

ДО ПИТАННЯ 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. Сучасний етап розвитку біотехнологій, зокрема, виробництво ентомофагів гарантованої якості для біологічного захисту рослин потребує використання комп'ютерно-інтегрованих технологій. Створені на цій основі системи керування повинні забезпечити високу якість виробленої продукції та мінімізацію спожитої енергії, що є передумовою для підвищення економічної ефективності такого виробництва в цілому. При цьому важливою особливістю виробництва є невизначеність у станах біологічної складової об'єкта керування, що проявляється у його різній поведінці за дією сукупності факторів впливу. Вирішення цього питання можливо шляхом створення гібридної мережі на основі використанні нейронних мереж і нечіткої логіки.

Метою досліджень було розроблення гібридної мережі, що може бути використана для формування керуючих впливів при виробництві ентомофагів за критерієм якості на прикладі виробництва ентомофага бракон (*Nabrobrason hebetor*) із використанням ANFIS - редактора MATLAB. Методи досліджень – аналітичний, експертний, нейро-нечіткого висновку.

За результатами експериментальних досліджень, проведених фахівцями Інженерно-технологічного інституту «Біотехніка», створено базу знань та отримано поверхню нечіткого висновку, що дозволяє на основі інформації про залежність біологічних показників якості ентомокультур від параметрів техноценозу формувати стратегії керування виробництвом ентомофагів, забезпечити зменшення витрат енергії для прийняття рішень стосовно забезпечення якості ентомокультур із врахуванням впливу сукупності факторів та є підставою для створення інтелектуальних систем керування виробництвом ентомологічної продукції гарантованої якості.

Ключові слова: *виробництво ентомофагів, гібридна мережа, нейрон, нечітка логіка, якість, керування*

Актуальність. Сучасний етап розвитку біотехнологій, зокрема, виробництво ентомофагів гарантованої якості для біологічного захисту рослин потребує використання комп'ютерно-інтегрованих технологій. Створені на цій основі системи керування повинні забезпечити високу якість виробленої

продукції та мінімізацію спожитої енергії, що є передумовою для підвищення економічної ефективності такого виробництва в цілому. При цьому важливою особливістю виробництва є невизначеність у станах біологічної складової об'єкта керування, що проявляється у його різній поведінці за дією сукупності факторів впливу. Вирішення цього питання можливо шляхом створення гібридної мережі на основі використанні нейронних мереж і нечіткої логіки.

Особливістю сучасних автоматизованих систем керування технологічними процесами і виробництвами є використання значних обсягів інформації як у режимі реального часу для прийняття рішень та контролю за роботою системи, так і для аналізу і статистичної обробки даних та вироблення нових стратегій керування об'єктами [1].

Апарат, який закладений в основу побудови нейрон-нечітких мереж, має такі основні переваги, а саме можливість [2, 3] гнучкої інтерпретації причинно - наслідкових зв'язків, які згенеровані на основі нейрон - нечіткої структури; навчання розроблюваної структури.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Якість виробництва ентомофагів залежить від багатьох факторів, серед яких слід відзначити технологічне (якість корму, умови розведення комах, якість стартової популяції та ін.) й інформаційне забезпечення (моделювання процесів, методологія керування якістю продукції), виробничу базу і оцінюється, у тому числі, й за біологічними показниками якості ентомокультур [4].

Нині відомі дослідження щодо використання гібридних мереж у технологічних комплексах харчової галузі [2], біотехнологічних процесах мікробіологічних виробництв [5].

Мета дослідження - розроблення гібридної мережі для формування керуючих впливів при виробництві ентомофагів за критерієм якості на прикладі виробництва ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*) із використанням ANFIS - редактора MATLAB.

Матеріали і методи дослідження. Об'єкт дослідження - технологічний процес виробництва ентомофага бракон. Для створення гібридної мережі були

використані результати експериментальних досліджень, проведених науковцями Інженерно-технологічного інституту «Біотехніка» при виконанні науково-дослідної роботи № 35.00.01.05П «Розробити технологічне забезпечення культивування маточної культури бракона». Методи досліджень – аналітичний, експертний, нейро-нечіткого висновку.

Результати дослідження та їх обговорення. Проведено апроксимацію залежності якості виробництва ентомофага бракон за кількістю заражених паразитом гусениць комахи-хазяїна - млинової вогнівки (*Ephestia kuehniella*) - від параметрів техноценозу (температури та відносної вологості повітря в зоні розведення ентомокультур) із використанням гібридної мережі (рис. 1) на основі нейро-нечіткого висновку ANFIS (Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System).

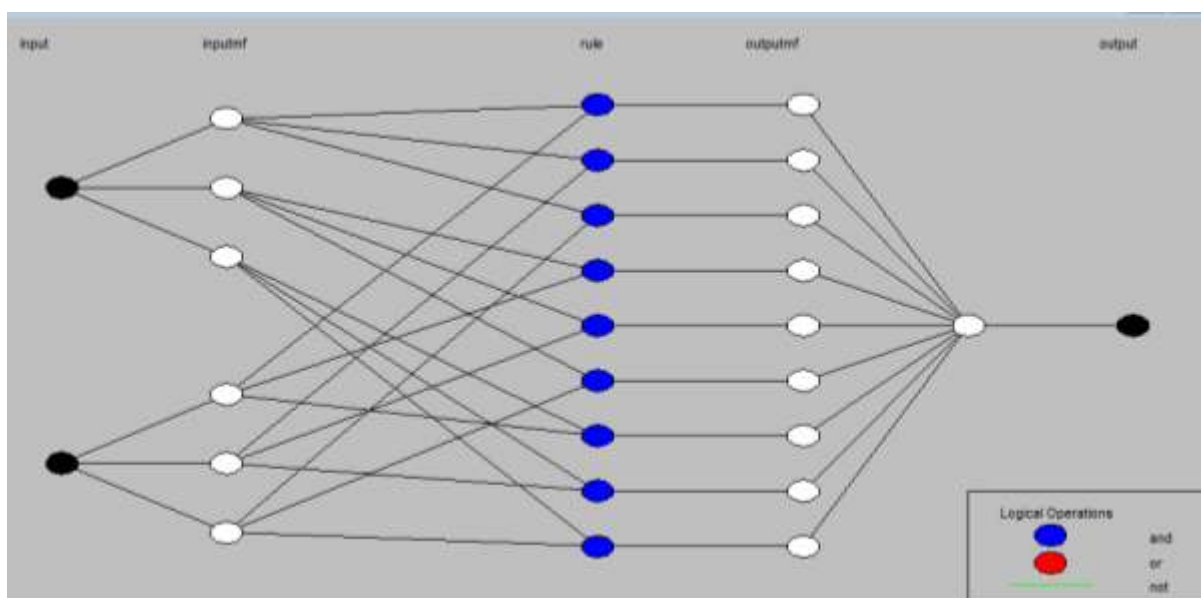
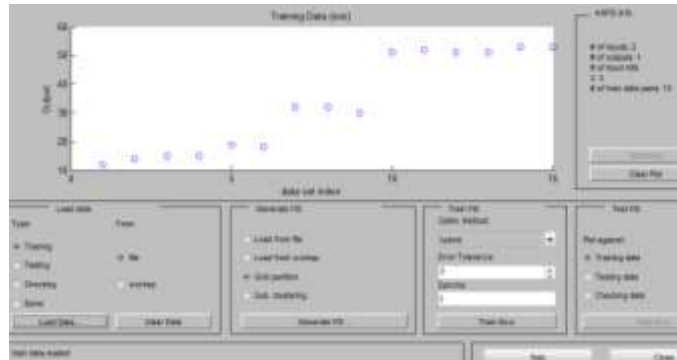


Рис. 1. Згенерована гібридна мережа

Гібридна мережа (рис. 1) має вигляд п'ятишарової нейронної мережі прямого поширення сигналу: перший шар – терми вхідних змінних, другий шар – антецеденти (посилки) нечітких правил, третій шар – нормалізація ступенів виконання правил, четвертий шар – заключення правил, п'ятий шар – агрегування результату, отриманого за різними правилами [6].

На основі використання результатів експериментальних досліджень ANFIS-редактор дозволяє автоматично синтезувати нейро-нечіткі мережі [6]. При цьому функції приналежності синтезованих систем налаштовані так, щоб мінімізувати відхилення між результатами нечіткого моделювання та експериментальними даними [6].

17	60	12
17	70	14
17	80	15
20	60	15
20	70	19
20	80	18
23	60	32
23	70	32
23	80	30
26	60	51
26	70	52
26	80	51
29	60	51
29	70	53
29	80	53

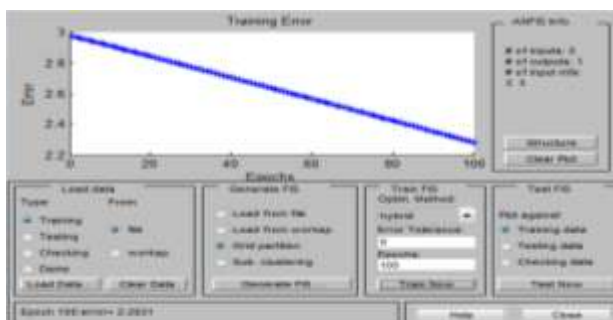


а)

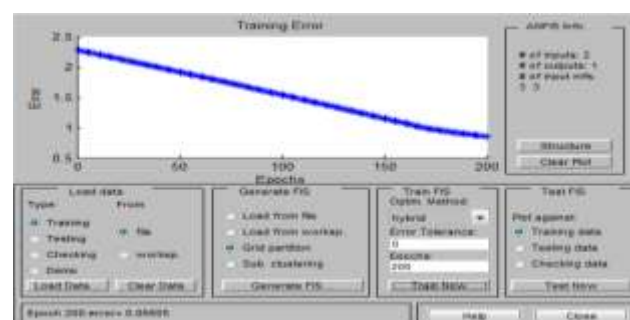
б)

Рис. 2. Навчальна вибірка (а) та ANFIS - редактор MATLAB (б) після її завантаження

На рис. 2, а, б наведено навчальну вибірку (експериментальні дані) та результати використання ANFIS - редактора MATLAB після її завантаження. На рис. 3, а, б - результати навчання вибірки для 100 та 200 епох: помилка при навчанні для 100 епох складає 2,2831; для 200 епох – 0,85605. На рис. 4, а, б - кількість термів і тип функцій приналежності вхідних змінних; результати тестування навчальної вибірки (середня помилка тестування складає 0,85161).

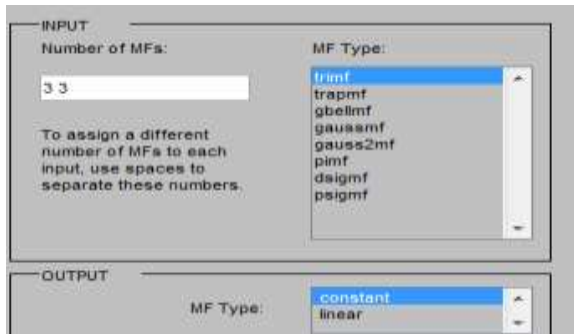


а)

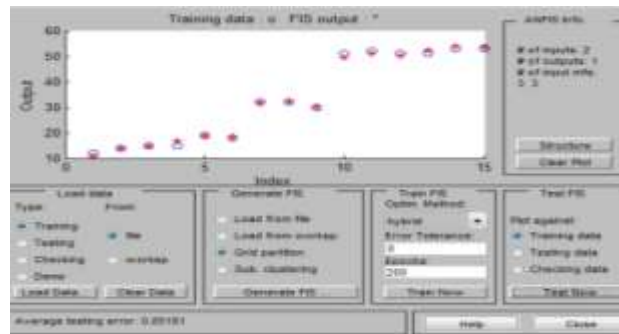


б)

Рис. 3. Результати навчання вибірки для 100 (а) та для 200 епох (б)



а)



б)

Рис. 4. Кількість термів і тип функцій приналежності вхідних змінних (а) та результати тестування навчальної вибірки (б)

На рис. 5, рис. 6, рис. 7, рис. 8 показано вигляд редактора Fuzzy Inference System гібридної мережі; програми перегляду правил (Rule Viewer); редактора функцій належності для термів змінної Input1 та редактора правил (Rule Editor) гібридної мережі.



Рис. 5. Вигляд редактора Fuzzy Inference System гібридної мережі

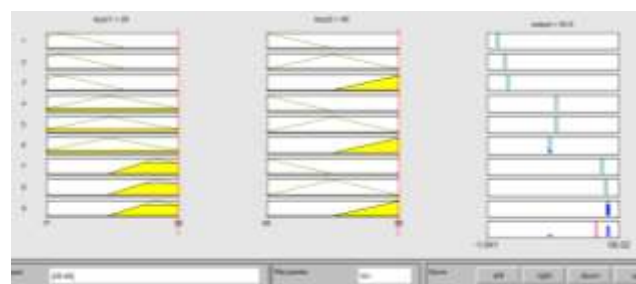


Рис. 6. Вигляд програми перегляду правил (Rule Viewer) гібридної мережі

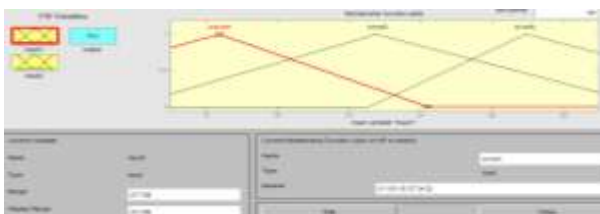


Рис. 7. Редактор функцій належності для термів змінної Input1

1. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) then (output is out1mf1) (1)
2. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf2) then (output is out1mf2) (1)
3. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf3) then (output is out1mf3) (1)
4. If (input1 is in1mf2) and (input2 is in2mf1) then (output is out1mf4) (1)
5. If (input1 is in1mf2) and (input2 is in2mf2) then (output is out1mf5) (1)
6. If (input1 is in1mf2) and (input2 is in2mf3) then (output is out1mf6) (1)
7. If (input1 is in1mf3) and (input2 is in2mf1) then (output is out1mf7) (1)
8. If (input1 is in1mf3) and (input2 is in2mf2) then (output is out1mf8) (1)
9. If (input1 is in1mf3) and (input2 is in2mf3) then (output is out1mf9) (1)

Рис. 8. Вигляд редактора правил (Rule Editor) гібридної мережі

У таблиці наведено дані нечіткого логічного висновку.

Дані нечіткого логічного висновку

№	Input 1	Input 2	Output	Дані експерименту
1	17	60	9,91	12
2	17	70	13	14
3	17	80	13,8	15
4	20	60	18,3	15
5	20	70	20,4	19
6	20	80	19,8	18
7	23	60	31,6	32
8	23	70	32,4	32
9	23	80	30,2	30
10	26	60	48	51
11	26	70	49,3	52
12	26	80	48,4	51
13	29	60	53,2	51
14	29	70	54,9	53
15	29	80	54,9	53

Середня помилка апроксимації між результатами експерименту та використання гібридної мережі розраховується за виразом (1) [7] і становить 7,3 %:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{K^e - K^z}{K^e} \right| \cdot 100\% , \quad (1)$$

де n - кількість вимірювань; K^e - експериментальне значення кількості заражених паразитом гусениць млинової вогнівки, %; K^z - значення кількості заражених гусениць за нечітким висновком.

Середня помилка апроксимації не перевищує 8-10 % [7].

На рис. 9 наведено поверхню нечіткого висновку.

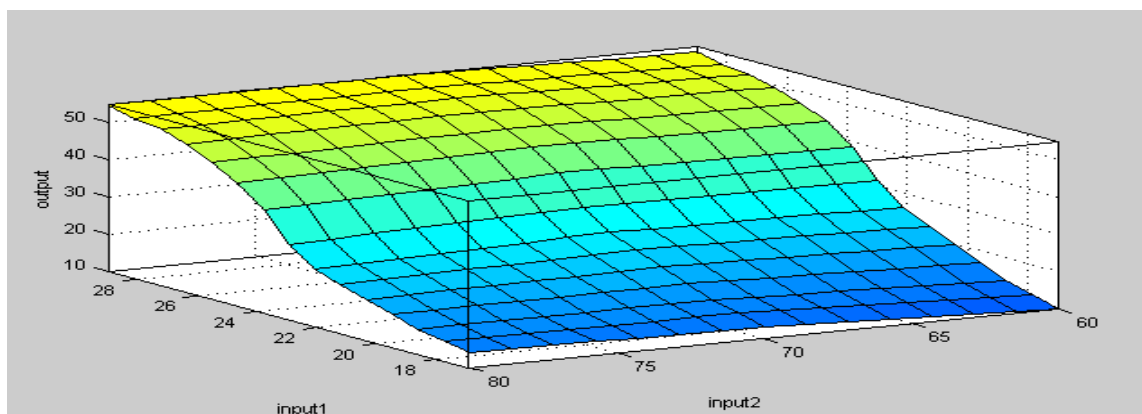


Рис. 9. Поверхня нечіткого висновку гібридної мережі

Аналіз поверхні нечіткого висновку дозволяє стверджувати про оптимізацію параметрів мікроклімату в діапазоні температури повітря 26-29 °С і відносної вологості повітря 60-80 % (кількість заражених гусениць відповідає нормативним вимогам - ≥ 40 % [8]).

Висновки і перспективи подальших досліджень. Із використанням ANFIS - редактора MATLAB розроблено здатну до самонавчання гібридну мережу, яка за результатами експериментальних досліджень залежності якості виробництва ентомофага бракон за кількістю заражених паразитом гусениць комахи-хазяїна - млинової вогнівки - від параметрів техноценозу (температури та відносної вологості повітря в зоні розведення ентомокультур) автоматично створила базу знань та поверхню нечіткого логічного висновку, що дозволяє наочно простежити залежність біологічного показника якості від параметрів техноценозу; при цьому середня помилка апроксимації знаходиться в допустимих межах. Запропонований підхід є ефективним інструментом для створення інтелектуальних технологій керування якістю ентомологічної продукції.

Список використаних джерел

1. Лисенко В. П. Методи і засоби сучасного автоматизованого управління: навчальний посібник [Текст] / В. П. Лисенко, Б. Л. Головінський, Б. Л. Голуб, А. А. Руденський // К.: Видавничий центр НАУ, 2007. – 62 с.
2. Стеценко Д. О. Інтелектуальна обробка даних в системі автоматизованого управління технологічним комплексом брагоректифікації [Текст] / Д.О. Стеценко, О.М. Зігунов Я.В. Смітюх // Technology audit and production reserves. — № 2/1(16). —2014. — С. 49–52.
3. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети [Текст] / А. П. Ротштейн // Винница: Универсум - Винница, 1999. — 320 с.
4. Крутякова В. І. Основні підходи до забезпечення якості ентомологічної продукції [Текст] / В. І. Крутякова, І. С. Чернова, О. Д. Молчанова, І. В. Должикова // Техніка і технології АПК.— 2015. — № 11 (74). — С. 30–31.
5. Лубенцова Е. В. Исследование алгоритмов обучения нейро-нечеткой системы управления биотехнологическим процессом [Текст] / Е. В. Лубенцова // Научный журнал КубГАУ. — №128(04), 2017. — С. 1–11.

6. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php>

7. Шалабанов А.К. Эконометрика. Учебно-методическое пособие [Текст] / А.К. Шалабанов, Д.А. Роганов // Казань: Академия управления «ТИСБИ». — 2008. — 203 с.

8. Масове розведення ентомофага бракона. Тимчасовий технологічний регламент ТТР00495929-021:2013 / ІТІ «Біотехніка» НААН України. — Одеса. — 2013. — 51 с.

References

1. Lysenko, V. P., Golovins'kyj, B. L., Golub, B. L., Rudens'kyj A. A. (2007). Metody i zasoby suchasnogo avtomatyzovanogo upravlinnja: navchal'nyj posibnyk [Methods and means of modern automated control: a manual]. Kyiv, Ukraine: Publishing Center of the National Agrarian University, 62.

2. Stecenko, D. O., Zigunov O. M., Smitjuh, Ja. V. (2014). Intelektual'na obrobka danyh v systemi avtomatyzovanogo upravlinnja tehnologichnym kompleksom bragorektyfikacii' [Intelligent processing of data in the system of automated control of the technological complex of bragorectification]. Technology audit and production reserves, 2/1(16), 49–52.

3. 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.

4. Krutjakova, V. I., Chernova, I. S., Molchanova, O. D., Dolzhykova, I. V. (2015). Osnovni pidhody do zabezpechennja jakosti entomologichnoi' produkcii' [Basic approaches to ensuring the quality of entomological products]. Technique and technology Agroindustrial complex, 11 (74), 30–31.

5. Lubencova, E. V. (2017). Issledovanie algoritmov obuchenija nejro-nechetkoj sistemy upravlenija biotehnologicheskim processom [Investigation of algorithms for learning the neuro-fuzzy control system of the biotechnological process]. Scientific journal of the Kuban State Agrarian University, 128(04), 1–11.

6. 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>

7. Shalabanov, A. K., Roganov, D. A. (2008). Jekonometrika. Uchebno-metodicheskoe posobie [Econometrics. Teaching aid]. Kazan: Academy of Management "TISBI", 203.

8. Masove rozvedennja entomofaga brakona. Tymchasovyj tehnologichnyj reglament ТТР00495929-021:2013 (2013). [Bulk breeding entomophage *Habrobracon hebetor*. Temporary technological regulations]. Engineering and Technology Institute "Biotechnica" NAAS of Ukraine, 51.

К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ЭНТОМОФАГОВ

В. Ф. Лысенко, И. С. Чернова

Аннотация. Современный этап развития биотехнологий, в частности, производство энтомофагов гарантированного качества для биологической защиты растений требует использования компьютерно-интегрированных технологий. Созданные на этой основе системы управления должны обеспечить высокое качество произведенной продукции и минимизацию потребленной энергии, что является предпосылкой для повышения экономической эффективности такого производства в целом. При этом важной особенностью производства является неопределенность в состояниях биологической составляющей объекта управления, что проявляется в его различном поведении под действием совокупности факторов влияния. Решение этого вопроса возможно путем создания гибридной сети на основе использования нейронных сетей и нечеткой логики.

Целью исследований была разработка гибридной сети, которая может быть использована для формирования управляющих воздействий при производстве энтомофагов по критерию качества на примере производства энтомофага бракон (*Nabrobracon hebetor*) с использованием ANFIS - редактора MATLAB. Методы исследований – аналитический, экспертный, нейро-нечеткого вывода.

По результатам экспериментальных исследований, проведенных специалистами Инженерно-технологического института «Биотехника», создана база знаний и получена поверхность нечеткого вывода, что позволяет на основе информации о зависимости биологических показателей качества энтомокультур от параметров техноценоза формировать стратегии управления производством энтомофагов, обеспечить уменьшение затрат энергии для принятия решений по обеспечению качества энтомокультур с учетом воздействия совокупности факторов и является основанием для создания интеллектуальных систем управления производством энтомологической продукции гарантированного качества.

Ключевые слова: производство энтомофагов, гибридная сеть, нейрон, нечеткая логика, качество, управление

TO QUESTION OF MANAGEMENT OF ENTOMOPHAGES

V. Lysenko, I. Chernova

Abstract. The current stage of development of biotechnologies, in particular, the production of guaranteed quality entomophages for biological plant protection requires the use of computer-integrated technologies. The management systems created on this basis should ensure high quality of produced products and minimization of consumed energy, which is a prerequisite for increasing the economic efficiency of such production in general. At the same time, an important

feature of production is the uncertainty in the states of the biological component of the control object, which manifests itself in different behavior under the influence of a combination of influence factors. Solving this issue is possible by creating a hybrid network based on the use of neural networks and fuzzy logic.

*The aim of the research was the development of a hybrid network that can be used to form control influences in the production of entomophages on the quality criterion on an example of the production of entomophage *Habrobracon hebetor* using ANFIS - the editor of MATLAB. Methods of research - analytical, expert, neuro-fuzzy inference.*

According to the results of experimental research carried out by specialists of the Engineering Technology Institute "Biotechnics", a knowledge base was created and a fuzzy conclusion surface was obtained, which allows, based on information on the dependence of biological indicators of the quality of entomocultures on technocenose parameters, to form strategies for managing the production of entomophages, to provide reduction of energy consumption for making decisions on ensuring the quality of entomocultures taking into account the combined effects of factors and is the basis for the creation of intellectual production control systems Entomological products of assured quality.

Key words: *production of entomophages, hybrid network, neuron, fuzzy logic, quality, control*