



# Механізація, електрифікація

УДК 681.516.75: 004.8:  
632.08  
© 2020

## МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ ЕНТОМОФАГІВ

В.П. Лисенко<sup>1</sup>, І.С. Чернова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>доктор технічних наук

<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України  
вул. Героїв Оборони, 12, м. Київ, 03041, Україна

<sup>2</sup>Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН  
вул. Маяцька дорога, 26, смт Хлібодарське Біляївського р-ну Одеської обл., 67667, Україна  
e-mail: <sup>1</sup>lysenko@nubip.edu.ua, <sup>2</sup>bioischernova@ukr.net  
ORCID: <sup>1</sup>0000-0002-56-59-6806, <sup>2</sup>0000-0002-9995-38-34

Надійшла 15.11.2019

**Мета.** Розроблення методологічних основ побудови інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів. **Методи.** Системний аналіз, когнітивний підхід, нечітка логіка, нейронні мережі. **Результати.** Розроблено інтелектуальну систему керування виробництвом ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*) та загальну послідовність її побудови. Визначено структуру системи, яка є 2-рівневою комп'ютерно-інтегрованою, критерії ефективності керування на нижньому та верхньому рівнях. Нижній рівень реалізовано автоматичною підсистемою керування у режимі реального часу абіотичними параметрами постадійного розвитку комах (температурою та відносною вологістю повітря) на основі персонального комп'ютера, вимірника-регулятора TPM202 OVEN, SCADA програми OWEN PROCESS MANAGER, автоматичного перетворювача інтерфейсу USB/RS-485. Верхній рівень — підсистемою підтримки ухвалення рішень, яка містить користувальницький інтерфейс MATLAB, бази знань і даних модуля логічного висновку. Підсистема підтримки ухвалення рішень реалізована експертними підсистемами нечіткого висновку для оцінки якості ентомологічної продукції та прибутку її виробництва, нечіткою когнітивною картою для формалізації слабоструктурованих завдань, гібридною мережею для формування керуючих впливів у виробництві ентомофагів. **Висновки.** Науково обґрунтовано загальну послідовність побудови інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів. Основною перевагою системи є формування стратегій керування, що в умовах невизначеності максимізують прибуток виробництва ентомологічної продукції, забезпечуючи при цьому її необхідну якість.

**Ключові слова:** нечітка логіка, гібридна нейронна мережа, когнітивна карта, якість, прибуток.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202001-09>

Нині виробництво ентомофагів гарантованої якості є одним із пріоритетних напрямів біологізації землеробства в Україні через необхідність отримання екологічно чистої продукції харчування. Роль ентомофагів полягає у збереженні корисних організмів у природі, створенні умов для зменшення забруднення навколишнього середовища та отримання якісної продукції [1].

Особливостями сучасних технологій масового розведення ентомофагів є високий і стабільний вихід кінцевого продукту з одиниці виробничої площі та зменшення його собівартості [2]. При цьому виробництво ентомофагів гарантованої якості з позиції теорії керування є складним процесом, якому властиві наявність значної кількості підсистем (підготовка поживного середовища, контроль якості ентомологічної продукції, розведення комах-хазяїна, ентомофагів та ін.), цільові функції яких не збігаються із цільовою функцією виробництва загалом; неоднозначна поведінка біологічного об'єкта; наявність зовнішніх збурень (втрата працездатності та зношуваність обладнання, випадкові зміни напруги електромережі, різка зміна температури зовнішнього середовища та ін.); значні сумарні витрати електроенергії [3]; наявність слабоструктурованих завдань (вплив висоти шару поживного середовища [4] та внесених у нього добавок [5] на якість ентомологічної продукції та ін.).

Якість ентомологічної продукції, яка залежить від значної сукупності чинників, у тому числі збурюючих, оцінюють за біологічними показниками (плодючість, статевий індекс, маса гусениць, яєць та ін.). При цьому формалізація цих залежностей у багатьох випадках відсутня, і експериментальна оцінка ступеня впливу не завжди є можливою. На якість продукції істотно впливає температура повітря. Так, за підвищення температури повітря в зоні існування комах спостерігається їх перегрівання і скорочення споживання кормів,

що призводить до різкого зниження плодючості [6]. Традиційна система автоматичного керування температурою повітря боксу на основі позиційного алгоритму [7] не забезпечує оптимальної температури  $26 \pm 1^\circ\text{C}$  для вирощування млинової вогнівки (*Ephestia kuehniella*) [4] у виробництві ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*) через значні коливання ( $1,5\text{--}2,3^\circ\text{C}$ ), що призводить до зменшення кількості та погіршення якості ентомологічної продукції і прибутку.

З метою підвищення ефективності виробництва ентомофагів формування стратегій його керування потребує нових підходів. Для вирішення цього завдання запропоновано використання інтелектуальних систем, що нині є важливим напрямом розвитку сучасних інформаційних технологій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Інтелектуальною системою керування є така система, де використовують технології штучного інтелекту, засновані на знаннях; є підсистема підтримки ухвалення рішень; розв'язання завдань керування можливе в автоматичному та автоматизованому режимах в умовах невизначеності [8].

Нині відомі дослідження щодо розроблення та створення інтелектуальних систем керування в Україні та світі стосуються розроблення систем керування на основі експертних систем нечіткого висновку, когнітивного аналізу, гібридних інтелектуальних систем, перевагами яких, на відміну від традиційних систем керування, є ухвалення рішень в умовах невизначеності, урахування збурень, формалізація слабоструктурованих завдань [8–14]. Так, на сьогодні є дослідження щодо створення та впровадження інтелектуальних систем керування у теплицях, при вирощуванні сільськогосподарських рослин. Головним питанням при цьому є формалізація бази знань щодо предметної галузі [12, 14].

**Мета досліджень** — розроблення методологічних основ побудови інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів.

**Матеріали та методи досліджень.** Об'єкт досліджень — біотехнологічні процеси виробництва ентомофагів та керування цим виробництвом для підвищення його ефективності. Методи досліджень — системний аналіз, когнітивний підхід, нечітка логіка, нейронні мережі.

Дослідження проводили в Інженерно-технологічному інституті «Біотехніка» НААН. Метод системного аналізу застосовують для розв'язання складних комплексних проблем з урахуванням необхідності ухвалення рішень в умовах невизначеності [15]. Когнітивний підхід спрямований на розроблення формальних моделей, які підтримують інтелектуальний процес розв'язання проблем [11]. Нечітка логіка дає змогу використовувати знання про об'єкт керування, представлені у вигляді лінгвістичних правил типу «якщо, то», які характеризують взаємозв'язок між вхідними та вихідними змінними досліджуваного об'єкта [13]. Застосування нейронних мереж зменшує собівартість досліджень [16].

Формування стратегій керування відбувається в умовах невизначеності та ризику виробництва неякісної продукції [17], який є одним із технологічних чинників, що об'єднує якість продукції і технологічного процесу.

Інструментами для розроблення інтелектуальної системи керування були SCADA OPM, Microsoft Office Access, Simulink/MATLAB, ANFIS-редактор, OPC Toolbox MATLAB, OPC-сервер OWEN.RS485 і Fuzzy Logic Toolbox MATLAB.

**Результати досліджень.** Розроблено інтелектуальну систему керування виробництвом ентомофага бракон, який на сьогодні є перспективним гусеничним паразитоїдом у біологічній боротьбі зі шкідниками сільськогосподарських культур, та загальну послідовність її побудови. Система пройшла випробування, впроваджена в науково-дослідному відділі промислової ентомології Інженерно-технологічного інституту «Біотехніка» НААН та захищена патентами України [7, 18]. Структура системи є 2-рівневою комп'ютерно-інтегрованою. Нижній рівень реалізовано автоматичною підсистемою керування у режимі реального часу абіотичними параметрами поstadійного розвитку комах (температурою і відносною

вологістю повітря) на основі персонального комп'ютера, вимірника-регулятора TPM202 OBEH, SCADA програми OWEN PROCESS MANAGER, автоматичного перетворювача інтерфейсу USB/RS-485 [7]. На нижньому рівні також відбувається керування витратами електроенергії на забезпечення заданих абіотичних параметрів; завдання технологічних параметрів; керування кількістю та якістю ентомологічної продукції.

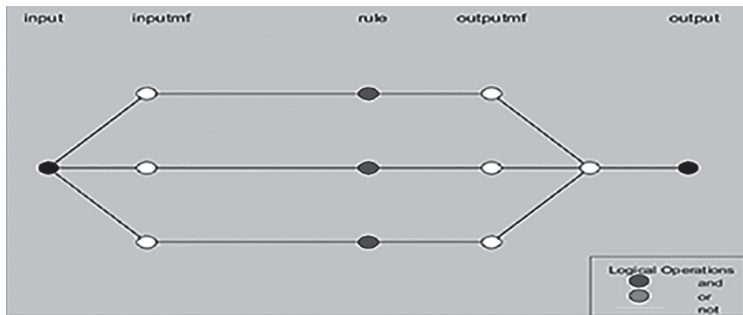
Критерієм ефективності керування на нижньому рівні визначено мінімізацію помилки регулювання температурою повітря боксу за модульним інтегральним критерієм [19, 20]:

$$I = \frac{1}{t_k - t_p} \int_{t_p}^{t_k} |e(t)| dt \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $t_p$ ,  $t_k$  — відповідно час початку та закінчення інтервалу оцінювання процесу керування;  $e(t)$  — помилка зміни температури повітря боксу за обраний інтервал оцінювання, °C.

Мінімізацію помилки регулювання температурою повітря боксу реалізовано гібридною інтелектуальною підсистемою [20] на основі нейронної мережі, інтерактивного середовища Simulink/MATLAB, технології OPC-комунікацій [21] та ситуаційного керування [22]. Функціонування гібридної підсистеми відбувалося у режимі реального часу в боксі для лабораторного виробництва млинової вогнівки на основі роботи традиційної підсистеми керування температурою повітря [7] та згенерованої гібридної нейронної мережі (рис. 1) із використанням Simulink/MATLAB, OPC Toolbox MATLAB, OPC-сервера OWEN.RS485, ANFIS-редактора, Fuzzy Logic Toolbox MATLAB [20].

Основними етапами побудови гібридної підсистеми було: формування вибірки для навчання мережі за результатами експериментальних досліджень традиційної підсистеми керування температурою повітря боксу з урахуванням збурень (температури навколишнього середовища і приміщення, яке межує з боксом), що склалися на поточний момент часу; її завантаження в ANFIS-редактор MATLAB; визначення структури гібридної мережі; її навчання і тестування; перегляд автоматично сформованих правил: 1. Якщо (input є in1mf1), то



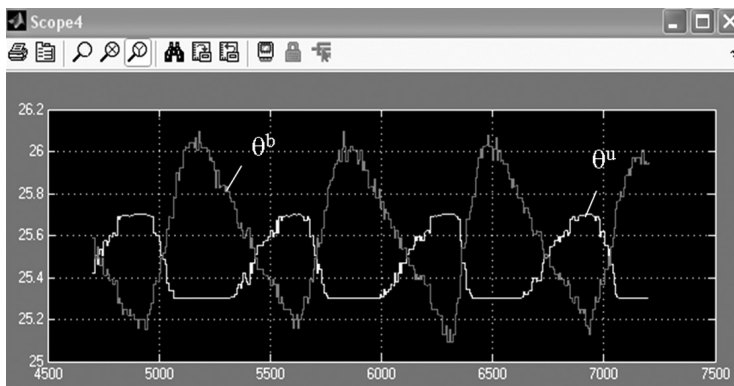
**Рис. 1.** Згенерована гібридна нейронна мережа

(output є out1mf1). 2. Якщо (input є in1mf2), то (output є out1mf2). 3. Якщо (input є in1mf3), то (output є out1mf3) [20].

Вхідною змінною мережі (input) діапазоном  $[-0.7; 0.7]$  є помилка регулювання температури традиційною підсистемою керування, вихідною змінною (output) діапазоном  $[25.3; 25.7]$  — уставка температури регулятора [20]. Першим шаром мережі (inputmf) є терми вхідної змінної in1mf1, in1mf2, in1mf3 із трикутними функціями належності — in1mf1:trimf  $[-1.234; -0.273; 0.207]$ , in1mf2:trimf  $[-1.236; -0.01671; 1.229]$  та in1mf3:trimf  $[-0.1476; 0.2999; 1.236]$ . При цьому кількість нейронів першого шару визначається сумарною кількістю термів вхідної змінної; другим шаром мережі (rule) є антицеденти (передумови) нечітких правил, при цьому кожен вузол цього шару може приймати 1 вхідний сигнал, і кількість вузлів шару дорівнює кількості правил. Колір нейронів 2-го шару відповідає типу логічної

зв'язки AND, використаної за побудови правил. Вузли цього шару виконують функцію агрегування ступенів істинності умов за кожним правилом системи нечіткого виводу відповідно до операції Т-норми, якою є операція логічної кон'юнкції за методом алгебраїчного добутку [23]. Третій шар (outputmf) — нормалізація ступеня виконання нечіткого правила (міра істинності висновків правил): кожен вузол цього шару розраховує відносний ступінь виконання нечіткого правила, кількість вузлів шару також дорівнює кількості правил. Четвертим шаром є суматор — агрегація виходів усіх правил: реалізація логічної диз'юнкції за методом алгебраїчної суми, п'ятим (output) — чітке значення вихідної змінної. Значення термів вихідної змінної (out1mf1:constant [25.06], out1mf2:constant [25.6], out1mf3:constant [25.78]) визначено навчанням мережі за гібридним методом.

На рис. 2 наведено результат роботи гібридної підсистеми в режимі реального



**Рис. 2.** Результат роботи гібридної підсистеми в режимі реального часу ( $\theta^u$  — уставка регулятора температури,  $\theta^b$  — температура повітря боксу)

часу при уставці регулятора 25,5°C, зоні нечутливості  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  за температури навколишнього середовища 10°C і зовнішнього приміщення 19,6°C [20].

Із використанням методу чисельного інтегрування встановлено, що за модульним інтегральним критерієм (1) гібридна підсистема на 20% поліпшує якість керування традиційною підсистемою із позиційним регулятором [7, 20]. Експериментально доведено, що гібридна підсистема дає змогу зменшити до 40% амплітуду коливань температури повітря відносно уставки. При цьому точність керування залежить від сформованої навчальної вибірки та збурень, що діють у конкретний час.

Верхній рівень інтелектуальної системи реалізовано підсистемою підтримки ухвалення рішень, що містить користувацький інтерфейс MATLAB, бази знань і даних модуля логічного висновку. Інформація з нижнього рівня системи про температуру та відносну вологість повітря боксу, вид та висоту шару поживного середовища, кількість унесених у поживне середовище яєць комах-хазяїна, витрати електроенергії, кількість та якість ентомологічної продукції зберігається у структурованому вигляді (база даних Microsoft Office Access) і використовується базою знань (MATLAB) для створення інтелектуальної підсистеми підтримки ухвалення рішень.

Підсистему підтримки ухвалення рішень реалізовано експертними підсистемами нечіткого висновку для оцінки якості ентомологічної продукції та прибутку її виробництва, нечіткою когнітивною картою для формалізації слабоструктурованих завдань, гібридною мережею для формування керуючих впливів у виробництві ентомофагів [18, 24–26].

Критерієм ефективності керування системою на верхньому рівні визначено максимізацію прибутку виробництва  $\Pi(t)$  за умови мінімізації енерговитрат  $E(t)$  [24]:

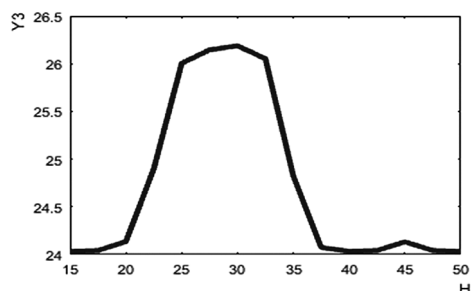
$$\Pi(t) = (D(t) - E(t) - V - P) \rightarrow \max, \quad (2)$$

де  $D(t)$  — дохід від реалізації ентомопродукції, грн (залежить від кількості та якості продукції);  $V$  — загальні витрати поживного середовища, грн;  $P$  — загальні витрати на інокуляцію поживного середовища, грн.

Процес формування продукційних правил бази знань інтелектуальної системи відбувається на основі зв'язку: показників якості ентомологічної продукції з абіотичними параметрами постадійного розвитку комах (температурою та відносною вологістю повітря) і технологічними параметрами виробництва (висотою шару поживного середовища комах-хазяїна, видом поживного середовища, кількістю яєць комах-хазяїна, унесених у поживне середовище); прибутку виробництва з абіотичними параметрами і загальними витратами електроенергії, поживного середовища та витратами на його інокуляцію, кількістю та якістю продукції; уставки регулятора та помилки регулювання температурою повітря.

Формування стратегій керування якістю ентомологічної продукції в умовах неповноти інформації щодо залежності показників якості від сукупності абіотичних і технологічних параметрів виробництва за результатами експериментальних досліджень в умовах лабораторного виробництва млинової вогнівки реалізовано за допомогою системи нечіткого висновку типу Мамдані та пакета розширення Fuzzy Logic Toolbox MATLAB [18].

Використання нечіткої когнітивної карти [25] дало можливість формалізувати за результатами досліджень [4] вплив висоти шару поживного середовища млинової вогнівки на показники її якості. На рис. 3 наведено залежність середньої маси гусениць млинової вогнівки старшого віку від висоти шару поживного середовища. Середня похибка апроксимації становила 1,68% (у межах допустимих значень) [25, 27].



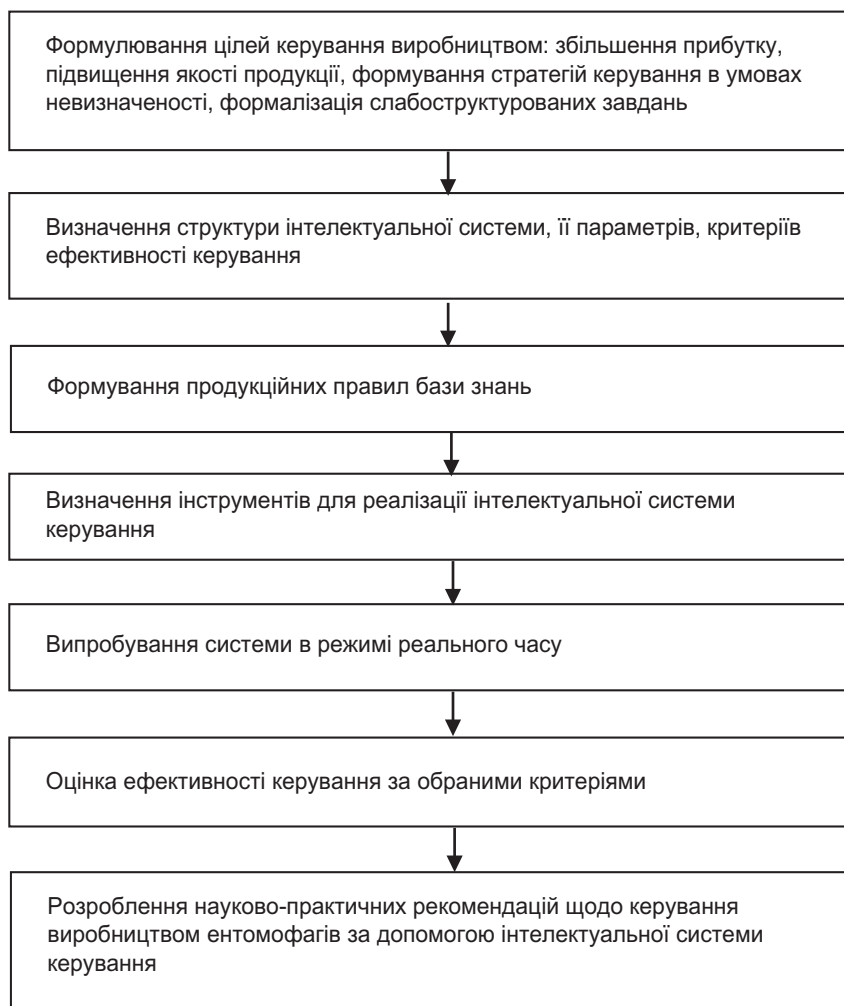
**Рис. 3.** Залежність маси гусениць млинової вогнівки старшого віку від висоти шару поживного середовища



Застосовуючи Fuzzy Logic Toolbox MATLAB, з достатньою точністю за результатом нечіткого висновку встановлено, що за доходу 2254–2924 грн, загальних витрат електроенергії 131 грн, температури повітря боксу 26,8°C, відносної вологості повітря 70%, загальних витрат поживного середовища 500 грн, витрат на інокуляцію зерна яйцями млинової вогнівки 1020 грн, тривалості циклу виробництва гусениць млинової вогнівки 30 діб прибуток буде максимальним — 1440 грн, а енерговитрати — мінімальними [24].

Із використанням ANFIS-редактора MATLAB шляхом застосування здатної до самонавчання гібридної мережі з достатньою точністю реалізовано формування керуючих впливів при виробництві ентомофага бракон [26]. На основі експериментальних даних залежності кількості заражених паразитом гусениць млинової вогнівки від абіотичних параметрів автоматично створено базу знань і поверхню нечіткого висновку.

На рис. 4 наведено загальну послідовність побудови інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів.



**Рис. 4.** Загальна послідовність побудови інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів

## Висновки

Науково обґрунтовано загальну послідовність побудови інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів. Основною перевагою системи є форму-

вання стратегій керування, що в умовах невизначеності максимізують прибуток виробництва ентомологічної продукції, забезпечуючи при цьому її необхідну якість.

Lysenko V.<sup>1</sup>, Chernova I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, 03041, Ukraine; <sup>2</sup>Engineering and Technological Institute «Biotechnica» of NAAS, 26 Maiatska doroha Str., Khlivodarske, Biliaivka region, Odesa oblast, 67667, Ukraine; e-mail: <sup>1</sup>lysenko@nubip.edu.ua, <sup>2</sup>bioischernova@ukr.net; ORCID: <sup>1</sup>0000-0002-56-59-6806, <sup>2</sup>0000-0002-9995-38-34

### Methodological bases of building intellectual management system for production of entomophages

**Goal.** To develop methodological grounds for building an intellectual management system for the production of entomophages. **Methods.** System analysis, cognitive approach, fuzzy logic, neural network. **Results.** They developed an intelligent production management system of the entomophage brachon (*Habrobracon hebetor*) and a common sequence of its creation. The structure was determined by the system, which is a 2-level computer-integrated one, as well as the criterion of efficiency of management on the lower and upper levels. The lower level is realized as automatic real-time control subsystem

over abiotic parameters of stepwise development of insects (temperature and relative humidity) on the basis of a personal computer, the meter-regulator TRM202 OWEN, SCADA program OWEN PROCESS MANAGER, automatic interface converter USB/RS-485. The upper level — as a subsystem of decision support, which contains user interface MATLAB, knowledge base and module data of the logical inference. The subsystem of decision support is implemented in the expert fuzzy inference to evaluate the quality of entomological products and profits of production, fuzzy cognitive map for the formalization of semi-structured tasks, the hybrid network for generating the control actions in the production of entomophages. **Conclusions.** They substantiated scientifically the general sequence of building intellectual management system for the production of entomophages. The main advantage of the system is the creation of management strategies under uncertainty to maximize profit production of entomological products while ensuring the required quality.

**Key words:** fuzzy logic, hybrid neural network, cognitive map, quality, profit

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202001-09>

## Бібліографія

1. Gavrilitsa L. *Trichogramma entomophage* in integrated plant protection as means to reduce pests' population density crops in REPUBLIC OF MOLDOVA. *Studii și Cercetări, Universitatea «Vasile Alecsandri» din Bacău. Biologie*. 2015. V. 24/2. P. 10–24.

2. Белякова Н.А. Особенности современных технологий массового разведения энтомофагов. *Защита и карантин растений*. 2010. № 8. С. 18–20.

3. Рудик Л., Таргоня В., Грогуленко Д. та ін. Промислова технологія виробництва ентомологічного препарату бракон для біологічного захисту рослин. *Техніка і технології АПК*. 2013. № 12 (51). С. 29–33.

4. Молчанова О.Д., Копко І.А. Розведення млинової вогнівки для вирощування ектопаразиту бракон (*Habrobracon hebetor* Say.). *Аграрний вісник Півдня*. 2014. № 1. С. 131–134.

5. Молчанова Е.Д., Шейкина Е.Б., Городецкой С.А. Оптимизация корма для выращивания

мельничной огневки. *Защита растений*. Минск, 2015. Вып. 39. С. 191–196.

6. Мельничук М., Блюм Я., Дубровін В. та ін. До питання обґрунтування та оцінювання біокліматичних показників біотехнологічних процесів на прикладі виробництва ентомологічного препарату трихограми. *Техніка і технології АПК*. 2011. № 8 (23). С. 34–37.

7. Пат. 106355 Україна, МПК A01K 67/00 (2016.01), G07C 3/14 (2006.01). Спосіб керування якістю ентомологічної продукції. В.М. Бельченко, І.С. Чернова; заявник і власник Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН. № u201509944; заявл. 12.10.15; опубл. 25.04.2016. 5 с.

8. Вожаков А.В., Данилов А.Н. Разработка интеллектуальной системы управления промышленным предприятием на основе модели с открытым интерфейсом. *Прикладная математика и вопросы управления*. 2015. № 2. С. 31–46.

9. Harsimranjit S., Narinder S. A Review of Fuzzy Based Expert System in Agriculture. *International j. of engineering sciences & research technology*. 2014. 3(7). P. 912–915.
10. Maher A., Kamel E., Enrico F. et al. An intelligent system for the climate control and energy savings in agricultural greenhouses. *Energy Efficiency*. 2016. 9. P. 1241–1255. doi: 10.1007/s12053-015-9421-8
11. Савчук О.В., Ладанюк А.П., Гриценко Н.Г. Когнітивний підхід до моделювання і управління слабоструктурованими організаційно-технологічними системами (ситуаціями). *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2009. № 2/3 (38). С. 14–18.
12. Игнатъев В.В. Адаптивные гибридные интеллектуальные системы управления. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2010. № 12 (113). С. 89–94.
13. Таргоня В., Яворів В. До питання використання експертної системи багатофакторного аналізу для вибору та розроблення біотехнологічних процесів і обладнання. *Техніка і технології АПК*. 2010. № 10 (13). С. 31–34.
14. Мироненко В.Г. Передумови та особливості створення елементів штучного інтелекту в системах оперативного керування АПК. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 5. С. 47–51. doi: org/10.31073/agrovisnyk201605-09
15. Ладанюк А.П. Основи системного аналізу. Вінниця: Нова книга, 2004. 176 с.
16. Казначеев П., Самойлова Р., Курчиски Н. Применение методов искусственного интеллекта для повышения эффективности в нефтегазовой и других сырьевых отраслях. *Экономическая политика*. 2016. Т. 11. № 5. С. 188–197.
17. Кочегин А.А. Показатели качества технологических процессов и систем. Современные техника и технологии. XVII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. 18–22 апреля 2011 года. Томск, ТПУ. 2011. Т. 3. С. 137–138.
18. Пат. 127141 Україна, МПК G07C 3/14 (2006.01), G05B 13/04 (2006.01), A01K 67/033 (2006.01). Спосіб керування якістю ентомологічної продукції. В.П. Лисенко, І.С. Чернова;
- заявник і власник Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН. № u201708505; заявл. 19.08.17; опубл. 25.07.2018. 4 с.
19. Мовчан А.П., Степанець О.В. Адаптивні та параметрично-оптимальні системи управління. Навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2011. 108 с.
20. Лисенко В., Чернова І. Адаптивна система керування виробництвом ентомофагів. *Automation of Technological and Business Processes*. 2019. V. 11(2). P. 10–16. doi: 10.15673/atbp.v11i2.1373
21. Бракоренко А.С. Тестирование и обеспечение качества программно-технических комплексов на основе использования виртуальных технологических объектов. *Приборы и методы измерений*. 2014. № 2 (9). С. 75–80.
22. Крючкова Л.П., Борисенко І.І. Застосування ситуаційного моделювання в управлінні технічними системами. *Зв'язок*. 2017. № 4. С. 43–47.
23. Сова О.Я., Жук П.В., Міночкін Д.А., Симоненко О.А. Методика побудови нечітких баз знань інтелектуальних систем управління вузлами мобільних радіомереж класу MANET. *Системи озброєння і військова техніка*. 2014. № 4(40). С. 117–125.
24. Лисенко В.П., Чернова І.С. Інтелектуальний алгоритм керування для енергоефективного вирощування ентомофагів. *Automation of Technological and Business Processes*. 2018. V. 10(3). P. 50–58. doi: 10.15673/atbp.v10i3.1088
25. Lysenko V., Chernova I. Intelligent Algorithms of Processing of Information in the Production Entomophages. *International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology PIC S&T-2018»*, Kharkiv, October 9–12, 2018. IEEE: Conference Proceedings. Kharkiv. 2018. P. 530–534. doi: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632127
26. Лисенко В.П., Чернова І.С. До питання керування виробництвом ентомофагів. *Енергетика та автоматика*. 2017. № 3. С. 15–24.
27. Шалабанов А.К., Роганов Д.А. Эконометрика: учеб.-метод. пособие. Казань: Академия управления «ТИСБИ». 2008. 203 с.