

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ 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, кандидат технічних наук

Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН України

E-mail: bioischernova@ukr.net

Анотація. У статті розкрито особливості розробки інтелектуальних систем керування виробництвом ентомофагів, визначено актуальність обраного напрямку досліджень.

Метою дослідження було обґрунтування доцільності використання у виробництві ентомофагів інтелектуальних систем керування. Об'єкт дослідження – процес управління вирощуванням гусениць млинової вогнівки (*Ephestia kuehniella*) в спеціалізованому боксі при виробництві ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*). Методи дослідження – системний підхід, інтелектуальний аналіз даних, семантичне моделювання, ситуаційне управління.

Розроблено структурну схему гібридної інтелектуальної системи керування температурою повітря боксу для вирощування ентомокультур; модель представлення знань щодо побудови гібридної інтелектуальної системи керування у вигляді предикатної семантичної мережі. Розроблено продукційні правила бази знань інтелектуальної системи керування, що дозволяють уточнити процес її створення. При цьому акцентовано увагу на: послідовність формування навчальної вибірки, що впливає на точність керування температурою повітря боксу й відповідно витрати електроенергії; використання ANFIS - редактора MATLAB, за допомогою якого розроблено здатну до самонавчання нейронну мережу, що автоматично створила базу знань стосовно залежності уставки температури вимірювача-регулятора від помилки регулювання температурою повітря.

Науково обґрунтовано доцільність використання у виробництві ентомофагів інтелектуальних систем управління. Формалізовано процес створення гібридної інтелектуальної системи керування температурою повітря боксу для вирощування ентомокультур у вигляді предикатної семантичної мережі із використанням продукційних правил. Зазначене дозволяє систематизувати знання стосовно процесів управління виробництвом ентомофагів, підвищити енергоефективність та рівень автоматизації виробничого процесу, що позитивно впливає як на стани біологічної складової об'єкта, так і економіку підприємства.

Результати досліджень впроваджено в умовах лабораторного виробництва ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*).

Ключові слова: *гібридна інтелектуальна система керування, виробництво ентомофагів, предикатна семантична мережа*

Актуальність. Отримання ентомологічної продукції гарантованої якості у процесах її масового виробництва має важливе значення для подальшого ефективного використання в агроценозах для збільшення популяції корисних комах у біологічному контролі шкідників сільськогосподарських рослин. Біологічна боротьба фактично є альтернативою пестицидам [1].

Якість вироблених комах має першорядне значення для забезпечення успіху в стратегіях біологічної боротьби. При цьому одним з перспективних спрямувань в галузі штучного вирощування ентомофагів є розробка засобів автоматизації та забезпечення якості [2]. Найбільш прогресивні напрями автоматизації виробництва пов'язані із застосуванням технологічного обладнання з програмним управлінням [3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Як правило, інтелектуальні системи керування створюються на базі традиційних автоматичних систем регулювання [4].

Нині відомі дослідження щодо використання, зокрема, гібридних мереж у технологічних комплексах харчової галузі, біотехнологічних процесах мікробіологічних виробництв, керуванні технологічними процесами очищення стічних вод. Нині при побудові інтелектуальних систем і виборі методу представлення знань використовуються різні підходи або їх комбінації, а саме: структурний; логічний; еволюційний; імітаційний [5].

Мета дослідження – обґрунтування доцільності використання у виробництві ентомофагів інтелектуальних систем керування.

Матеріали і методи дослідження. Об'єктом дослідження був процес управління вирощуванням гусениць млинової вогнівки (*Ephesia kuehniella*) у спеціалізованому боксі при виробництві ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*).

Методи дослідження – системний підхід, інтелектуальний аналіз даних, семантичне моделювання, ситуаційне управління.

Встановлено, що температура повітря в зоні розведення комах має значний вплив на якість як ентомофага бракон, так і його хазяїна млинову вогнівку. При цьому функціонування традиційної системи керування на основі двопозиційного алгоритму супроводжується значними коливаннями температури повітря боксу (від 1,5 °C до 2,3 °C залежно від типу нагрівника), що призводить до збільшення споживання електроенергії [6].

Використовуючи результати досліджень [7], розроблено структурну схему гібридної інтелектуальної системи керування температурою повітря боксу для вирощування ентомокультур.

На підставі аналізу результатів досліджень [6-8] розроблено модель представлення знань щодо створення гібридної інтелектуальної системи керування температурою повітря боксу для вирощування ентомокультур у вигляді предикатної семантичної мережі та продукційні правила.

Результати досліджень та їх обговорення. З метою скорочення витрат електроенергії впродовж технологічного циклу вирощування ентомологічної продукції у спеціалізованому боксі та підвищення точності підтримання технологічних умов виробництва в умовах дії збурень керуючий вплив зводиться до такого управління, що забезпечить зменшення амплітуди коливань температури повітря, що вирішується гібридною інтелектуальною системою керування (рис. 1) за рахунок одночасного функціонування в режимі реального часу традиційної системи з двопозиційним алгоритмом керування на основі вимірювача-регулятора TPM202 ОВЕН з інтерфейсом RS-485, датчика температури, нагрівача, персонального комп'ютера із встановленою SCADA програмою OWEN PROCESS MANAGER; нейронної мережі прямого поширення сигналу; програмних засобів OPC Toolbox MATLAB, OPC-сервера OWEN.RS485, Simulink/MATLAB [7], сукупність котрих забезпечує умови для реалізації інтелектуального алгоритму змінювання уставки температури вимірювача-регулятора в залежності від помилки регулювання температурою повітря.

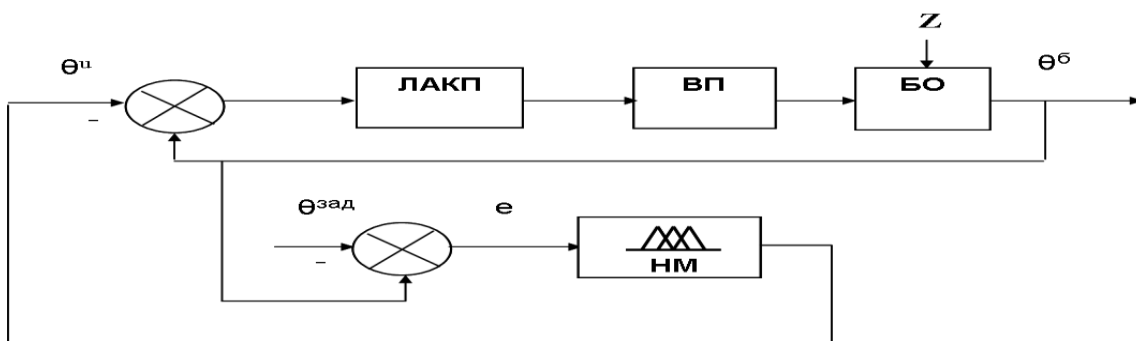


Рис. 1. Структурна схема гібридної інтелектуальної системи керування температурою повітря боксу для вирощування ентомокультур

На рис. 1 позначено: $\theta^{зад}$ – задане значення уставки температури повітря боксу, θ^b – поточне значення температури повітря боксу, θ^u – кероване значення уставки вимірювача-регулятора, НМ – нейронна мережа, e – помилка регулювання, Z – збурення, ВП – виконавчий пристрій (нагрівник), ЛАКП – локальний автоматичний керуючий пристрій (ТРМ202 ОВЕН); БО – (біотехнічний об’єкт - бокс з комахами та датчиком температури).

Розроблено модель представлення знань для побудови гібридної інтелектуальної системи керування температурою повітря боксу для вирощування ентомокультур у вигляді предикатної семантичної мережі (рис. 2), яка має вигляд:

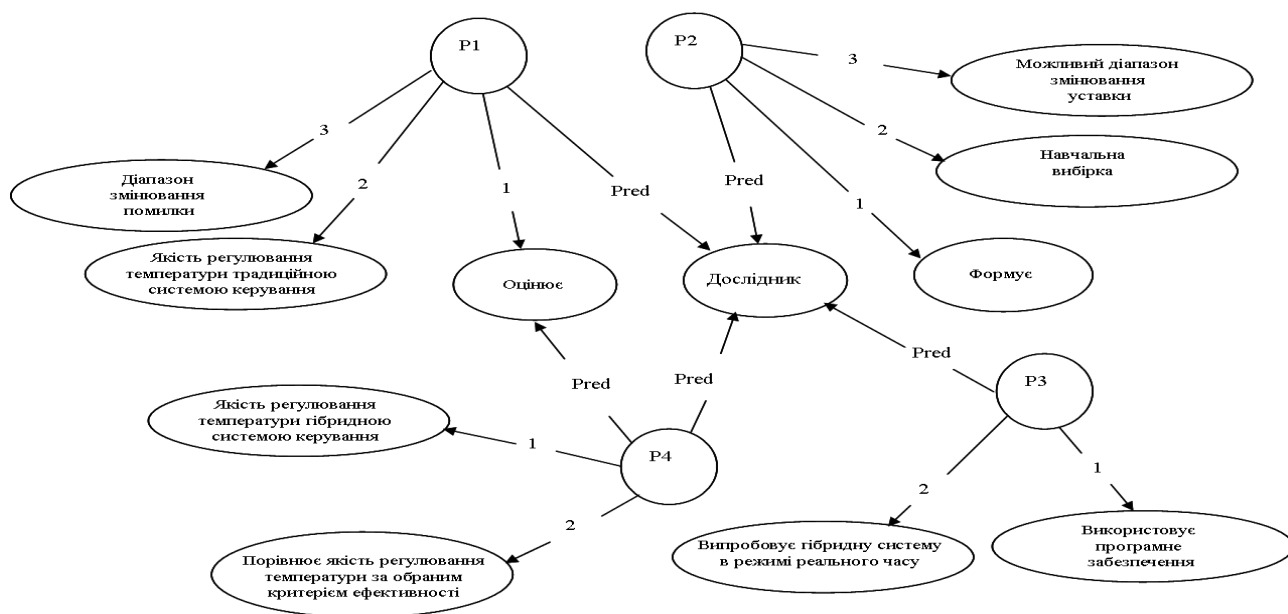


Рис. 2. Предикатна семантична мережа для побудови гібридної інтелектуальної системи керування температурою повітря боксу для вирощування ентомокультур

P1: Дослідник оцінює якість регулювання температури традиційною системою керування та діапазон змінювання помилки.

P2: Дослідник формує навчальну вибірку та можливий діапазон змінювання уставки.

P3: Дослідник використовує програмне забезпечення та випробовує гібридну систему в режимі реального часу.

P4: Дослідник оцінює якість регулювання температури гібридною системою керування та порівнює якість регулювання температури за обраним критерієм ефективності.

При цьому суттєвим є послідовність формування вибірки для навчання гібридної мережі та використання ANFIS - редактора MATLAB, за допомогою якого розроблено здатну до самонавчання нейронну мережу, що автоматично створила базу знань стосовно залежності уставки температури вимірювача-регулятора від помилки регулювання температурою повітря.

Основою інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів є база знань, що функціонує на основі розроблених продукційних правил:

П1: Якщо регульоване традиційною системою керування значення температури повітря боксу перевищує задане значення уставки вимірника-регулятора, то значення помилки регулювання є від'ємним.

П2: Якщо регульоване традиційною системою керування значення температури повітря боксу менше заданого значення уставки вимірника-регулятора, то значення помилки регулювання є позитивним.

П3: Якщо значення помилки регулювання є від'ємним, то кероване значення уставки вимірника-регулятора необхідно зменшувати у межі його зони нечутливості.

П4: Якщо значення помилки регулювання є позитивним, то кероване значення уставки вимірника-регулятора необхідно збільшувати у межі його зони нечутливості.

П5: Якщо забезпечено зв'язок OPC Toolbox, OPC-сервера OWEN.RS 485, Fuzzy Logic Toolbox та проведено випробування гібридної системи, то дослідник оцінює якість регулювання температури гібридною системою.

П6: Якщо зв'язок OPC Toolbox, OPC-сервера OWEN.RS 485, Fuzzy Logic Toolbox не забезпечено, то необхідно перевірити правильність побудови структурної моделі в Simulink/MATLAB.

П7: Якщо обраний критерій ефективності досягнуто, то відбувається виведення інформації про оптимальні параметри виробництва.

П8: Якщо обраний критерій ефективності не досягнуто, то необхідно корегувати процес формування навчальної вибірки.

Експериментальним шляхом встановлено, що гібридна система керування температурою повітря боксу на 20 % покращує якість управління системою з двопозиційним алгоритмом регулювання за інтегральним критерієм [7], дозволяє зменшити до 40 % амплітуду коливань температури повітря відносно уставки, скоротити витрати електроенергії до 33 % в умовах збурень [6, 7]. При цьому точність керування температурою та відповідно витрати електроенергії залежать від правильності складеної навчальної вибірки та збурень, що діють в конкретний проміжок часу [6].

Висновки і перспективи. Науково обґрунтовано доцільність використання у виробництві ентомофагів інтелектуальних систем управління. Формалізовано процес створення гібридної інтелектуальної системи керування температурою повітря боксу з ентомокультурами у вигляді предикатної семантичної мережі із використанням продукційних правил. Зазначене дозволяє систематизувати знання стосовно процесів управління виробництвом ентомофагів, підвищити енергоефективність та рівень автоматизації виробничого процесу, що позитивно впливає як на стани біологічної складової об'єкта, так і економіку підприємства. Результати досліджень впроваджено в умовах лабораторного виробництва ентомофага бракон (*Habrobrakon hebetor*).

Список використаних джерел

1. Petrov S. The entomophages of the family *Scelionidae* (Hymenoptera) biological pest control and quality of the agricultural food production. Agricultural University Plovdiv. Scientific Works, 2008. Vol. LIII. P. 227-230.

2. Grenier S. Artificial Rearing of Entomophagous Insects, with Emphasis on Nutrition and Parasitoids - General Outlines from Personal Experience. Karaelmas Science and Engineering Journal. 2012. V. 2. Iss. 2. P. 1-12.

3. Шило И. Н., Толочко Н. К., Романюк Н. Н., Нукешев С. О. Интеллектуальные технологии в агропромышленном комплексе. Минск: БГАТУ. 2016. 336 с.

4. Ладанюк А. П., Луцька Н. М., Смітюх Я. В., Власенко Л. О., Сашнєва М. В. Ефективність інтелектуальних систем керування технологічними об'єктами. Частина 1. Основні положення. Харчова промисловість. 2019. № 25. С. 142-147. <https://doi.org/10.24263/2225-2916-2019-25-20>

5. Нестеренко О. В., Ковтунець О. В., Фаловський О. О. Інтелектуальні систем і технології. К.: Національна академія управління. 2017. 90 с.

6. Лисенко В. П., Чернова І. С. До питання створення енергоефективних систем керування виробництвом ентомофагів. Енергетика та автоматика. 2019. № 6. С. 5-13. <https://doi.org/10.31548/energiya2019.06.005>

7. Лисенко В. П., Чернова І. С. Адаптивна система керування виробництвом ентомофагів. Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. 2019. № 11 (2). С. 10–16. <https://doi.org/10.15673/atbp.v11i2.1373>

8. Верес О. М., Микіч Х. І. Концептуальна модель інтелектуальної інформаційної системи малого підприємства. Вісник Національного університету Львівська політехніка. Інформаційні системи та мережі. 2014. № 783. С. 30-38.

References

1. Petrov, S. (2008). The entomophages of the family *Scelionidae* (Hymenoptera) biological pest control and quality of the agricultural food production. Agricultural University Plovdiv. Scientific Works, LIII, 227-230.

2. Grenier, S. (2012). Artificial Rearing of Entomophagous Insects, with Emphasis on Nutrition and Parasitoids - General Outlines from Personal Experience. Karaelmas Science and Engineering Journal, 2 (2), 1-12.

3. Shilo, I. N., Tolochko, N. K., Romanyuk, N. N., Nukeshev, S. O. (2016). Intel'ektual'nye tekhnologii v agropromyshlennom komplekse [Intelligent technologies in the agro-industrial complex]. Minsk: BGATU, 336.

4. Ladaniuk, A., Lutska, N., Smityukh, Ya., Vlasenko, L., Sashnova, M. (2019). Efektyvnist intelektualnykh system keruvannya tekhnolohichnymy ob'ektyamy. Chastyna 1. Osnovni polozhennia [The efficiency of intelligent control systems for process facilities. Part 1. Basic provisions]. Kharchova promyslovist, 25, 141-147. <https://doi.org/10.24263/2225-2916-2019-25-20>

5. Nesterenko, O. V., Kovtunets, O. V., Falovskyi, O. O. (2017). Intel'ektualni system i tekhnolohii. Vvidnyi kurs: Navch. Posibnyk [Intelligent systems and technologies. Introductory course: Textbook. manual]. K.: Natsionalna akademiia upravlinnia, 90.

6. Lysenko, V. P., Chernova, I. S. (2019). Do pytannia stvorennia enerhoefektyvnykh system keruvannya vyrobnytstvom entomofahiv [On the issue of creating energy efficient control systems for the production of entomophages]. Enerhetyka ta avtomatyka, 6, 5-13. <https://doi.org/10.31548/energiya2019.06.005>

7. Lysenko, V. P., Chernova, I. S. (2019). Adaptivna systema keruvannya vyrobnytstvom entomofahiv [Adaptive Entomophages Production Management System].

Automation of Technological and Business Processes, 11 (2), 10-16.
<https://doi.org/10.15673/atbp.v11i2.1373>

8. Veres, O. M., Mykich, Kh. I. (2014). Kontseptualna model intelektualnoi informatsiinoi systemy maloho pidpriemstva [Conceptual model of intelligent information system of a small enterprise]. Visnyk Natsionalnoho universytetu Lvivska politekhnika. Informatsiini systemy ta merezhi, 783, 30-38.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ЭНТОМОФАГОВ

В. Ф. Лысенко, И. С. Чернова

Аннотация. *В статье раскрыты особенности разработки интеллектуальных систем управления производством энтомофагов, определена актуальность выбранного направления исследований.*

Целью исследования было обоснование целесообразности использования в производстве энтомофагов интеллектуальных систем управления. Объект исследования – процесс управления выращиванием гусениц мельничной огневки (Ephestia kuehniella) в специализированном боксе при производстве энтомофага бракон (Habrobracon hebetor). Методы исследования – системный подход, интеллектуальный анализ данных, семантическое моделирование, ситуационное управление.

Разработана структурная схема гибридной интеллектуальной системы управления температурой воздуха бокса для выращивания энтомокультур; модель представления знаний в отношении построения гибридной интеллектуальной системы управления в виде предикатной семантической сети. Разработаны продукционные правила базы знаний интеллектуальной системы управления, которые позволяют уточнить процесс ее создания. При этом акцентировано внимание на: последовательность формирования обучающей выборки, что влияет на точность управления температурой воздуха бокса и соответственно расходы электроэнергии; использование ANFIS-редактора MATLAB, с помощью которого разработана способная к самообучению нейронная сеть, автоматически создавшая базу знаний относительно зависимости уставки температуры измерителя-регулятора от ошибки регулирования температурой воздуха.

Научно обоснована целесообразность использования в производстве энтомофагов интеллектуальных систем управления. Формализован процесс создания гибридной интеллектуальной системы управления температурой воздуха бокса для выращивания энтомокультур в виде предикатной семантической сети с использованием продукционных правил. Отмеченное позволяет систематизировать знания в отношении процессов управления производством энтомофагов, повысить энергоэффективность и уровень автоматизации производственного процесса, что положительно влияет как на состояния биологической составляющей объекта, так и экономику предприятия.

Результаты исследований внедрены в условиях лабораторного производства энтомофага бракон (Habrobracon hebetor).

Ключевые слова: *гибридная интеллектуальная система управления, производство энтомофагов, предикатная семантическая сеть*

PECULIARITIES OF DEVELOPMENT INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS FOR THE PRODUCTION OF ENTOMOPHAGES

V. Lysenko, I. Chernova

Abstract. *The article reveals the features of the development of intelligent control systems for the production of entomophages, the relevance of the selected research area is determined.*

*The aim of the study was to substantiate the feasibility of using intelligent control systems in the production of entomophages. Object of research – management process the cultivation of caterpillars *Ephestia kuehniella* in a specialized box in the production of entomophage *Habrobracon hebetor*. Research methods – systems approach, data mining, semantic modeling, situational management.*

A structural diagram of a hybrid intelligent system for controlling the air temperature of a box for growing entomocultures has been developed; knowledge representation model in relation to the construction of a hybrid intelligent control system in the form of a predicate semantic network. The production rules of the knowledge base of the intelligent control system have been developed, which allow to clarify the process of its creation. At the same time, attention is focused on: the sequence of formation of the training sample, which affects the accuracy of control of the air temperature of the box and, accordingly, the costs of electricity; use of ANFIS-editor MATLAB, which developed a self-learning neural network that automatically created a knowledge base regarding dependency the temperature setting of the meter-controller from the error of air temperature regulation.

The expediency of using intelligent control systems in the production of entomophages has been scientifically substantiated. Formalized process of creating a hybrid intelligent box air temperature control system for growing entomocultures in the form of a predicate semantic network using production rules. The abovementioned makes it possible to systematize knowledge in relation to the processes of managing the production of entomophages, improve energy efficiency and the level of automation of the production process, which has a positive effect on both the state of the biological component of the object and the economy of the enterprise.

*The research results were introduced in the laboratory production of the entomophage *Habrobrakon hebetor*.*

Key words: *hybrid intelligent control system, production of entomophages, predicate semantic networks*