

УДК 681.51: 632.08

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ВИРОЩУВАННЯМ 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. Розглянуті питання інформаційного забезпечення оптимального керування виробництвом ентомофагів.

Метою дослідження є розробка методу, а на його основі алгоритму оптимального керування виробництвом ентомофагів за рахунок використання інтелектуальних алгоритмів обробки інформації. Методи досліджень - системний аналіз, ієрархічне дерево логічного висновку, нечітка логіка.

Вирощування ентомофагів розглянуто з позиції складної динамічної біотехнічної системи, котра має певну кількість взаємопов'язаних процесів – основних, допоміжних та - обслуговування. З точки зору теорії керування процеси виробництва ентомофагів являють собою об'єкти, основними особливостями котрих є ієрархічність, організованість, обмеженість, множина опису, стохастичність.

За результатами експериментальних досліджень, проведених в Інженерно-технологічному інституті «Біотехніка», класифіковано фактори, які впливають на комплексний показник якості млинової вогнівки (*Ephesia kuehniella*), комахи-хазяїна ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*), у вигляді ієрархічного дерева логічного висновку, створено базу знань та отримано поверхні нечіткого висновку, що дозволяють на основі інформації про залежність комплексного показника якості ентомокультур від параметрів техноценозу формувати оптимальні стратегії керування виробництвом ентомофагів в умовах обмеженості вхідної інформації, зменшити витрати енергії для прийняття рішень щодо забезпечення якості ентомокультур, формалізувати слабо структуровані процеси вирощування ентомокультур, підвищити економічну ефективність виробництва.

Ключові слова: оптимальне керування, вирощування ентомофагів, методика, ієрархічне дерево

Актуальність. Отримання ентомофагів гарантованої якості в умовах техноценозу має важливе значення для їх ефективного використання в агробіоценозі та являється пріоритетним напрямом розвитку сучасної промислової ентомології. Ентомологічне виробництво як складна динамічна біотехнічна система має певну кількість взаємопов'язаних процесів – основних, допоміжних та процесів обслуговування. Основними процесами є розведення комах-хазяїна, розведення комах-паразита (хижака), контроль якості ентомологічної продукції, зберігання комах-паразита (хижака). З точки зору теорії керування процеси виробництва ентомофагів являють собою об'єкти, основними особливостями котрих є ієрархічність, організованість, обмеженість, множина опису, стохастичність. Виявлення властивостей біологічної складової процесу виробництва ентомофагів, зокрема прогнозування залежностей показників якості ентомокультур від параметрів техноценозу для їх використання при формуванні стратегії оптимального керування вирощуванням ентомофагів вимагає використання нових підходів, що сприяють підвищенню ефективності виробництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні відомі результати досліджень щодо створення енергоефективних систем керування електротехнічними комплексами для аграрних виробництв на основі використання комп'ютерно-інтегрованих технологій із застосуванням інтелектуальних алгоритмів керування [1]. У порівнянні з традиційним регресійним аналізом, де керування здійснюється лише за однією цільовою функцією, перевагою нечіткої логіки є можливість паралельної обробки великої кількості правил, при цьому може бути декілька цільових функцій. На сьогодні використання теорії нечіткої логіки у сільському господарстві стосується створення експертних систем різного напрямку, зокрема, вибору та розробленню біотехнологічних процесів і обладнання, підготовки ґрунту, відбору насіння, боротьби з бур'янами. При цьому використання інтелектуальних інформаційних

технологій у виробництві ентомофагів створює умови для: прийняття коректних рішень щодо забезпечення відповідної якості ентомокультур; автоматизації слабо-структурованих завдань; формування стратегій керування виробництвом на основі інформації про біологічні показники якості ентомокультур.

Мета дослідження – розробити метод, а на його основі алгоритм оптимального керування виробництвом ентомофагів за рахунок використання інтелектуальних алгоритмів обробки інформації.

Матеріали і методи дослідження. Об'єкт керування – процеси вирощування млинової вогнівки, комахи-хазяїна ентомофага бракон, який є ключовою складовою в комплексній боротьбі зі шкідниками лускокрилими [2]. У роботі були використано результати експериментальних досліджень, проведених в Інженерно-технологічному інституті «Біотехніка» НААН України [3]. Методи дослідження – системний аналіз, ієрархічне дерево логічного висновку, нечітка логіка.

Результати досліджень та їх обговорення. Розроблено метод, а на його основі алгоритм оптимального керування вирощуванням ентомофагів із використанням ієрархічного дерева логічного висновку [4, 5] і теорії нечіткої логіки. Критерієм оптимізації керування вирощуванням ентомофагів було визначено максимізацію комплексного показника якості ентомокультур:

$$Q \rightarrow \max, \quad (1)$$

котрий через неоднорідність біологічних показників розраховується за виразом [6]:

$$Q = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \frac{P_j}{P_j^{\delta}}}, \quad (2)$$

де P_j - абсолютне значення j -го біологічного показника якості ентомокультур;
 P_j^{δ} - його базове значення; n – кількість показників.

На рис. 1 наведено класифікацію факторів, що впливають на комплексний показник якості млинової вогнівки (*Ephestia kuehniella*), комахи-хазяїна

ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*), у вигляді ієрархічного дерева логічного висновку [4, 5]. Елементами дерева є [3, 5]:

- корінь дерева – комплексний показник якості млинової вогнівки (Q);
- термінальні вершини – фактори впливу на біологічні показники якості (Y_1, Y_2, Y_3) млинової вогнівки: X_1 – кількість яєць млинової вогнівки, внесених в поживне середовище, мг яєць/кювету; X_2 – висота шару поживного середовища, мм; X_3 – температура повітря боксу для лабораторного вирощування млинової вогнівки, °С;
- нетермінальні вершини $f_Q, f_{Y_1}, f_{Y_2}, f_{Y_3}$ - згортки біологічних показників якості та факторів впливу на біологічні показники якості;
- дуги графа, що виходять з нетермінальних вершин: показники якості Y_1 (кількість гусениць, шт./кювету), Y_2 (маса гусениць, мг), Y_3 (маса гусениць старшого віку, мг).

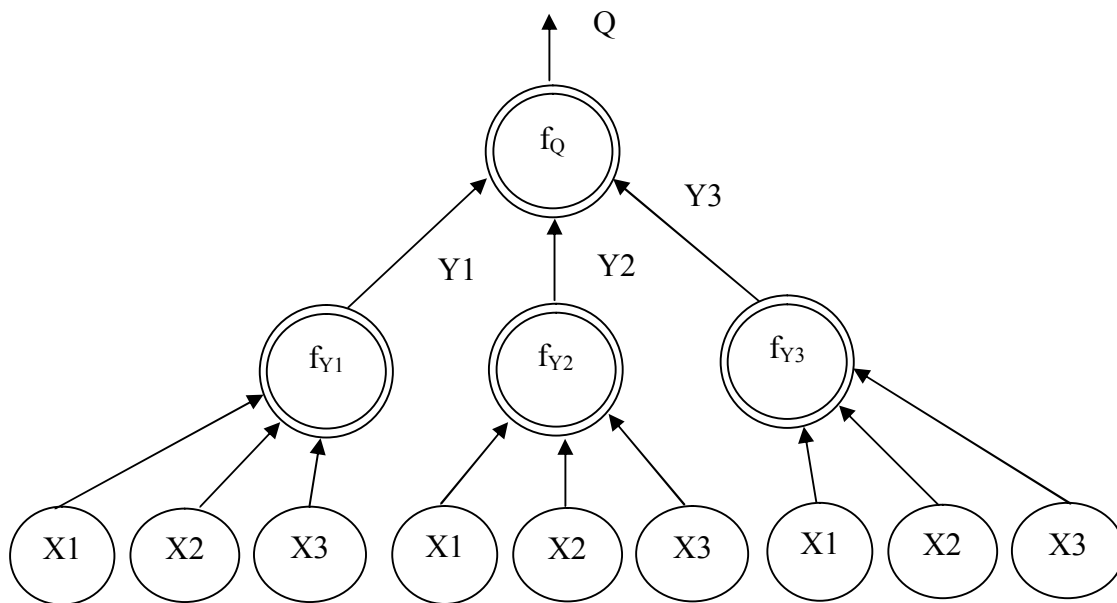


Рис. 1. Класифікація факторів, що впливають на комплексний показник якості млинової вогнівки, комахи-хазяїна ентомофага бракон, у вигляді ієрархічного дерева логічного висновку [3, 5]

Алгоритм керування вирощуванням ентомофагів складається з:

- контролю біологічних показників якості (Y_1, Y_2, Y_3) ентомокультур за дією сукупності параметрів техноценозу (X_1, X_2, X_3);
- обчислення комплексних показників якості ентомокультур;
- пошуку параметрів техноценозу, що забезпечують максимізацію комплексного показника якості ентомокультур.

Згортки факторів впливу на біологічні показники якості $f_{Y_1}, f_{Y_2}, f_{Y_3}$ уявляють собою рівняння множинної регресії [3]. Для визначення згортки f_Q створено експертну систему оцінювання комплексного показника якості млинової вогнівки із використанням пакету розширення Fuzzy Logic Toolbox for MATLAB і системи нечіткого висновку Мамдані.

На рис. 2 і рис. 3 наведено редактор Fuzzy Inference System експертної системи і редактор функцій приналежності для термів змінної Q.

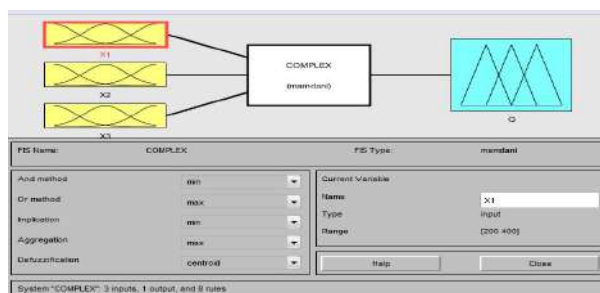


Рис. 2. Вигляд редактора Fuzzy Inference System експертної системи

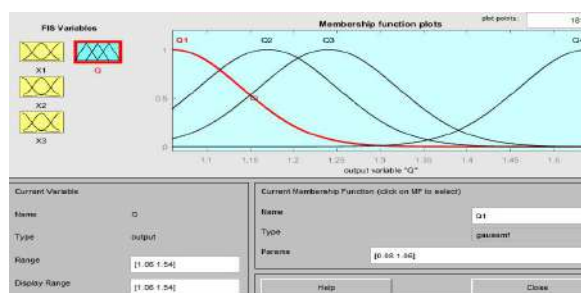


Рис. 3. Вигляд редактора функцій приналежності для термів змінної Q

Для агрегування нечітких правил використовувався метод логічної кон'юнкції (оператор min) [7]:

$$T(X_1 \wedge X_2 \wedge X_3) = \min\{T(X_1), T(X_2), T(X_3)\}. \quad (3)$$

Агрегування імплікацій щодо правил проводились із використанням логічної диз'юнкції (оператор max) [7]:

$$T(X_1 \vee X_2 \vee X_3) = \max\{T(X_1), T(X_2), T(X_3)\}. \quad (4)$$

Для висновку використовувався метод мінімального значення. Методом агрегування є метод максимального значення, методом дефазифікації вихідних змінних – центр ваги для дискретної множини значень функцій належності [7]:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)}, \quad (5)$$

де n – кількість одноточкових нечітких множин, кожна з котрих характеризує єдине значення вихідної лінгвістичної змінної, що розглядається.

У табл. 1 наведено дані для створення бази знань експертної системи.

1. Дані для створення бази знань експертної системи

Змінні	Діапазон змінювання	Терм-множини	Лінгвістична оцінка	Тип і параметри функцій приналежності
X1, мг яець/кювету	200-400	AX1	Нормальна кількість яець	Gaussmf [33,97; 200]
		CX1	Висока кількість яець	Gaussmf [33,97; 400]
X2, мм	15-25	AX2	Нижня межа висоти шару поживного середовища	Gaussmf [1.699 15]
		CX2	Верхня межа висоти шару поживного середовища	Gaussmf [1.699 25]
X3, °C	26,8-28	AX3	Нижня межа температури	Gaussmf [0,2038; 26,8]
		CX3	Верхня межа температури	Gaussmf [0,2038; 28]
Q	1,06 – 1,54	Q1	Низьке значення показника	Gaussmf [0,08; 1,06]
		Q2	Середнє значення показника	Gaussmf [0,08; 1,17]
		Q3	Вище за середнє значення показника	Gaussmf [0,08; 1,24]
		Q4	Високе значення показника	Gaussmf [0,08; 1,54]

Фазифікація термів здійснювалась із використанням гаусової функції приналежності $y = gaussmf([x, [c, b]])$, що задається виразом [5]:

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}, \quad (6)$$

де b – координата максимуму функції приналежності;
 c – коефіцієнт концентрації функції приналежності [5].

На рис. 4 наведено редактор продукційних правил (1-8) бази знань експертної системи:

1: якщо $X1$ є «Нормальна кількість яєць» і $X2$ є «Нижня межа висоти шару поживного середовища» і $X3$ є «Нижня межа температури», то Q є «Високе значення показника».

2: якщо $X1$ є «Висока кількість яєць» і $X2$ є «Нижня межа висоти шару поживного середовища» і $X3$ є «Нижня межа температури», то Q є «Середнє значення показника».

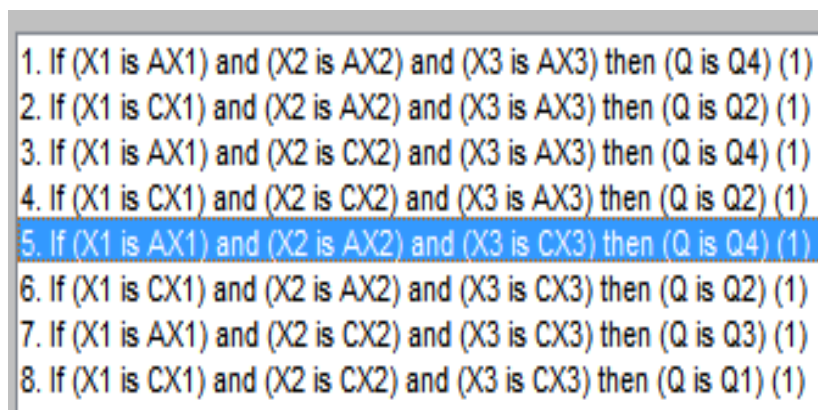


Рис. 4. Вигляд редактора продукційних правил (1-8) бази знань експертної системи

3: якщо $X1$ є «Нормальна кількість яєць» і $X2$ є «Верхня межа висоти шару поживного середовища» і $X3$ є «Нижня межа температури», то Q є «Високе значення показника».

4: якщо $X1$ є «Висока кількість яєць» і $X2$ є «Верхня межа висоти шару поживного середовища» і $X3$ є «Нижня межа температури», то Q є «Середнє значення показника».

5: якщо X_1 є «Нормальна кількість яєць» і X_2 є «Нижня межа висоти шару поживного середовища» і X_3 є «Верхня межа температури», то Q є «Високе значення показника».

6: якщо X_1 є «Висока кількість яєць» і X_2 є «Нижня межа висоти шару поживного середовища» і X_3 є «Верхня межа температури», то Q є «Середнє значення показника».

7: якщо X_1 є «Нормальна кількість яєць» і X_2 є «Верхня межа висоти шару поживного середовища» і X_3 є «Верхня межа температури», то Q є «Вище за середнє значення показника».

8: якщо X_1 є «Висока кількість яєць» і X_2 є «Верхня межа висоти шару поживного середовища» і X_3 є «Верхня межа температури», то Q є «Низьке значення показника».

Дані нечіткого логічного висновку наведено у табл. 2.

2. Дані нечіткого логічного висновку

X_1	X_2	X_3	Q	Дані експерименту
200	15	26,8	1,48	1,54
400	15	26,8	1,18	1,17
200	25	26,8	1,48	1,52
400	25	26,8	1,18	1,14
200	15	28	1,48	1,51
400	15	28	1,18	1,13
200	25	28	1,24	1,24
400	25	28	1,12	1,06

На рис. 5 наведено поверхню нечіткого висновку експертної системи. На основі нечіткого логічного висновку з середньою похибкою апроксимації у 3 % можна стверджувати, що свого максимального значення комплексний показник якості млинової вогнівки $Q = 1,48$ досягає за умов, коли параметри техноценозу становлять: температура повітря в боксі - 26,8 °С і 28 °С; кількість яєць, внесених в поживне середовище, - 200 мг яєць/кювету; висота шару поживного

середовища - 15мм, а також при температурі повітря 26,8 °С; кількості яєць – 200 мг яєць/кювету; висоті шару поживного середовища – 25 мм.

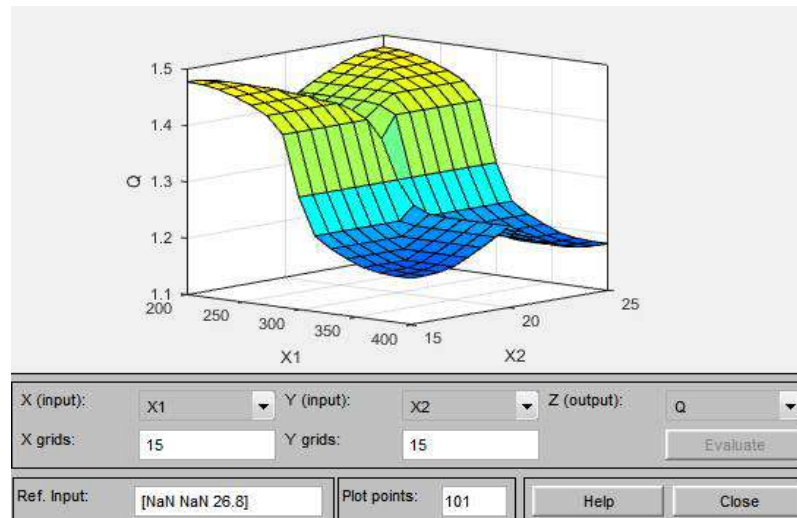


Рис. 5. Поверхня нечіткого висновку експертної системи

Відомо, що узагальненим критерієм економічної ефективності є мінімум витрат живої і матеріалізованої праці [8]. Так, на ручну обробку інформації щодо якості ентомокультур необхідно витратити 30 чол./год (T_0), а при використанні інформаційних технологій – 6 чол./год (T_1) [8]. Абсолютний показник економічної ефективності становить [8]:

$$T_{ек} = T_0 - T_1 = 30 - 6 = 24 \text{ чол./год} \quad (7)$$

Тобто для обробки інформації щодо якості ентомокультур при автоматизації потрібно у порівнянні з ручною обробкою лише 20 % часу [8].

Висновки і перспективи досліджень. На основі використання ієрархічного дерева логічного висновку і Fuzzy Logic Toolbox for MATLAB розроблено метод, а на його основі алгоритм оптимального керування виробництвом ентомофагів, що дозволяє реалізовувати в умовах невизначеності процес керування якістю виробництва ентомофагів за сукупною дією абіотичних

і технологічних факторів, підвищити інформативність та економічну ефективність виробництва.

Список літератури

1. Дудник, А.О. Принципи побудови систем керування електротехнічними комплексами аграрних виробництв [Текст] / А.О. Дудник, В.П. Лисенко // Енергетика і автоматика. - № 2. - 2015. - С.55-61.
2. Borzoui Ehsan. Adaptation of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) to Rearing on *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) and *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) / Ehsan Borzoui, Bahram Naseri, Mozghan Mohammadzadeh-Bidarani // Journal of Insect Science. — 2016. — V. 16. — Iss. 1. — P. 1 – 7.
3. Чернова И.С. Экспериментальная модель качества мельничной огневки при разведении энтомофага бракон [Текст] : 2016 Информ. бюлетень СПРС МОББ 49 / И.С.Чернова // Матеріали Міжнародної науково - практичної конференції, Одеса, 2016. – С. 264-269.
4. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети [Текст] / А.П. Ротштейн // Винница: Универсум - Винница, 1999. — 320 с.
5. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php>
6. Азгальдов, Г.Г. О квалиметрии [Текст] / Г.Г. Азгальдов, Э.П. Райхман // М., Изд-во стандартов, 1973. – 172 с.
7. Тарасян, В.С. Пакет Fuzzy Logic Toolbox for Matlab: уч. пособ. [Текст] / В. С. Тарасян // Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2013. - 112 с.
8. Соколов, В.Ю. Інформаційні системи і технології: навч. посіб. [Текст] / В.Ю. Соколов // К. : ДУІКТ, 2010. — 138 с.

References

1. Dudnyk, A.A. (2015). Prynцыпу pobudovy system keruvannja elektrotehnychnyh kompleksamy agrarnyh vyrobnyctv [Principles of construction of control systems for electrical engineering complexes of agrarian productions]. Power engineering and automation, 2, 55-61.
2. Borzoui Ehsan, Naseri Bahram, Mohammadzadeh-Bidarani Mozghan (2016). Adaptation of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) to Rearing on *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) and *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), Journal of Insect Science, 16, 1, 1-7.
3. Chernova, I. S. (2016). Experimental model of the quality of *Ephestia kuehniella* at the development entomophagous *Habrobracon hebetor*: Information bulletin IOBS EPRS 49 Materials of International scientific-practical conference, Odesa, 264-269.

4. Rotshtejn, A. P. (1999). Intellektual'nye tehnologii identifikacii: nechetkaja logika, geneticheskie algoritmy, nejronnye seti [Intellectual identification technologies: fuzzy logic, genetic algorithms, neural networks]. Vinnytsia: Universum Vinnitsa, 320.

5. Shtovba S. D. Vvedenie v teoriju nechetkih mnozhestv i nechetkiju logiku [Introduction to the theory of fuzzy sets and fuzzy logic]. Available at: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php>

6. Azgal'dov, G. G., Rajhman, Je. P. (1973). O kvalimetrii [About qualimetry]. Moskow: Publishing Standards, 172.

7. Tarasjan, V.S. (2013). Paket Fuzzy Logic Toolbox for Matlab: uch. posob. Ekaterinburg: Ural State University of Railway Transport, 112.

8. Sokolov, V.Ju. (2010). Informacijni sistemi i tehnologii: navch. posib. Kyiv: State University of Informational and Communal Technologies, 138.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЫРАЩИВАНИЕМ ЭНТОМОФАГОВ

В. Ф. Лысенко, И. С. Чернова

Аннотация. *Рассмотрены вопросы информационного обеспечения оптимального управления производством энтомофагов.*

Целью исследования является разработка метода, а на его основе алгоритма оптимального управления производством энтомофагов за счет использования интеллектуальных алгоритмов обработки информации. Методы исследований - системный анализ, иерархическое дерево логического вывода, нечеткая логика.

Выращивание энтомофагов рассмотрено с позиции сложной динамической биотехнической системы, которая имеет определенное количество взаимосвязанных процессов - основных, вспомогательных и - обслуживания. С точки зрения теории управления процессы производства энтомофагов представляют собой объекты, основными особенностями которых является иерархичность, организованность, ограниченность, множество описания, стохастичность.

*По результатам экспериментальных исследований, проведенных в Инженерно-технологическом институте «Биотехника», классифицированы факторы, влияющие на комплексный показатель качества мельничной огневки (*Ephestia kuehniella*), насекомого-хозяина энтомофага бракон (*Habrobracon hebetor*), в виде иерархического дерева логического вывода, создана база знаний и получены поверхности нечеткого вывода, которые позволяют на основе информации о зависимости комплексного показателя качества энтомокультур от параметров техноценоза формировать оптимальные стратегии управления производством энтомофагов в условиях ограниченности входной информации, снизить расходы энергии для принятия решений по обеспечению качества энтомокультур, формализовать слабо структурированные процессы*

выращивания энтомокультур, повысить экономическую эффективность производства.

Ключевые слова: оптимальное управление, выращивание энтомофагов, методика, иерархическое дерево

INFORMATION SUPPORT OF THE OPTIMAL MANAGEMENT CULTIVATION ENTOMOPHAGES

V. Lysenko, I. Chernova

Abstract. *The work is devoted to the issues of information support for optimal control of the production of entomophages.*

The purpose of the study was to develop a method, and on its basis an algorithm for the optimal control of the production of entomophages through the use of intelligent algorithms for processing information. Research methods - system analysis, hierarchical tree of inference, fuzzy logic.

The cultivation of entomophages is considered from the standpoint of a complex dynamic biotechnical system that has a certain number of interconnected processes - basic, auxiliary and maintenance processes. From the point of view of the theory of control, the processes of production of entomophages represent objects whose basic features are hierarchy, organization, limitation, description sets, stochasticity.

*Based on the results of experimental studies conducted at the Biotechnica Institute of Technology, the factors influencing the complex quality index of *Ephestia kuehniella*, the insect host of the entomophage *Habrobracon hebetor*, are classified as a hierarchical tree of logical inference, in the form of a hierarchical tree of logical inference, a knowledge base was created and fuzzy inference surfaces were obtained, which allow, on the basis of information on the dependence of the complex quality indicator of entomocultures on technocenosis parameters, to formulate optimal strategies for managing the production of entomophages in conditions of limited input information, reduce energy costs for making decisions to ensure the quality of entomocultures, formalize the poorly structured processes of cultivation entomocultures, increase the economic efficiency of production.*

Key words: *optimal control, cultivation of entomophages, method, hierarchical tree*