аналізи результатів моделювання демонструють, що використаний при цьому метод керування гарантує точність, надійність і швидкість регулювання температури в приміщенні теплиці та відносної вологості повітря для створення оптимальних умов мікроклімату.

Мета дослідження – обґрунтування застосування в промисловій теплиці гібридних алгоритмів керування параметрами мікроклімату.

Матеріали і методи дослідження. Теплиця, як уже зазначалось, це споруда захищеного ґрунту, де створюються сприятливі умови для вирощування рослин.

Концептуально теплову модель теплиці можна подати, як це показано на рис.1.

Температура, відносна вологість, концентрація CO₂ та освітленість - взаємопов'язані параметри, які суттєво впливають на врожайність рослин у теплицях. Цими параметрами керують для поліпшення ефективності використання енергетичних ресурсів. При цьому загально відомі стратегії передбачають регулювання температури, вологості повітря, концентрації CO₂ у повітрі, моніторинг та врахування сонячного випромінювання. З кожним із цих параметрів навколишнього середовища існує баланс між економічною доцільністю функціонування тепличного господарства та високою врожайністю.

Рис. 1. Концептуальна модель багатозадачної системи регулювання параметрів мікроклімату в теплиці

Зв'язки між процесами (рис.1) поділяються на взаємозв'язки явищ одного рівня декомпозиції і зв'язки між явищами різних рівнів декомпозиції. Слід також враховувати, що тепличне господарство є складною виробничою системою, де присутні збурення, що носять випадковий характер, а саме: зовнішні температура і вологість повітря, сонячна радіація, сила й напрям вітру, тощо.

Враховуючи вищенаведене, виникає потреба в побудові регуляторів, параметри налаштувань яких адаптуються так, щоб при дії на об'єкт випадкових збурень, забезпечувався відповідний критерій якості функціонування системи автоматизації. Спрощена структурно-функціональна схема запропонованої системи керування зображена на рис.2.

Рис. 2. Структурно-функціональна схема ресурсоефективної системи автоматизації

Для порівняльної оцінки методів настройок регуляторів (традиційні, нечіткої логіки та генетичного алгоритму) використаємо один із найбільш розповсюджених критеріїв якості, а саме лінійний інтегральний показник якості перехідного процесу, що мінімізує площу між перехідним процесом та часовою віссю (1):

$$I = \int_{t_0}^t (x_{зд} - x) dt \rightarrow \min_{k_p, k_i}, \quad (1)$$

де $x_{зд}, x$ - задане значення параметра та його значення на виході об'єкта; $k_p, k_i \in [k_{\min}, k_{\max}]$ - параметри настройки автоматичного регулятора.

Як відомо, система автоматичного керування складається із регулятора та об'єкта, динамічна модель котрого для двох каналів регулювання може бути подана, як це зазначено в роботі [1]:

$$\frac{d\Theta_{внутр}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho C_p V_t} [Q_n(t) + S_n(t) - \lambda Q_T(t)] - \left(\frac{v_v(t)}{V_T} + \frac{k_{т.ог}}{\rho C_p V_T} \right) \cdot [\Theta_{внутр}(t) - \Theta_{зовн}(t)], \quad (2)$$

$$\frac{d\varphi_{внутр}(t)}{dt} = \frac{1}{V_3} Q_t(t) + \frac{1}{V_3} [E(S_n(t), \varphi_{внутр}(t))] - \frac{v_v(t)}{V_3} \cdot [\varphi_{внутр}(t) - \varphi_{зовн}(t)]. \quad (3)$$

де $\tau_{внутр}, \tau_{зовн}$ – температура повітря всередині та ззовні теплиці відповідно, °C;
 $\varphi_{внутр}, \varphi_{зовн}$ – відносна вологість повітря всередині та ззовні теплиці відповідно, %;
 $k_{т.ог.}$ – коефіцієнт тепловіддачі огороження теплиці, Вт/К; V – повний геометричний об'єм теплиці, м³; V_T, V_3 – об'єм повітря, що обігривається та зволожується відповідно, м³. Зазвичай складає 60-70 % від загального об'єму теплиці. ρ – густина повітря, (1,2 кг/м³); c_p – теплоємність повітря, (1,005 кДж·кг⁻¹·К⁻¹), Q_n – потужність системи нагріву повітря теплиці, (Вт); Q_T – продуктивність системи туманоутворення, (гводи/с); S_n – поглинуте теплицею сонячне випромінювання, Вт; λ – теплота пароутворення, (2256 кДж/кг); v_v – повітрообмін, що забезпечується системою вентиляції, м³/с; $E[S_n(t), \varphi_{внутр}(t)]$ – еватотранспірація рослин в функції від поглинутого сонячного випромінювання та вологості повітря в теплиці, (г.води/с), α, β – масштабні коефіцієнти.

Результати досліджень та їх обговорення. Для аналізу роботи системи керування температурно - вологісним режимом у теплиці використаємо розроблену в наших дослідженнях її імітаційну математичну модель у середовищі Simulink MatLab [1]. В якості вхідних величин при моделюванні виступають задані значення температури та вологості в приміщенні теплиці: $\tau_{внутр_зад.} = 18^\circ\text{C}$ та $\varphi_{внутр_зад.} = 80\%$. На виході системи отримуємо значення температури та вологості в теплиці: $\tau_{внутр}, \varphi_{внутр}$. В якості збурень виступають сонячна радіація S_n , зовнішня температура $\tau_{зовн}$ та вологість повітря $\varphi_{зовн}$.

Використовуючи традиційний метод розрахунку оптимальних параметрів налаштувань регуляторів, а саме метод Зиглера-Нікольса [10], отримали такі значення параметрів налаштувань ПІ-регулятора: коефіцієнт передачі для каналу регулювання температури: $K_p=75,2$, а час ізодрому $K_i=3,1$; для каналу регулювання вологості : $K_p= 64,3$, а час ізодрому $K_i=2,8$.

Алгоритм налаштування адаптивного нейронечіткого регулятора включає: розроблення структури системи автоматизації; збір інформації про стани об'єкта при дії на нього збурень; розроблення продукційних правил із врахуванням технологічних характеристик і вимог, фазифікацію вхідних і вихідних параметрів; розроблення структури нейронечіткої мережі та визначення методів навчання; навчання нейронечіткої експертної системи; апробації системи автоматизації за результатами моделювання. Для використання зібраної інформації та досвіду експерта, представленого у вигляді правил експертної системи виду *ЯКЩО...ТО* використовуємо нечітку логіку та програмне середовище Fuzzy Logic Toolbox.

У процесі навчання нейронечіткої експертної системи для визначення налаштувань ПІ-регулятора використано 40 циклів для кожного параметра K_p та K_i . Отримуючи значення похибки та інтегралу похибки в програмі Simulink та підставляючи їх в нейронечітку експертну систему, було визначено оптимальні налаштування ПІ-регулятора для каналу регулювання температури: $K_p= 73,1$, $K_i=3,3$; для каналу регулювання вологості : $K_p= 71,2$, $K_i=3,6$, які є адекватними, так як співпадають з тестовими. Таким чином, адаптивна нейронечітка експертна система успішно знаходить параметри налаштувань ПІ-регулятора при керуванні складним об'єктом. Використання приведенного алгоритму покращує процес адаптації системи, так як не потребує спеціальних методів активної ідентифікації параметрів об'єкта, що негативно впливає на якість керування процесом.

Генетичний алгоритм для пошуку параметрів ПІ-регулятора передбачає використання механізму випадкового підбору, комбінування та варіації параметрів, що знаходяться, аналогічно природньому. При цьому початковий вибір популяції хромосом є випадковим. Оцінка пристосованості хромосоми визначається з

розрахунку функції належності. Зупинка алгоритму відбувається після досягнення оптимального значення інтегрального критерію [10]. На основі значень функції приналежності відбираються кращі генотипи, до яких потім застосовуються генетичні оператори – схрещування (кросинговер) та мутація, за результатом чого з'являється нове покоління рішення і для них процедура повторюється. Пошук рішень задачі оптимізації проводиться в середовищі Global Optimization Toolbox пакета MATLAB. Вихідні дані для розрахунку функцій приналежності отримують за результатом використання імітаційної моделі.

У нашому випадку генотип складався з набору параметрів налаштувань регулятора. Оптимальні налаштування при цьому становили: для каналу регулювання температури $K_p=74,8$, $K_i=1,8$; для каналу регулювання вологості: $K_p=72,7$, $K_i=2,1$.

Порівняння кількісних показників перехідних процесів подані в табл.1.

1. Результати оцінки якості перехідних процесів за результатами застосування різних методів налаштувань регуляторів (для фіксованого стану об'єкта)

Метод налаштувань	Канал регулювання температури та параметри налаштувань регулятора					Канал регулювання вологості та параметри налаштувань регулятора				
	K_p	K_i	Перерегулювання σ , %	Час регулювання T_c	Коливальність, N	K_p	K_i	Перерегулювання σ , %	Час регулювання T_c	Коливальність, N
Традиційний метод	75,1	3,1	33,4	400	2	64,3	2,8	12,5	270	-
Нечіткий висновок	73,1	3,3	11,1	225	-	71,2	3,6	5	315	-
Генетичний алгоритм	74,8	1,8	0,3	140	-	72,7	2,1	0	62	-

Запропонований підхід дає необхідні можливості практичного застосування результатів для прогнозу подальшої поведінки об'єкта та формуванні в подальшому енергоефективних стратегій керування теплицею.

Верхній рівень керування відбувається завдяки прогнозній моделі, яка дозволяє спрогнозувати значення температури і вологості в приміщенні теплиці, виходячи із заданих параметрів та збурень. Синтез та дослідження нейромережі проводимо на основі використання програмного середовища Neural Time Series MatLab [2]. У якості критерію зупинки навчання вибираємо мінімізацію середньоквадратичної помилки навчання [3]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}}, \quad (4)$$

де y_i – фактичне значення вихідного параметра, $\hat{y}_i$ – розрахункове значення параметра, отримане за розрахунком за моделлю, $i = 1 \dots N$ вихідний параметр, N – кількість циклів навчання.

Вхідними параметрами НМ є: значення зовнішньої температури $t_{\text{зовн}}$, °С; поглинуте теплицею сонячне випромінювання $S_{\text{п}}$, Вт; концентрація вуглекислоти в теплиці CO_2 , ppm. Вихідними параметрами є температура повітря в середині теплиці $t_{\text{внутр}}$, °С та відносна вологість в приміщенні теплиці $\phi_{\text{внутр}}$, %.

Для оцінки достовірності результатів використовуємо тестовий масив даних. Виконуємо перевірку співпадіння прогнозованих значень з реальними даними параметрів мікроклімату, взятими на виробництві (табл.2). Для оцінки достовірності результатів роботи нейромережі використовуємо методи регресійного аналізу, отриманими при порівнянні еталонних значень зі значеннями на виході мережі.

2. Фрагмент вибірки даних прогнозованих даних з реальними значеннями

Фактичні значення		Прогнозовані значення	
Температура повітря, $t_{\text{внутр}}, ^\circ\text{C}$	Відносна вологість, $\Phi_{\text{внутр}}, \%$	Температура повітря, $t_{\text{внутр}}, ^\circ\text{C}$	Відносна вологість, $\Phi_{\text{внутр}}, \%$
21	76	21,273	76,988
21,73	70,6	22,51878	71,5178
22,71	68,5	23,00523	69,2605

Рис. 3. Виміряні та імітовані значення температури всередині теплиці

Рис. 4. Виміряні та імітовані значення вологості всередині теплиці

Оцінку адекватності розробленої моделі прогнозування витрат енергоресурсів здійснено на основі критеріїв: детермінації R^2 , кореляції R , середньоквадратичної похибки σ , Фішера F та Стюдента t (табл.3).

Таблиця 3. Критерії адекватності математичної моделі

Вибірка	Критерії				
	R^2	R^2_k	σ	F	t
Витрата газу, м ³	0,99	0,903	0,00138	9,39	0,973
Витрата електроенергії, Вт/год	0,99	0,904	0,00137	9,39	0,965

Висновки і перспективи. Отже, за табл.3 коефіцієнти кореляції та детермінації знаходяться в межах 90 %, що свідчить про тісноту зв'язків між величинами. Похибка вимірювання незначна – 0,0013. Критерій Стюдента вказує на значущість коефіцієнтів кореляції, що свідчить про адекватність нейромережевої моделі прогнозування енерговитрат, що дозволяє використання моделі для прогнозування значень температури й вологості та розробки енергоефективних стратегій керування температурно-вологісним режимом.

Моделювання показали збіг між обчисленими та вимірюваними даними. Була розроблена інтелектуальна система визначення параметрів ПІ-регулятора на основі нечіткої логіки та з використанням генетичного алгоритму контролю температури та вологості в приміщенні. Результати моделювання показали ефективність використання такого рішення. Важливо є те, що обмеження нечіткої системи можуть бути змінені, що дозволяє розширити використання запропонованої моделі на будь-яку теплицю з іншими характеристиками.

Список використаних джерел

1. Dudnyk A., Lysenko V., Zaets N., Komarchuk D., Lendiel T., Yakymenko I. Intelligent Control System of Biotechnological Objects with Fuzzy Controller and Noise Filtration Unit. 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T). Kharkiv, October 9-12. 2018. Pp. 586-590. DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632007
2. Tadashi Takakura Research exploring greenhouse environment control over the last 50 years// NARO Institute for Rural Engineering, Tsukuba, Ibaraki 305-8609, Japan) // Mathematics and Computers in Simulation 167 (2020) 19–31. DOI: 10.25165/j.ijabe.20191205.5179

3. Haibin LIU, Shengyu Fang. Xinqin Guo Research and Design of Intelligent Greenhouse Control System Based on AIoT Fusion Technology //To cite this article: Haibin Liu et al 2020 // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 474 032036. Doi:10.1088/1755-1315/474/3/032036
4. Behrooz F, Mariun N, Marhaban M, Mohd Radzi M, Ramli A. Review of control techniques for HVAC systems—nonlinearity approaches based on Fuzzy cognitive maps. *Energies* 2018;11(3):495.
5. Bennis, N.; Duplaix, J.; Enéa, G.; Haloua, M.; Youlal, H. Greenhouse Climate Modelling and Robust Control. *Comput. Electron. Agric.* 2008, 61, 96–107.
6. Blevins T, Wojsznis WK, Nixon M. Advanced control foundation: tools, techniques and applications. International Society of Automation (ISA); 2013.
7. Li Y, Ding Y, Li D, Miao Z. Automatic carbon dioxide enrichment strategies in the greenhouse: a review. *Biosyst Eng* 2018;171:101–19.
8. Ding J-T, Yao H-Y, Zang Z-L, Huang M, Zhou S-J. Precise control and prediction of the greenhouse growth environment of *Dendrobium candidum*. *Comput Electron Agric* 2018;151:453–9.
9. Yufeng Xiao, Zhixia Zhang, Yonggang Wang and Kai Zhu Design of a greenhouse remote measurement and control system based on internet of things technology // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1303 (2019) 012117 // doi:10.1088/1742-6596/1303/1/012117
10. Головінський Б., Руденський А. Методика вибору параметрів цифрових ПД регуляторів. // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. 2002. №. 1. С. 81-85.

References

1. Dudnyk, A., Lysenko, V., Zaets, N., Komarchuk, D., Lendiel, T., Yakymenko, I. (2018). Intelligent Control System of Biotechnological Objects with Fuzzy Controller and Noise Filtration Unit. 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T). Kharkiv, October 9-12. 2018, 586-590. DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632007
2. Tadashi Takakura (2020). Research exploring greenhouse environment control over the last 50 years. NARO Institute for Rural Engineering, Tsukuba, Ibaraki 305-8609, Japan. *Mathematics and Computers in Simulation*, 167, 19–31. DOI: 10.25165/j.ijabe.20191205.5179
3. Haibin, LIU, Shengyu, Fang. Xinqin, Guo (2020). Research and Design of Intelligent Greenhouse Control System Based on AIoT Fusion Technology. To cite this article: Haibin Liu et al 2020, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 474 032036. Doi:10.1088/1755-1315/474/3/032036
4. Behrooz, F, Mariun, N, Marhaban, M, Mohd Radzi, M, Ramli, A. (2018). Review of control techniques for HVAC systems—nonlinearity approaches based on Fuzzy cognitive maps. *Energies* 11(3). 495.
5. Bennis, N.; Duplaix, J.; Enéa, G.; Haloua, M.; Youlal, H. (2008). Greenhouse Climate Modelling and Robust Control. *Comput. Electron. Agric.*, 61, 96–107.
6. Blevins. T, Wojsznis. W. K, Nixon, M. (2013). Advanced control foundation: tools, techniques and applications. International Society of Automation (ISA).

7. Li, Y, Ding, Y, Li, D, Miao, Z. (2018). Automatic carbon dioxide enrichment strategies in the greenhouse: a review. Biosyst Eng.171, 101–119.
8. Ding, J-T, Yao, H-Y, Zang, Z-L, Huang, M, Zhou, S-J. (2018). Precise control and prediction of the greenhouse growth environment of Dendrobium candidum. Comput Electron Agric, 151, 453–9.
9. Yufeng, Xiao, Zhixia, Zhang, Yonggang, Wang, Kai, Zhu (2019). Design of a greenhouse remote measurement and control system based on internet of things technology. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1303 (2019) 012117, doi:10.1088/1742-6596/1303/1/012117/.
10. Holovynskyi, B., Rudenskyi, A. (2002). Metodyka vyboru parametriv tsyfrovyykh PID rehuliatoriv. [Method of choosing the parameters of digital PID controllers]. Elektryfikatsiia ta avtomatyzatsiia silskoho hospodarstva, 1, 81-85.

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ СООРУЖЕНИЙ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

В. П. Лысенко, И. Ю. Якименко

Аннотация. Проведен анализ современных подходов к минимизации энергозатрат в сооружениях защищенного грунта. Предложена концептуальная модель энергетических потоков в теплице для исследования связей контролируемых параметров в теплице. Разработана гибридная система автоматизации регулирования параметров микроклимата в теплице, используя нейронечеткий подход для определения настроек ПИ-регулятора и нечеткую нейронную сеть для прогнозирования параметров микроклимата в теплице. Моделирование показали совпадение между вычисленными и измеряемыми данными. Разработанная интеллектуальная система определения параметров ПИ-регулятора на основе нечеткой логики и с использованием генетического алгоритма контроля температуры и влажности в помещении, показала эффективность использования такого решения. По результатам использования различных методов настроек ПИ-регулятора получены следующие показатели качества регулирования: использование генетического алгоритма $K_p = 74,8$, $K_i = 1,8$; нечеткого вывода $K_p = 73,1$, $K_i = 3,3$; традиционной методики настроек $K_p = 75,1$, $K_i = 3,1$. Преимуществом гибридной системы управления является то, что ограничения нечеткой системы могут быть изменены, что позволяет расширить использование предложенной модели на любую теплицу с другими характеристиками.

Для разработки и анализа системы управления энергоэффективностью тепличного хозяйства экспериментальные данные и перечень основного электротехнологического оборудования получено на базе тепличного хозяйства ЧАО «Комбинат «Тепличный», п.г.т. Калиновка, Броварского р-на, Киевской обл.

Ключевые слова: *энергоэффективность, ресурсоэффективность, параметры микроклимата, сооружения защищенного грунта, теплица*

HYBRID AUTOMATION SYSTEM FOR GREENHOUSES

V. Lysenko, I. Yakymenko

Abstract. At this article was conducted analysis of modern approaches to minimizing energy consumption in greenhouses. Was proposed a conceptual model of power machinery flows in greenhouses to study the relationships of controlled parameters. Has been developed a hybrid system for automating the regulation of microclimate parameters in a greenhouse using a fuzzy logic system to determine the settings of the PI-controller and a fuzzy neural network to predict the microclimate parameters. The simulations showed a match between the calculated and measured data. An intelligent system for determining the parameters of the PI controller based on fuzzy logic and using a genetic algorithm for controlling the temperature and humidity in the greenhouse, has shown the effectiveness of such a solution. According to the results of using different methods of adjusting the parameters of the PI-controller have received such characteristic signs: for genetic algorithm $K_p=74,8$, $K_i=1,8$; fuzzy logic, - $K_p= 73,1$, $K_i=3,3$; traditional method - $K_p= 75,1$, $K_i=3,1$. The advantage of the hybrid control system is that the limitations of the fuzzy system can be changed, which allows you to extend the use of the proposed model to any greenhouse with other characteristics. For the development and analysis of the energy efficiency management system of the greenhouse, experimental data and a list of basic electrical equipment were obtained on the basis of the greenhouse development "Greenhouse Plant", village Kalinovka Brovarsky district, Kiev region.

Key words: *energy efficiency, resource efficiency, microclimate parameters, greenhouse*