

**ДО ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СИСТЕМ
КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ ЕНТОМОФАГІВ**

В. П. Лисенко, доктор технічних наук, професор

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: lysenko@nubip.edu.ua

І. С. Чернова, інженер

Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН України

E-mail: bioischernova@ukr.net

Анотація. *Стаття присвячена питанню створення енергоефективних систем керування виробництвом ентомофагів.*

Метою досліджень є підвищення енергоефективності виробництва ентомофагів шляхом розроблення інтелектуальної системи керування на основі використання гібридної нейронної мережі прямого поширення сигналу.

Методи досліджень – функціональне моделювання; ситуаційне керування; експериментальні дослідження в режимі реального часу; нечіткий висновок.

*Розроблено інтелектуальну систему керування виробництвом ентомофага бракон (*Nabrobrason hebetor*), який на сьогодні є одним з перспективних агентів біологічного захисту рослин.*

Проведені комп'ютерне моделювання гібридної і традиційної підсистем керування температурою повітря боксу для розведення ентомокультур та дослідження інтелектуальної системи в режимі реального часу із використанням SCADA програми OWEN PROCESS MANAGER, структурної моделі в Simulink/MATLAB, ANFIS-редактора, OPC Toolbox MATLAB, OPC-сервера OWEN.RS485 і Fuzzy Logic Toolbox MATLAB.

Розроблено алгоритм побудови гібридної інтелектуальної підсистеми керування температурою повітря боксу з ентомокультурами.

Ключові слова: *виробництво ентомофагів, інтелектуальна система керування, енергоефективність, моделювання, гібридна і традиційна підсистеми, алгоритм*

Актуальність. *Нині виробництво ентомофагів гарантованої якості є одним з пріоритетних напрямів біологізації землеробства в Україні. З точки зору теорії керування процеси виробництва ентомофагів характеризуються ієрархічністю, обмеженістю, множиною опису, стохастичністю. При цьому складність управління таким виробництвом полягає в наявності значної кількості підсистем, цільові*

функції яких не співпадають з цільовою функцією загалом виробництва; неоднозначній поведінці біологічного об'єкту; наявності зовнішніх збурень; значних витратах електроенергії; наявності слабо-структурованих залежностей.

На якість ентомологічної продукції має значний вплив температура повітря. У зв'язку з пойкилотермією комах температура їх тіла залежить від температури навколишнього середовища, яка і визначає інтенсивність їх обміну речовин, темпи онтогенезу, тривалість життя і плодючість, кількість генерацій, інтенсивність травлення, розміри тіла і його забарвлення, поведінкові реакції [1]. Фахівцями визначено, що бажаною при вирощуванні млинової вогнівки (*Ephestia kuehniella*), комахи-хазяїна ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*), є температура 26 ± 1 °С [2]. При цьому експериментально встановлено, що для підтримки температури 26 °С у боксі для вирощування млинової вогнівки об'ємом 10 м^3 за допомогою традиційної системи автоматичного керування на основі позиційного алгоритму [3] за температури навколишнього середовища від -4 °С до $+7$ °С витрачається 7–12 кВт·год/добу.

Для мінімізації сумарних енергетичних витрат реалізація керуючих впливів на виконавчі пристрої систем керування у виробництві ентомофагів повинна враховувати дії збурень та станів біологічної складової. Зазначене можливо шляхом використання інтелектуальних систем керування, особливістю котрих є здатність реагувати на зміни, що відбуваються у зовнішньому середовищі за випадковим алгоритмом, самоналаштовуючи свої параметри залежно від стану зовнішнього середовища [4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нині перспективним для розробки інтелектуальних систем керування виробничими процесами є використання програмного середовища Simulink/MATLAB і технології OPC-комунікацій [5] через можливість реалізації процесів керування в режимі реального часу. Головними перевагами методів на основі штучного інтелекту в порівнянні з традиційними економетричними моделями є адаптивність моделей та їх здатність до навчання, що суттєво зменшує собівартість проведених досліджень [6].

Мета дослідження – підвищення енергоефективності виробництва ентомофагів шляхом розроблення інтелектуальної системи керування на основі використання гібридної нейронної мережі прямого поширення сигналу.

Матеріали і методи дослідження. Об'єктом дослідження є процес вирощування гусениць млинової вогнівки (*Ephestia kuehniella*) у виробництві ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*). Методи досліджень – функціональне моделювання; ситуаційне керування; експериментальні дослідження в режимі реального часу; нечіткий висновок.

Функціонування традиційної системи керування на основі двопозиційного алгоритму супроводжується значними коливаннями температури повітря боксу для розведення комах (від 1,5 °С до 2,3 °С залежно від типу нагрівника), що призводить до збільшення споживання електроенергії [3], зменшення кількості та якості ентомологічної продукції і відповідно доходу за рахунок невисокої точності дотримання технологічних регламентів. Підвищити енергоефективність виробництва ентомофагів можливо шляхом створення інтелектуальної системи керування на основі використання гібридної нейронної мережі.

Результати досліджень та їх обговорення. Розроблено інтелектуальну систему керування виробництвом ентомофагів, яка є дворівневою комп'ютерно-інтегрованою. Функціонування системи відбувається на двох рівнях: нижній рівень представлено автоматичною підсистемою керування технологічними процесами зі SCADA програмою OWEN PROCESS MANAGER, що містить традиційну підсистему керування температурою повітря боксу з комахами, автоматичний перетворювач інтерфейсу USB/RS-485; верхній рівень – інтелектуальною підсистемою підтримки прийняття рішень, яка містить користувальницький інтерфейс MATLAB, базу знань і базу даних, що взаємодіють. При цьому інформація з нижнього рівня зберігається в структурованому вигляді та використовується базою знань (MATLAB); критеріями керування на нижньому рівні є мінімізація помилки регулювання температурою повітря боксу, на верхньому – максимізація прибутку виробництва.

Для мінімізації помилки регулювання температурою повітря боксу вдосконалено традиційну підсистему керування із двопозиційним регулятором шляхом використання нечіткої логіки, гібридної нейронної мережі та ситуаційного керування. У середовищі Simulink/MATLAB (рис. 1) розроблено структурну модель гібридної і традиційної підсистем керування температурою повітря боксу та проведено комп'ютерне моделювання.

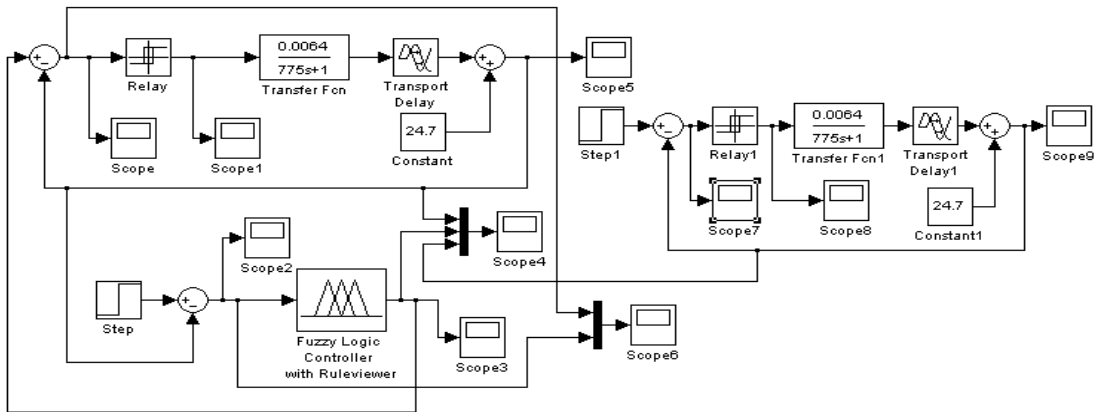


Рис. 1. Структурна модель в Simulink/MATLAB гібридної і традиційної підсистем керування температурою повітря боксу

Процес побудови гібридної підсистеми містить формування вибірки (рис. 2) для навчання гібридної мережі (рис. 3), використовуючи результати моделювання традиційної підсистеми (рис. 4), перегляд автоматично згенерованих продукційних правил бази знань системи нечіткого висновку за Сугено (П1: якщо input1 є «in1mf1», то output є «out1mf1»; П2: якщо input1 є «in1mf2», то output є «out1mf2»; П3: якщо input1 є «in1mf3», то output є «out1mf3»).

-1 25
-0.5 25
0 25.5
0.5 25.8
1 25.8

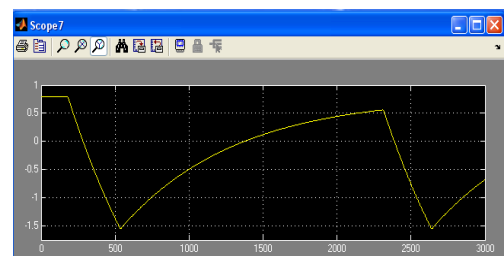
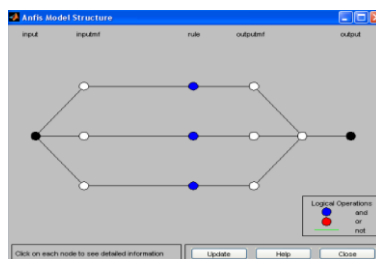


Рис. 2. Навчальна вибірка

Рис. 3. Згенерована гібридна мережа

Рис. 4. Змінювання помилки при регулюванні традиційною підсистемою керування

Вхідною змінною (input) мережі (рис. 3) є помилка регулювання температури традиційною підсистемою керування, вихідною (output) – уставка температури регулятора ТРМ202. Для вхідної змінної діапазоном [-1 1] терм-множинами є in1mf1, in1mf2, in1mf3 з трикутними функціями приналежності термів – in1mf1:trimf [-1.763; -0.497; 0.2149], in1mf2:trimf [-1.756; 0.1315; 1.148] та in1mf3:trimf [-0.1142; 0.8467; 1.998]. Для вихідної змінної діапазоном [25 25.8] терм-множинами є out1mf1:constant [24.47], out1mf2:constant [25.8], out1mf3:constant [25.8]. За результатами комп'ютерного моделювання (рис. 5) амплітуда коливань відносно уставки 25,5 °С при регулюванні традиційною підсистемою дорівнює 2,1 °С (25 °С - 27,1 °С), гібридною – 1,6 °С (25,2 °С - 26,8 °С). Різниця амплітуд становила 0,5 °С.

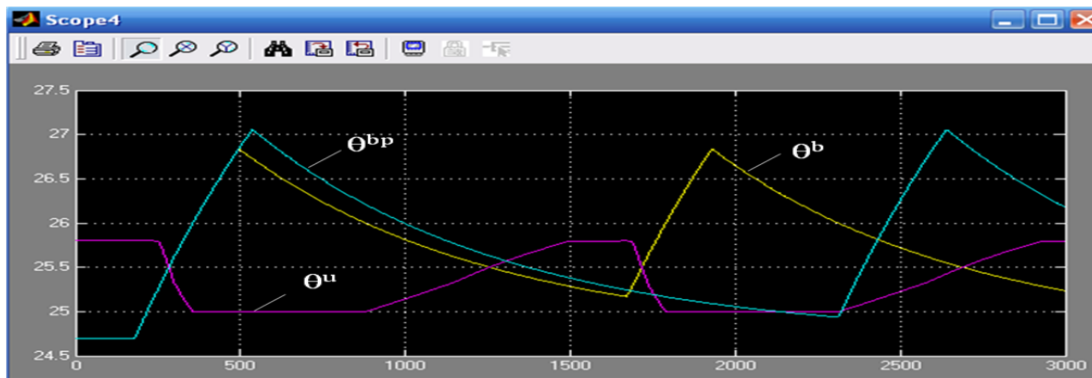


Рис. 5. Динаміка змінювання: уставки θ^u регулятора ТРМ202 ОВЕН і температури повітря боксу θ^b при роботі гібридної підсистеми; температури повітря боксу θ^{bp} при роботі традиційної підсистеми

сь на

основі роботи традиційної підсистеми та гібридної мережі із використанням структурної моделі в Simulink/MATLAB (рис. 6), OPC Toolbox MATLAB, OPC-сервера OWEN.RS485, ANFIS – редактора і Fuzzy Logic Toolbox MATLAB. Для забезпечення керування температурою повітря в режимі реального часу в модель додано блоки OPC Configuration, OPC Read та OPC Write [7].

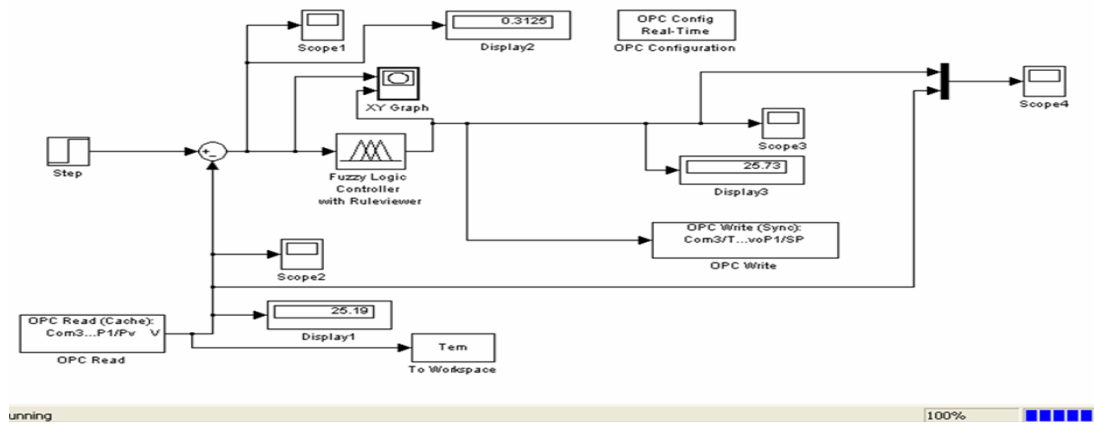


Рис. 6. Структурна модель гібридної підсистеми керування температурою повітря боксу в Simulink / MATLAB в режимі реального часу [7]

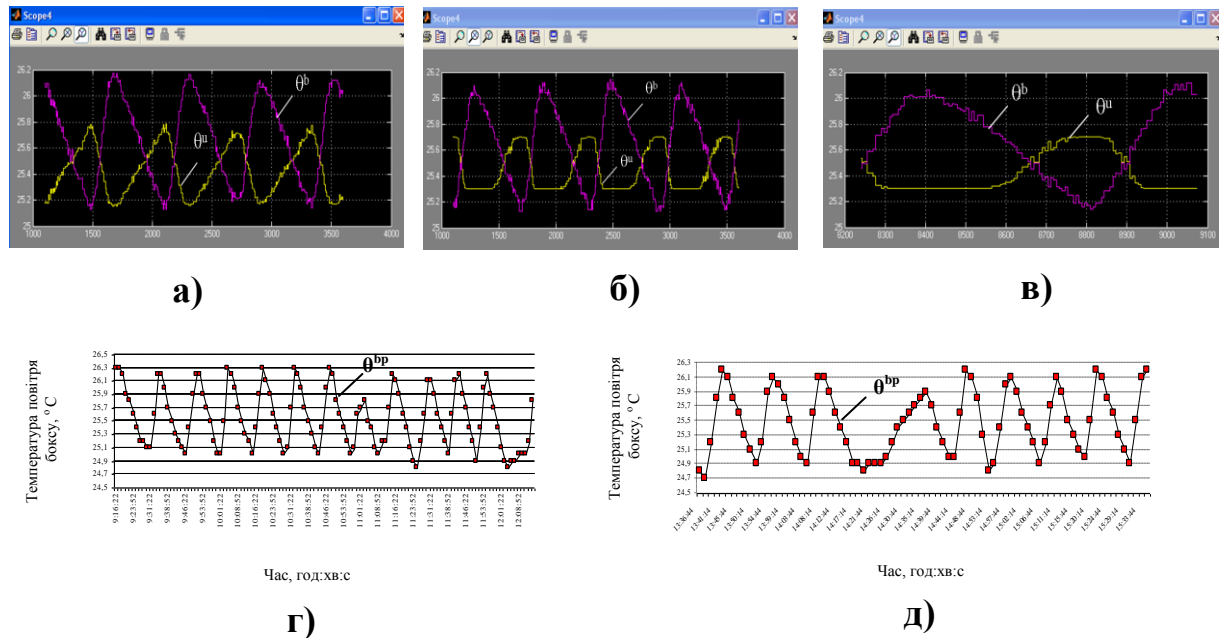


Рис. 7. Результат роботи в режимі реального часу гібридної (а, б, в) і традиційної (г, д) підсистем керування температурою повітря боксу

Проведено дослідження щодо енергоефективності гібридної підсистеми. За результатами функціонування гібридної (рис. 7, а, б, в) і традиційної (рис. 7, г, д) підсистем в режимі реального часу для уставки $25,5^{\circ}\text{C}$, зони нечутливості регулятора $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ при температурі повітря навколишнього середовища 10°C та зовнішнього приміщення $19,6^{\circ}\text{C}$ витрати електроенергії становили для гібридної підсистеми відповідно 0,2; 0,23; 0,25 кВт·год/год, для традиційної – 0,3; 0,375 кВт·год/год.

Амплітуда коливань відносно уставки при регулюванні традиційною підсистемою дорівнювала $1,5^{\circ}\text{C}$ ($24,8^{\circ}\text{C} - 26,3^{\circ}\text{C}$), гібридною – $0,9^{\circ}\text{C}$ ($25,2^{\circ}\text{C} - 26,1^{\circ}\text{C}$). Різниця амплітуд становила $0,6^{\circ}\text{C}$.

Таким чином, встановлено, що гібридна підсистема керування температурою повітря боксу з комахами дозволяє: зменшити до 40 % амплітуду коливань температури повітря відносно уставки, скоротити витрати електроенергії до 33 % в умовах збурень, зменшити вплив оператора в роботу інтелектуальної системи керування виробництвом, наблизити умови розвитку ентомокультур до рекомендованих технологіями. Точність керування температурою і, відповідно, витрати електроенергії залежать від правильності складеної навчальної вибірки та збурень, що діють в конкретний проміжок часу.

Висновки і перспективи. Обґрунтовано створення інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів. Використовуючи методи ситуаційного керування та нечіткого висновку, розроблено алгоритм побудови гібридної інтелектуальної підсистеми керування температурою повітря боксу з комахами, котра за результатами експериментальних досліджень в режимі реального часу підтвердила свою енергоефективність.

Список літератури

1. Злотин А. З. Техническая энтомология. Справ. пособ. /А. З. Злотин – К., Наукова думка, 1989. – 183 с.
2. Молчанова О. Д. Розведення млинової вогнівки для вирощування ектопаразиту бракон (*Nabrobracon hebetor* Say.) / О. Д. Молчанова, І. А. Копко // Аграрний вісник Півдня. – 2014. – № 1. – С. 131–134.
3. Лысенко В. Ф., Чернова И. С. Формирование требований к энергоэффективным системам управления качеством энтомофагов. Біотехнологічні системи виробництва і застосування засобів біологізації землеробства. Міжнародна науково-практична конференція, м. Одеса, 3-7 жовтня 2016 року. Інформ. бюл. СПРС МОББ. № 49. – Одеса. – 2016. – С. 155-160.
4. Шило И. Н. Интеллектуальные технологии в агропромышленном комплексе / И. Н. Шило, Н. К. Толочко, Н. Н. Романюк, С. О. Нукешев // Минск: БГАТУ.– 2016. – 336 с.
5. Mrosko Marián. Real-time implementation of predictive control using programmable logic controllers / Marián Mrosko, Eva Miklovičová // International Journal of Systems Applications, Engineering & Development. – 2012. – Issue 1. – Volume 6. – P. 106-113.

6. Казначеев П. Применение методов искусственного интеллекта для повышения эффективности в нефтегазовой и других сырьевых отраслях / П. Казначеев, Р. Самойлова, Н. Курчиски // Экономическая политика. – 2016. – Т. 11. – № 5. – С. 188–197.

7. Лисенко В. П. Адаптивна система керування виробництвом ентомофагів / В. П. Лисенко, І. С. Чернова// Automation of Technological and Business Processes. – 2019. – V. 11. – Is. 2. – P. 10-16. – <https://doi.org/10.15673/atbp.v11i2.1373>

References

1. Zlotin, A. Z. (1989). *Tehnicheskaya entomologiya. Spravochnoe posobie* [Technical Entomology. Reference guide]. K.: Naukova dumka. 183.

2. Molchanova, O. D., Kopko, I. A. (2014). Rozvedennya mlinovoyi vognivki dlya viroshchuvannya ektoparazitu brakon (*Habrobracon hebetor* Say.) [Breeding *Ephestia kuehniella* for growing ectoparasite bracon (*Habrobracon hebetor* Say.)] *Agricultural Wyk South*, 1, 131–134.

3. Lysenko, V. P., Chernova, I. S. (2016). Formirovanie trebovaniy k energoeffektivnym sistemam upravleniya kachestvom entomofagov [Formation of requirements to the energyefficient quality management systems entomophages. Information bulletin IOBS EPRS 49]. Odesa: TES, 155-160.

4. Shilo, I. N., Tolochko, N. K., Romanyuk N. N., Nukeshev S. O. (2016). *Intellectualnye tehnologii v agropromyshlennom komplekse* [Intelligent technologies in the agricultural sector]. Minsk: BGATU. 336.

5. Mrosko, Marián (2012). Real-time implementation of predictive control using programmable logic controllers / Marián Mrosko, Eva Miklovičová // *International Journal of Systems Applications, Engineering & Development*, 1, 6, 106-113.

6. Kaznacheev, P., Samojlova, R., Kurchiski, N. (2016). *Primenenie metodov iskusstvennogo intellekta dlya povysheniya effektivnosti v neftegazovoj i drugih syrevyh otraslyah* [The use of artificial intelligence methods to increase efficiency in the oil and gas and other raw materials industries]. *Ekonomicheskaya politika*, 11. 5. 188-197.

7. Lysenko, V. P., Chernova, I. S. (2019). *Adaptyvna systema keruvannia vyrobnytstvom entomofahiv* [Adaptive Entomophage Production Management System]. *Automation of Technological and Business Processes*, 11. 2. 10-16. <https://doi.org/10.15673/atbp.v11i2.1373>

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ЭНТОМОФАГОВ

В. Ф. Лысенко, И. С. Чернова

Аннотация. *Статья посвящена вопросу создания энергоэффективных систем управления производством энтомофагов.*

Целью работы является повышение энергоэффективности производства энтомофагов путем разработки интеллектуальной системы управления на основе использования гибридной нейронной сети прямого распространения сигнала.

Методы исследований – функциональное моделирование; ситуационное управление; экспериментальные исследования в режиме реального времени; нечеткий вывод.

*Разработана интеллектуальная система управления производством энтомофага бракон (*Habrobracon hebetor*), который в настоящее время является одним из перспективных агентов биологической защиты растений.*

Проведены компьютерное моделирование гибридной и традиционной подсистем управления температурой воздуха бокса для разведения энтомокультур и исследование интеллектуальной системы в режиме реального времени с использованием SCADA программы OWEN PROCESS MANAGER, структурной модели в Simulink/MATLAB, ANFIS-редактора, OPC Toolbox MATLAB, OPC-сервера OWEN.RS485 и Fuzzy Logic Toolbox MATLAB.

Разработан алгоритм построения гибридной интеллектуальной подсистемы управления температурой воздуха бокса с энтомокультурами.

Ключевые слова: *производство энтомофагов, интеллектуальная система управления, энергоэффективность, моделирование, гибридная и традиционная подсистемы, алгоритм*

TO THE QUESTION OF CREATING ENERGY EFFICIENT SYSTEMS FOR MANAGEMENT OF PRODUCTION OF ENTOMOPHAGES

V. Lysenko, I. Chernova

Abstract. *The article is devoted to the issue of creating energy-efficient systems for managing the production of entomophages.*

The aim of the work is to increase the energy efficiency of the production of entomophages by developing an intelligent control system based on the use of a hybrid neural network of direct signal propagation.

Research methods – functional modeling; situational management; experimental studies in real time; fuzzy conclusion.

*An intelligent production control system for the entomophage *Habrobracon hebetor* has been developed, which is currently one of the promising agents for biological plant protection.*

Conducted: computer simulation of the hybrid and traditional subsystems for controlling the temperature of boxing air for breeding entomocultures; real-time intelligent system research using the SCADA program OWEN PROCESS MANAGER, a structural model in Simulink/MATLAB, ANFIS-editor, OPC Toolbox MATLAB, OPC-server OWEN.RS485 and Fuzzy Logic Toolbox MATLAB.

An algorithm has been developed for constructing a hybrid intelligent subsystem for controlling the temperature of boxing air with entomocultures.

Key words: *entomophage production, intelligent control system, energy efficiency, modeling, hybrid and traditional subsystems, algorithm*