

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ЧЕРНОВА ІРИНА СТЕПАНІВНА

УДК 681.516.75: 004.8: 519.8: 632.08: 65.011

ДИСЕРТАЦІЯ

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ
ВИРОБНИЦТВОМ ЕНТОМОФАГІВ**

05.13.07 «Автоматизація процесів керування»
(технічні науки)

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата наук

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело І. С. Чернова

Науковий керівник
Лисенко Віталій Пилипович
доктор технічних наук, професор

Київ – 2020

АНОТАЦІЯ

Чернова І. С. Інтелектуальна система керування виробництвом ентомофагів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.13.07 «Автоматизація процесів керування». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2020.

Мета дисертаційної роботи – підвищення ефективності виробництва ентомологічної продукції шляхом створення нечіткої системи керування на основі використання інтелектуального аналізу даних.

Для досягнення поставленої мети необхідним було вирішення таких завдань:

- визначити основні підходи до забезпечення якості ентомологічної продукції;
- дослідити виробництво ентомофагів як об'єкт автоматизації;
- проаналізувати інформаційні потоки та методи і алгоритми їх обробки, необхідні для автоматизації виробництва ентомофагів в умовах невизначеності;
- розробити метод, а на його основі алгоритм керування для енергоефективного виробництва ентомофагів;
- розробити інтелектуальну систему керування виробництвом ентомофагів;
- оцінити ефективність впровадження інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів.

Для виконання роботи використано основні положення теорії автоматичного керування; системний аналіз; нечітку логіку; когнітивний аналіз; експертне оцінювання; ситуаційне керування; регресійний аналіз; гомеостатичний підхід; економічний аналіз; експериментальні дослідження, що проводились в умовах лабораторного виробництва.

У результаті дисертаційного дослідження вирішено важливе наукове завдання, яке полягає у розробленні інтелектуальної системи керування

виробництвом ентомофагів, враховуючи особливості біологічної складової процесу виробництва в умовах невизначеності.

Внаслідок проведення теоретичних та експериментальних досліджень отримані такі наукові та практичні результати.

Виробництво ентомофагів гарантованої якості являє собою процес, що з точки зору керування є складною динамічною системою, яка містить певну кількість підсистем, пов'язаних між собою матеріальними потоками. При цьому кожна з підсистем має вигляд об'єкта керування. За характером процесу ентомологічного виробництва є безперервно-періодичними і такими, в яких параметри змінюються не лише в часі, але й у просторі. Тобто є системою з розподіленими параметрами.

Установлено, що виробництво ентомофагів є: складним біотехнічним об'єктом та у ньому присутня велика кількість слабо-структурованих і значних за обсягами інформаційних потоків; енергонасиченим (значну кількість енерговитрат складає підтримка заданої температури повітря в зоні вирощування ентомокультур, яка суттєво впливає на їх якість).

Визначено основні підходи до забезпечення якості ентомологічної продукції – системний, експертний та стратегічного планування. Встановлено суттєві фактори забезпечення якості продукції (умови розведення комах, якість стартової популяції та якість корму) та отримано діаграму їх значущості. Визначено фактори, що призводять до отримання некондиційної продукції: основний вплив мають тривале культивування потомства вихідної популяції та кліматичні умови.

Досліджено виробництво ентомофагів як об'єкт автоматизації:

- підготовлено описову модель техноценозу, структурну та параметричну моделі боксу з комахами як об'єкта керування;
- розроблено математичну модель процесу змінювання температури повітря боксу з комахами від керуючого впливу – теплоти нагрівника – у вигляді аперіодичної ланки та ланки чистого запізнювання; автоматизовану підсистему керування виробництвом ентомофагів зі SCADA програмою та

проведено її експериментальні дослідження. Автоматизована підсистема зі SCADA програмою дозволяє в автоматичному режимі в реальному часі керувати абіотичними параметрами постадійного розвитку комах (температурою та відносною вологістю повітря боксу), контролювати температуру поживного середовища комахи-хазяїна; в автоматизованому – керувати кількістю та якістю ентомологічної продукції, витратами електроенергії на забезпечення необхідних абіотичних параметрів. При цьому було припущення, що абіотичні параметри були зосередженими.

Вперше досліджено інформаційні потоки виробництва ентомофагів, алгоритми їх обробки та зберігання в структурованому вигляді, що важливо для ефективного використання в системі автоматизації, котра функціонує в умовах невизначеності. Для цього було розроблено: модель виробництва ентомофагів у вигляді орієнтованого графа; структурно-параметричні комплекси оцінки якості ентомофагів бракон (*Habrobracon hebetor*) і трихограма (*Trichogramma*); інформаційну модель керування процесом виробництва гусениць млинової вогнівки (*Ephestia kuehniella*), комахи-хазяїна ентомофага бракон; інформаційну модель інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів; структурну модель розрахунку доходу, загальних витрат електроенергії та прибутку виробництва млинової вогнівки; експертні підсистеми нечіткого висновку типу Мамдані; гібридну мережу для формування керуючих впливів при виробництві ентомофага бракон; алгоритм оптимізації виробництва ентомофагів за критерієм якості на основі використання нечіткої логіки і функції бажаності Харрінгтона; метод оптимального керування виробництвом ентомофагів на базі ієрархічного дерева логічного висновку і теорії нечіткої логіки; алгоритм керування для енергоефективного виробництва ентомофагів; регресійні моделі якості ентомологічної продукції; інформаційно-аналітичну підсистему біологічних показників якості ентомофагів та їх аналогів; загальний алгоритм функціонування інтелектуальної системи керування виробництвом

ентомофагів; структуру дій щодо керування виробництвом ентомофагів за допомогою інтелектуальної системи.

Вперше формалізовано: слабо-структуровані завдання у виробництві ентомофагів, що дає змогу спростити наочне уявлення про структуру інформаційних потоків при визначенні стратегій керування виробництвом, візуалізувати залежності показників якості ентомологічної продукції від чисельно невимірних параметрів; визначення якості ентомологічної продукції системою нечіткого висновку, що дозволяє формувати стратегії керування якістю в умовах неповноти інформації щодо залежності показників якості від сукупності абіотичних і технологічних параметрів виробництва.

Вперше розроблено: метод керування для енергоефективного виробництва ентомофагів в умовах невизначеності, котрий поєднує оцінку: абіотичних параметрів постадійного розвитку ентомокультур; енергетичних витрат, пов'язаних із забезпеченням необхідних абіотичних параметрів в умовах збурення; доходу, що залежить від кількості та якості ентомологічної продукції, прибутку; гібридну інтелектуальну підсистему керування температурою повітря боксу для вирощування комах, котра у порівнянні з традиційною на основі позиційного алгоритму зменшує амплітуду коливань температури відносно уставки, скорочує витрати електроенергії в умовах збурень, підтримує оптимальні умови розвитку ентомокультур.

Науково обґрунтовано розробку інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів.

Основними етапами побудови системи керування є формалізація цілей виробництва; визначення структури системи, критеріїв ефективності; розробка гібридної інтелектуальної підсистеми керування температурою повітря боксу та інтелектуальної підсистеми підтримки прийняття рішень; формування стратегій керування. Головним питанням при цьому є розробка продукційних правил бази знань.

Розроблено інтелектуальну систему керування виробництвом ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*), що в автоматичному режимі формує

керуючі впливи на процеси розвитку ентомокультур, в автоматизованому – реалізує стратегії керування прибутком виробництва, мінімізуючи енерговитрати в умовах невизначеності за рахунок дії природних збурень (зміна температури навколишнього середовища).

Інструментами для розробки системи були SCADA OWEN PROCESS MANAGER, Simulink/MATLAB, ANFIS – редактор, OPC Toolbox MATLAB, OPC-сервер OWEN.RS485 і Fuzzy Logic Toolbox MATLAB.

Проведено оцінку ефективності впровадження інтелектуальної системи керування в умовах лабораторного виробництва ентомофагів за коефіцієнтом рентабельності основних засобів (ROFA), коефіцієнтом економічної ефективності капітальних вкладень і терміном повної окупності системи. Встановлено, що максимізація доходу та мінімізація загальних витрат електроенергії за умови максимізації якості продукції є найбільш ефективними стратегіями керування при збільшенні кількості боксів для розведення комах.

Структуровано фактори підвищення ефективності лабораторного виробництва ентомофагів: скорочення часу обробки інформації; спостереження в режимі реального часу за температурою поживного середовища; автоматизація складного виробничого процесу при функціонуванні гібридної підсистеми керування температурою повітря боксу з комахами; покращення якості керування температурою повітря; формування стратегій керування якістю ентомологічної продукції в умовах неповноти інформації; використання когнітивного аналізу; формування керуючих впливів із використанням здатної до самонавчання гібридної мережі; визначення в умовах неповної вхідної інформації максимального значення прибутку виробництва за умови мінімізації енерговитрат із похибкою апроксимації в межі допустимих значень.

Ключові слова: інтелектуальна система керування, виробництво ентомофагів, продукція, якість, нечітка логіка, гібридна мережа, когнітивний аналіз, ефективність, функція бажаності Харрінгтона.

ANNOTATION

Chernova I. S. Intelligent control system for the production of entomophages. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of the candidate of technical sciences on the specialty 05.13.07 «Automation of control processes». National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2020.

The purpose of the dissertation work – increasing the efficiency of production of entomological products by creating a fuzzy control system based on the use of data mining.

To achieve this goal, it was necessary to solve such problems:

- to define the basic approaches to ensuring the quality of entomological products;
- to study the production of entomophages as an object of automation;
- analyze information flows and methods and algorithms for their processing, necessary for the automation of the production of entomophages under uncertainty;
- to develop method and based on it a control algorithm for for energy efficient entomophage production;
- to develop intelligent control system for the production of entomophages;
- evaluate the effectiveness of implementing the intellectual control system for the production of entomophages.

Research is based on the methods the basic provisions of the theory of automatic control; of system analysis; fuzzy logic; cognitive analysis; expert evaluation; situational management; regression analysis; homeostatic approach; economic analysis; experimental research conducted in laboratory production.

In the dissertation work the actual scientific and instrumental task was solved which consists in developing an intellectual control system for the production of entomophages, taking into account the peculiarities of the biological component of the production process under uncertainty conditions.

As a result of theoretical and experimental research, the following scientific and practical results were obtained.

Manufacturing entomophages of guaranteed quality is a process that, in terms of control, is a complex dynamic system that contains a certain number of subsystems interconnected by material flows. In this case, each of the subsystems looks like a control object. By nature, the processes of entomological production are continuous-periodic and such in which the parameters change not only in time but also in space. That is, a system with distributed parameters.

Entomophage production is: found to be a complex biotechnical object, it has a large number of poorly structured and significant volumes of information flows; energy-intensive (a significant amount of energy consumption is maintaining a given air temperature in the entomocultures growing zone, which significantly affects their quality).

The basic approaches to quality assurance of entomological products are defined – systemic, expert and strategic planning. Significant factors of product quality assurance (insect breeding conditions, quality of starting population and quality of feed) were established and a diagram of their importance was obtained. The factors resulting in substandard products are determined: the main influence is the prolonged cultivation of offspring of the original population and climatic conditions.

The study of the production of entomophages as an object of automation:

- prepared descriptive model of technocenosis, structural and parametric model of box with insects as an object of control;
- developed the mathematical model of the process of changing temperature of boxing air with insects from control influence – heat of the heater– in the form of an aperiodic link and link of pure delay; automated control subsystem for the production of entomophages from the SCADA program and its experimental research. Automated subsystem with SCADA program allows to control in real time automatically abiotic parameters of the stage development of insects (the temperature and relative humidity of boxing air with insects), to control the temperature of the nutrient environment of the insect host; in the automated mode – quantity and quality of entomological products, electricity costs for providing the

necessary abiotic parameters. It is assumed that the abiotic parameters were concentrated.

For the first time, the information flows of entomophagy production, algorithms for their processing and storage in a structured form have been investigated, which is important for efficient use in an automation system that operates under uncertainty. For this purpose: a model for the production of entomophages in the form of an oriented graph; structural and parametric systems for assessing the quality of entomophages *Habrobracon hebetor* and *Trichogramma*; information model of control of the growing process of caterpillars *Ephestia kuehniella*, insect host entomophage *Habrobracon hebetor*; information model of an intelligent entomophage production control system; structural model of calculation of income, total electricity costs and production profit of *Ephestia kuehniella*; expert subsystems of fuzzy conclusion Mamdani type; a hybrid network for the formation of controlling influences in the production of entomophage *Habrobracon hebetor*; algorithm of optimization of production of entomophages according to the criterion of quality based on Harrington's fuzzy logic and desirability function; method for optimal management of entomophage production based on a hierarchical tree of inference and fuzzy logic theory; control algorithm for energy efficient entomophage production; regressive models of the quality of entomological products; informational and analytical subsystem of biological indicators of the quality of entomocultures and their analogues; general algorithm of functioning of intelligent entomophage production control system; structure of actions for controlling entomophage production by means of an intelligent system.

For the first time formalized: loosely structured tasks in entomophage production, allowing you to simplify the visual representation of the structure of information flows when defining production management strategies, visualize the dependence of entomological product quality indicators on numerically immeasurable parameters; determination of quality of entomological products by fuzzy inference system, allowing you to formulate quality management strategies in

the context of incomplete information on the dependence of quality indicators on the totality of abiotic and technological parameters of production.

For the first time: control method for energy efficient entomophage production under uncertainty, which combines the assessment of: abiotic parameters of the entomoculture stage development; energy costs associated with providing the necessary abiotic parameters under perturbation conditions; income, which depends on the quantity and quality of entomological products, profit; hybrid intelligent box temperature control subsystem for breeding insects first developed, which compared to the traditional subsystem based on the positional algorithm to reduces the amplitude of temperature fluctuations relative to the setpoint, reduces power consumption in terms of disturbances, maintains optimal conditions for the development of entomocultures.

The creation of an intelligent entomophage production control system is scientifically substantiated.

The main stages of building a management system are formalizing production goals; definition of structure system, performance criteria; development of a hybrid intelligent boxing air temperature control subsystem and intelligent decision support subsystem; formation of management strategies. The main issue here is the development of production rules of the knowledge base.

An intelligent control system for the production of entomophage *Habrobracon hebetor* is developed, which automatically generates control actions on the development processes of entomocultures; in an automated implements profit management strategies of production, minimizing energy consumption in conditions of uncertainty due to the influence of natural perturbations (change in ambient temperature).

The tools to develop the system were SCADA OWEN PROCESS MANAGER, Simulink / MATLAB, ANFIS-Editor, OPC Toolbox MATLAB, OPC-Server OWEN.RS485 and Fuzzy Logic Toolbox MATLAB.

An estimation of the efficiency of implementation of the intelligent control system in the conditions of laboratory production is carried out on the coefficient of

profitability of fixed assets (ROFA), the coefficient of economic efficiency of capital investments and the period of full payback of the system was made. It has been found that maximizing income and minimizing total electricity costs while maximizing product quality are the most effective management strategies when increasing the number of insect breeding boxes.

The factors of increasing the efficiency of laboratory production of entomophages are structured: reducing the time of information processing; observation in real time the temperature of the nutrient medium; automation of a complex production process in the operation of a hybrid subsystem control of air temperature of boxing with insects; improving the quality of air temperature control; formation of strategies for quality management of entomological products in conditions of incompleteness of information; use of cognitive analysis; the formation of management impacts using a self-learning hybrid network; determination in the conditions incomplete input information of the maximum value of the profit of production, provided that the energy consumption is minimized, with an error of approximation within the allowed values.

Key words: intelligent control system, entomophage production, products, quality, fuzzy logic, hybrid network, cognitive analysis, efficiency, Harrington's desirability function.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Крутякова В. І., **Чернова І. С.**, Молчанова О. Д., Должикова І. В. Основні підходи до забезпечення якості ентомологічної продукції. Техніка і технології АПК. 2015. № 11 (74). С. 30-31. *(Здобувачем розроблено систему забезпечення якості ентомологічної продукції, проведено апріорне ранжування технологічних факторів, отримано кількісну оцінку часток впливу найважливіших технологічних факторів).*
2. Лисенко В. П., Бельченко В. М., **Чернова І. С.** Прогнозування якості ентомокультур. Вісник аграрної науки. 2016. № 5. С. 52-54. *(Здобувачем розроблено описову модель техноценозу, запропоновано використовувати коефіцієнт стабільності гомеостазу як показник стійкості ентомофагів до змін параметрів техноценозу).*
3. Крутякова В. І., Молчанова О. Д., Лімарь І. В., **Чернова І. С.** Вимоги та умови створення Центру маточних культур комах. Вісник аграрної науки. 2016. № 12. С. 44-46. *(Здобувачем визначено основні вимоги до якості ентомофагів).*
4. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Інформаційне забезпечення контролю якості ентомофагів. Вісник аграрної науки. 2017. № 1. С. 48-51. *(Здобувачем розроблено регресійні моделі залежності відроджуваності гусениць млинової вогнівки з яєць від температури і відносної вологості повітря).*
5. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Алгоритм оптимізації виробництва ентомофагів за критерієм якості. Вісник аграрної науки. 2017. № 7. С. 48-53. *(Здобувачем встановлено за допомогою функції Харрінгтона рівні бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон і проведено нечітку оцінку його бажаності; розроблено алгоритм оптимізації виробництва ентомофагів на прикладі ентомологічного препарату бракон).*
6. Бельченко В. М., **Чернова І. С.**, Таргоня В. С. Методи розроблення біоінженерних комплексів виробництва ентомокультур. Вісник аграрної

науки. 2017. № 9. С. 49-52. *(Здобувачем розроблено структурно-параметричний комплекс оцінки якості ентомофага Trichogramma).*

7. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Інтелектуальний аналіз у керуванні виробництвом ентомофагів. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха. 2019. Вип. № 9 (108). С. 224-230. *(Здобувачем розроблено алгоритм енергоефективного виробництва ентомофагів, проведено розрахунок показників ефективності впровадження інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів).*

Статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних:

8. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Дослідження боксу з комахами як об'єкта автоматизації. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 254. С. 352-360. *(Здобувачем розроблено експериментальну та аналітичну перехідні характеристики процесу змінювання температури боксу з комахами від теплоти нагрівника).*

9. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** До питання керування виробництвом ентомофагів. Енергетика та автоматика. 2017. № 3 (33). С. 15-24. Режим доступу до статті: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/9325/8398> *(Здобувачем розроблено гібридну мережу для формування керуючих впливів при виробництві ентомофага бракон).*

10. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Інформаційне забезпечення оптимального керування вирощуванням ентомофагів. Енергетика та автоматика. 2018. № 1 (35). С. 35-46. Режим доступу до статті: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/energiya2018.01.035> *(Здобувачем розроблено метод оптимального керування виробництвом ентомофагів).*

11. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Система керування електротехнічним комплексом для виробництва ентомофагів. Енергетика та автоматика. 2018. №

2 (36). С. 45-57. Режим доступу до статті:

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/energiya2018.02.045>
(Здобувачем проведено експериментальні дослідження автоматизованої системи керування зі SCADA програмою).

12. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Інтелектуальний алгоритм керування для енергоефективного вирощування ентомофагів. Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. 2018. № 10 (3). С. 50–58. (Здобувачем розроблено метод керування для енергоефективного виробництва ентомофагів, експертні системи нечіткого висновку для оцінки прибутку виробництва ентомокультур на базі проведених експериментальних досліджень).

13. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Адаптивна система керування виробництвом ентомофагів. Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. 2019. № 11 (2). С. 10–16. (Здобувачем розроблено гібридну інтелектуальну систему керування температурою повітря боксу для лабораторного виробництва млинової вогнівки та проведено її експериментальні дослідження).

Стаття у науковому виданні іншої держави

14. Бельченко В. М., **Чернова І. С.** Система управління качеством энтомологической продукции с использованием информационных технологий. Защита растений. 2015. Минск. Вып. 39. С. 262-267. (Здобувачем розроблено автоматизовану систему керування зі SCADA програмою, алгоритм керування якістю ентомологічної продукції).

Стаття в іншому науковому виданні України

15. **Чернова І. С.** Методичні підходи до керування якістю ентомофагів. Техніка і технології АПК. 2016. № 2 (77). С. 32-33.

Патенти на корисну модель:

16. Бельченко В. М., **Чернова І. С.** Патент 106355 UA, МПК (2016.01) A01K 67/00, G07C 3/14 (2006.01). Спосіб керування якістю ентомологічної продукції; заявник і власник Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» Національної академії аграрних наук України. № u201509944; заявлено 12.10.2015; опубліковано 25.04.2016. Бюл. № 8/2016. *(Здобувачем розроблено автоматизовану систему керування зі SCADA програмою, алгоритм керування якістю).*

17. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Патент 127141 UA, МПК G07C 3/14 (2006.01), G05B 13/04 (2006.01), A01K 67/033 (2006.01). Спосіб керування якістю ентомологічної продукції; заявник і власник Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» Національної академії аграрних наук України. № u201708505; заявлено 19.08.2017; опубліковано 25.07.2018. Бюл. № 14/2018. *(Здобувачем формалізовано визначення якості ентомологічної продукції).*

Матеріали та тези наукових доповідей:

18. **Чернова І. С.**, Барабаш А. Д. Застосування інформаційних технологій у виробництві ентомологічної продукції. Современное состояние и перспективы инноваций биометода в сельском хозяйстве: Международная конференция, г. Одеса, 9–12 сентября 2013 года: тезисы доклада. С. 124–125. *(Здобувачем проведено детальний аналіз особливостей технологічних процесів виробництва ентомологічної продукції).*

19. Чернова І. С. Методические подходы к анализу процессов энтомологических производств. Защита растений – достижения и перспективы: Международный симпозиум, г. Кишинев, Республика Молдова, 27–28 октября 2015 года: тезисы доклада. 2015. С. 295–297.

20. 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: тези доповіді. С. 155–160. *(Здобувачем проведено експериментальні дослідження автоматизованої системи керування зі SCADA програмою).*

21. Чернова И. С. Экспериментальная модель качества мельничной огневки при разведении энтомофага бракон. Біотехнологічні системи виробництва і застосування засобів біологізації землеробства: Міжнародна науково-практична конференція, м. Одеса, 3–7 жовтня 2016 року: тези доповіді. С. 264–269.

22. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Нечітка когнітивна карта для контролю якості ентомологічної продукції. XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління «Автоматика – 2017», м. Київ, 13–15 вересня 2017 року: тези доповіді. К., 2017. С. 81–83. *(Здобувачем розроблено нечітку когнітивну карту для контролю якості ентомологічної продукції).*

23. Чернова І. С. Основні підходи щодо контролю виробництва ентомологічної продукції. Природнича наука й освіта: сучасний стан і перспективи розвитку: Міжнародна науково-практична конференція, м. Харків, 22–24 вересня 2017 року: тези доповіді. Х., 2017. С. 54–55.

24. Lysenko V., **Chernova I.** Information Provision for Automated Production of Entomophages. Problems of Infocommunications. Science and Technology PIC S&T`2017: 4th International Scientific-Practical Conference, Kharkiv, October 10–13. 2017: Conference Proceedings. Kharkiv. 2017. P. 142–145. *(Здобувачем розроблено інтелектуальну систему прийняття рішень щодо якості ентомологічної продукції).*

25. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Наукові основи контролювання якості ентомологічної продукції. IX з'їзд Українського ентомологічного товариства, м. Харків, 20–23 серпня 2018 року: тези доповіді. Х., 2018. С. 66–67. *(Здобувачем визначено основні підходи щодо створення інтелектуальних технологій керування якістю ентомологічної продукції).*

26. **Чернова І. С.,** Лисенко В. П. Використання інтелектуальних алгоритмів для керування виробництвом ентомофагів. Біологічний метод

захисту рослин: досягнення і перспективи: Міжнародна науково-практична конференція, м. Одеса, 1–5 жовтня 2018 року: тези доповіді. С. 335–341. *(Здобувачем визначено основні підходи щодо використання інтелектуальних алгоритмів для керування виробництвом ентомофага бракон).*

27. **Чернова І. С.,** Лисенко В. П. До питання контролю якості ентомофагів в техноценозі. Біологічний метод захисту рослин: досягнення і перспективи: Міжнародна науково-практична конференція, м. Одеса, 1–5 жовтня 2018 року: тези доповіді. С. 341–346. *(Здобувачем проведено експериментальні дослідження щодо контролю температури поживного середовища млинової вогнівки).*

28. Lysenko V., **Chernova I.** Intelligent Algorithms of Processing of Information in the Production Entomophages. Problems of Infocommunications. Science and Technology PIC S&T-2018: International Scientific-Practical Conference, Kharkiv, October 9–12. 2018: Conference Proceedings. Kharkiv. 2018. P. 530–534. *(Здобувачем розроблено когнітивну модель виробництва млинової вогнівки та нечітку когнітивну карту для контролю якості ентомологічної продукції).*

29. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Інтелектуальна обробка інформації при виробництві ентомофагів. Інформаційні технології та взаємодії (IT&I'2018): V Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 20–21 листопада 2018 року: тези доповіді. К., 2018. С. 196–197. *(Здобувачем розроблено когнітивну модель контролю якості ентомологічної продукції).*

30. **Чернова І. С.,** Бельченко В. М., Молчанова Е. Д. К вопросу моделирования качества энтомокультур. Защита растений в традиционном и экологическом земледелии: Международная научная конференция, г. Кишинев, Республика Молдова, 10–12 декабря 2018 года: тезисы доклада. С. 335–338. *(Здобувачем визначено основні підходи щодо моделювання якості ентомокультур).*

31. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Інтелектуальне керування виробництвом ентомофагів. Глобальні та регіональні проблеми інформатизації

в суспільстві і природокористуванні '2019: VII Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 15–16 травня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 156–158. *(Здобувачем розроблено інтелектуальну систему керування виробництвом ентомофагів).*

32. Lysenko V., **Chernova I.** Infocommunication Provision for the Production of Entomophages. Problems of Infocommunications. Science and Technology PICS&T'2019: IEEE International Scientific Practical Conference, Kyiv, October 8–11. 2019. P. 67–70. *(Здобувачем розроблено інфокомунікаційне забезпечення виробництва ентомофагів).*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	21
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ЕНТОМОФАГІВ.....	27
1.1. Формалізація процесів виробництва ентомофагів.....	27
1.2. Технологічні вимоги щодо забезпечення якості ентомологічної продукції.....	32
1.3. Енергетична характеристика виробництва ентомофагів.....	50
1.4. Висновки до розділу 1.....	52
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ЕНТОМОФАГІВ ЯК ОБ’ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	53
2.1. Параметрична характеристика виробництва ентомофагів.....	53
2.2. Визначення динамічних властивостей боксу з комахами як об’єкта керування	55
2.3. Експериментальні дослідження процесів лабораторного виробництва млинової вогнівки.....	61
2.4. Висновки до розділу 2.....	71
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ ЕНТОМОФАГІВ.....	72
3.1. Методологічні основи побудови інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів.....	72
3.2. Розробка методу керування для енергоефективного виробництва ентомофагів.....	81
3.3. Висновки до розділу 3.....	84
РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ ЕНТОМОФАГІВ	85
4.1. Дослідження гібридної інтелектуальної підсистеми керування температурою повітря боксу з комахами.....	85
4.2. Практична реалізація методу керування для енергоефективного виробництва ентомофагів	95

	20
4.3. Формалізація визначення якості ентомологічної продукції	105
4.4. Інформаційне забезпечення інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів	107
4.4.1. Формалізація слабо-структурованих завдань у виробництві ентомофагів	129
4.5. Загальний алгоритм функціонування інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів	140
4.6. Висновки до розділу 4.....	144
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ	
ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	
ВИРОБНИЦТВОМ ЕНТОМОФАГІВ	145
5.1. Розрахунок показників ефективності впровадження інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів.....	145
5.2. Висновки до розділу 5.....	150
ВИСНОВКИ	151
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	153
ДОДАТКИ.....	172
Додаток А. СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ	
ДИСЕРТАЦІЇ.....	173
Додаток Б. АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ.....	180
Додаток В. ПАТЕНТИ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ.....	185

ВСТУП

Актуальність теми. Вимоги до екологічної чистоти продуктів харчування сприяють становленню нині виробництва ентомофагів гарантованої якості як одного із пріоритетних напрямів біологізації землеробства в Україні. Застосування ентомофагів в агроценозах з метою контролю чисельності шкідників дозволяє суттєво скоротити потребу в хімічних засобах захисту рослин. З точки зору теорії керування, процеси виробництва ентомофагів характеризуються ієрархічністю, обмеженістю, множиною опису, стохастичністю. При цьому складність керування таким виробництвом полягає у: наявності значної кількості підсистем, цільові функції яких не співпадають з цільовою функцією загалом виробництва; неоднозначній поведінці біологічного об'єкту; наявності зовнішніх збурень; значних сумарних витратах електроенергії; наявності слабо-структурованих залежностей. Для підвищення ефективності виробництва ентомофагів відбувається пошук нових підходів до формування стратегій керування цим процесом. Одним із можливих варіантів є використання інтелектуальних алгоритмів на основі нечіткої логіки, нейронних мереж, когнітивного аналізу. Особливо це стосується умов невизначеності, коли обсяги інформації про об'єкт керування обмежені.

Дисертацію присвячено розробленню інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів, враховуючи особливості біологічної складової процесу виробництва в умовах невизначеності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота є частиною держбюджетних науково-дослідних робіт Інженерно-технологічного інституту «Біотехніка» Національної академії аграрних наук України: «Системне конструювання машин та агрегатів, адаптивних інформаційно-керуючих комплексів для ресурсозберігаючих біотехнологій» (номер державної реєстрації 0111U003728, 2011-2015 рр.); «Розробити автоматизовану систему контролю якості ентомологічних засобів

захисту рослин при їх масовому розведенні» (номер державної реєстрації 0116U003721, 2016-2018 рр.); «Розробити інтелектуальну систему керування виробництвом ентомофагів» (номер державної реєстрації 0119U002144, 2019-2020 рр.).

Мета та завдання дослідження. Мета дисертаційного дослідження – підвищення ефективності виробництва ентомологічної продукції шляхом створення нечіткої системи керування на основі використання інтелектуального аналізу даних.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі завдання:

- визначити основні підходи до забезпечення якості ентомологічної продукції;
- дослідити виробництво ентомофагів як об’єкт автоматизації;
- проаналізувати інформаційні потоки та методи і алгоритми їх обробки, необхідні для автоматизації виробництва ентомофагів в умовах невизначеності;
- розробити метод, а на його основі алгоритм керування для енергоефективного виробництва ентомофагів;
- розробити інтелектуальну систему керування виробництвом ентомофагів;
- оцінити ефективність впровадження інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів.

Об’єкт дослідження – процеси виробництва ентомофагів та керування цим виробництвом.

Предмет дослідження – співвідношення між сформованими стратегіями керування процесом виробництва ентомокультур і якістю, кількістю виробленої продукції та енергоефективністю такого процесу.

Методи дослідження. Для виконання роботи використано основні положення теорії автоматичного керування, системний аналіз; нечітку логіку; когнітивний аналіз; експертне оцінювання; ситуаційне керування; регресійний

аналіз; гомеостатичний підхід; економічний аналіз; експериментальні дослідження, що проводилися в умовах лабораторного виробництва.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше розроблено:

- метод керування для енергоефективного виробництва ентомофагів в умовах невизначеності, котрий поєднує оцінку: абіотичних параметрів постадійного розвитку ентомокультур; енергетичних витрат, пов'язаних із забезпеченням необхідних абіотичних параметрів в умовах збурення; доходу, що залежить від кількості та якості ентомологічної продукції; прибутку;

- гібридну інтелектуальну підсистему керування температурою повітря боксу для вирощування комах, котра у порівнянні з традиційною, на основі позиційного алгоритму, зменшує амплітуду коливань температури відносно уставки, скорочує витрати електроенергії в умовах збурень, підтримує оптимальні умови розвитку ентомокультур.

Вперше формалізовано:

- слабо-структуровані завдання у виробництві ентомофагів, що дає змогу спростити наочне уявлення про структуру інформаційних потоків при визначенні стратегій керування виробництвом, візуалізувати залежності показників якості ентомологічної продукції від чисельно невимірних параметрів;

- визначення якості ентомологічної продукції системою нечіткого висновку, що дозволяє формувати стратегії керування якістю в умовах неповноти інформації щодо залежності показників якості від сукупності абіотичних і технологічних параметрів виробництва.

Вперше досліджено інформаційні потоки виробництва ентомофагів, алгоритми їх обробки та зберігання в структурованому вигляді, що дозволяє скоротити аналіз великої кількості даних в умовах невизначеності.

Науково обґрунтовано загальну послідовність побудови інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів, що в умовах невизначеності дало можливість формування стратегій керування, які максимізують прибуток

виробництва ентомологічної продукції, забезпечуючи при цьому її необхідну якість.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено інтелектуальну систему керування виробництвом ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*), яка пройшла випробування і впроваджена в науково-дослідному відділі промислової ентомології Інженерно-технологічного інституту «Біотехніка» Національної академії аграрних наук України. Її переваги полягають у: формуванні стратегій керування, що в умовах невизначеності максимізують прибуток виробництва ентомофагів; скороченні часу обробки інформації; зберіганні інформації в структурованому вигляді; формалізації слабо структурованих завдань у виробництві ентомофагів; підвищенні точності підтримання технологічних вимог виробництва в умовах збурень; ідентифікації ентомологічних виробництв за критерієм якості продукції в умовах невизначеності біологічної складової об'єкту.

Підготовлено науково-практичні рекомендації щодо: створення технічного, алгоритмічного забезпечення системи контролю якості ентомофагів; розроблення інформаційного забезпечення системи контролю якості ентомофагів, інформаційного та алгоритмічного забезпечення інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів, котрі впроваджені у навчальний процес на природничому факультеті Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди. Розроблено методику оцінювання процесів ентомологічних виробництв, яку впроваджено в Товаристві з обмеженою відповідальністю «Науково-виробничий центр» Агробіотехнологія» (м. Кам'янка Черкаської області).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним науковим дослідженням. До дисертації увійшли наукові результати, отримані здобувачем особисто. Здобувачу належить вибір методик дослідження, аналіз та узагальнення експериментальних результатів досліджень. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, у роботі використано лише ті ідеї, положення і розрахунки, що є результатом особистої роботи здобувача.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та матеріали дисертаційного дослідження доповідалися та обговорювалися на: Міжнародній конференції «Современное состояние и перспективы инноваций биометода в сельском хозяйстве» (м. Одеса, 2013 р.); Міжнародному науковому симпозиумі «Защита растений: достижения и перспективы» (м. Кишинів, Республіка Молдова, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Біотехнологічні системи виробництва і застосування засобів біологізації землеробства» (м. Одеса, 2016 р.); Міжнародній науковій конференції «Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК» (м. Київ, 2016 р.); XXIV Міжнародній конференції з автоматичного управління «АВТОМАТИКА – 2017» (м. Київ, 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Природнича наука й освіта: сучасний стан і перспективи розвитку» (м. Харків, 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (м. Харків, 2017 р.); IX з'їзді Українського ентомологічного товариства (м. Харків, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Біологічний метод захисту рослин: досягнення і перспективи» (м. Одеса, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (м. Харків, 2018 р.); V Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології та взаємодії» (м. Київ, 2018 р.); Міжнародній науковій конференції «Защита растений в традиционном и экологическом земледелии» (м. Кишинів, Республіка Молдова, 2018 р.); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві і природокористуванні 2019» (м. Київ, 2019 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (м. Київ, 2019 р.).

Публікації. Основні положення дисертації викладено у 32 наукових працях, з яких 7 статей у наукових фахових виданнях України, 6 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, стаття у науковому виданні іншої держави, стаття у науковому виданні України, 2 патенти на корисну модель, 13 матеріалів та тез наукових доповідей.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ЕНТОМОФАГІВ

1.1. Формалізація процесів виробництва ентомофагів

На сьогодні біологічний метод захисту рослин є однією зі складових виробництва органічної продукції для збільшення популяції корисних комах у біологічному контролі шкідників сільськогосподарських рослин.

Одним із основних завдань технічної ентомології є створення та відтворення культур комах як штучних популяцій із заданими властивостями [1].

Для цього в лабораторних умовах потрібно створювати маточні культури, які за фізіологічними, генетичними та ентомологічними особливостями наближаються до диких популяцій виду і надалі будуть використані під час виробництва як стартові та для оздоровлення промислових культур [2].

Особливістю комах-ентомофагів є використання живих тканин або гемолімфи іншої комахи; за кількістю споживаних особин вони поділяються на паразитів і хижаків.

Нині до найпоширеніших ентомофагів відносяться [3]:

- трихограма (*Trichogramma*),
- бракон (*Habrobracon hebetor*),
- золотоочка (*Chrysoperla carnea*),
- фітосейулюс (*Phytoseiulus*),
- галиця афідіміза (*Aphidoletes aphidimyza*),
- афідіус (*Aphidius*).

Сучасні направленості досліджень як в працях вітчизняних, так і зарубіжних вчених (Маркіна Т.Ю., Бельченко В.М., Lenteren J.C. van, Grenier S., Белякова Н.А., Богатирьов О.Д. та ін.) стосуються:

- визначення вимог та умов створення Центру маточних культур комах для забезпечення масового виробництва ентомологічних засобів захисту рослин від шкідників [2];

- розробки конкретних виробничих засобів, зокрема, автоматизації та забезпечення якості [4];
- сприятливих умов напруцювання, поліпшення якості корму [5, 6, 7, 8];
- постадійного контролю параметрів виробництва [9];
- оптимізації просторової та вікової структур штучних популяцій комах в умовах техноценозу [10];
- збереження мінімального рівня різноманіття і функціональної стійкості штучних популяцій [11];
- контролю якості та виробництва біологічних засобів [12, 13, 14];
- раціонального співвідношення паразит-хазяїн та використання штучного поживного середовища [15];
- зменшення собівартості продукції способом сполучення технологічних циклів кількох видів ентомофагів, яких підтримують на одному виду корму [16];
- обґрунтування і розрахунку об'ємів проживання комах у біотехнологічних системах виробництва ентомологічних препаратів [17];
- застосування штучних дієт, збереження культур комах у лабораторних умовах [18, 19, 20];
- скорочення терміну розведення; зменшення трудомісткості процесу розведення; розширення видового складу; зменшення захворюваності та смертності [21];
- використання інформаційних хмарних технологій, що дозволяє контролювати критично важливі етапи технологічного процесу масового розведення ентомофагів [22].

Ентомологічне виробництво – це відтворення у штучних умовах процесів морфогенезу комах з відбором частини або всієї штучної популяції комах у вигляді товарної продукції [23]. Як товарна продукція використовуються як ентомофаги та акарифаги, так і фітофаги [23].

Виробництво ентомофагів гарантованої якості являє собою процес, що з точки зору керування є складною динамічною системою (рис. 1.1), яка містить певну кількість підсистем, пов'язаних між собою матеріальними потоками. При цьому кожна з підсистем має вигляд об'єкта керування. За характером процеси ентомологічного виробництва є безперервно-періодичними (технологія виробництва відбувається впродовж обмеженого часу) і такими, в яких параметри змінюються не лише в часі, але й у просторі. Тобто є системою з розподіленими параметрами.

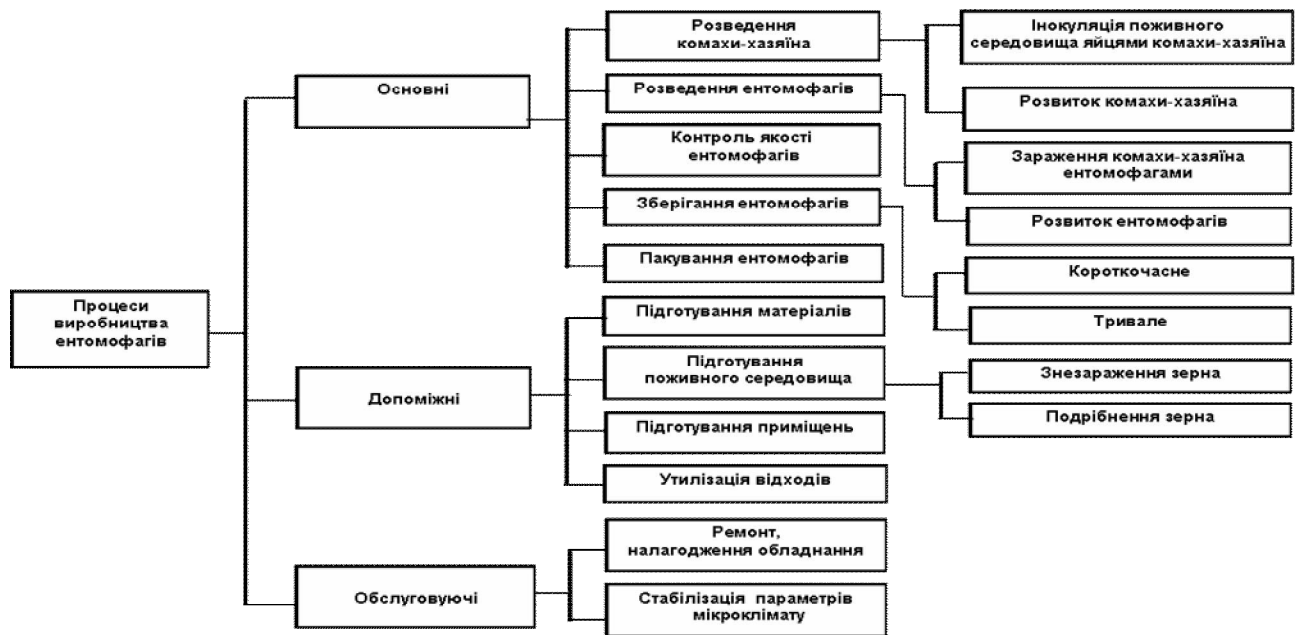


Рис. 1.1. Структура процесів виробництва ентомофагів [24]

У відповідності з класифікацією систем [25, 26], за характером взаємодії елементів система процесів виробництва ентомофагів є ієрархічною, за природою елементів реальною, за походженням штучною, за ступенем складності складною, за характером поведінки системою з керуванням, за ступенем організованості організованою, за ступенем участі людини в реалізації керуючих впливів людино-машинною [27].

З метою проведення часової та вартісної (за витратами технологічної сировини, матеріалів, обладнання) оцінки процесів виробництва ентомофагів розроблено модель у вигляді орієнтованого графа (рис. 1.2) [28].

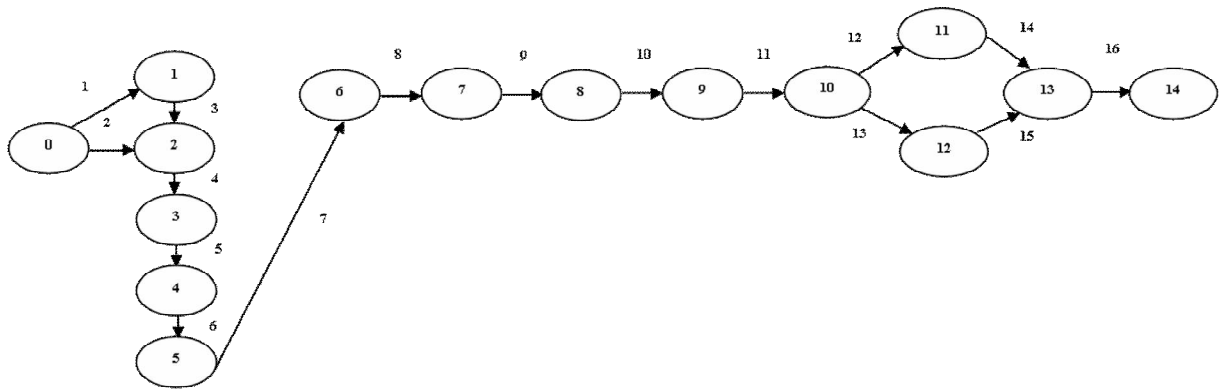


Рис. 1.2. Модель ентомологічного виробництва (ЕВ) у вигляді орієнтованого графа [28]:

події: 0 – початок ЕВ; 1 – підготування матеріалів; 2 – підготування обладнання; 3 – підготування приміщення; 4 – підготування технологічної сировини; 5 – підготування поживного середовища (ПС); 6 – заселення ПС комахою-хазяїном; 7 – розведення комахи-хазяїна; 8 – заселення комахи-хазяїна комахою-паразитом (хижаком); 9 – розведення комахи-паразита (хижака); 10 – зберігання ентомопродукції; 11 – короточасне зберігання ентомопродукції; 12 – тривале зберігання ентомопродукції; 13 – реалізація ентомопродукції; 14 – завершення ЕВ;
процеси: 1(0,1) – стерилізація, знепилення, чищення матеріалів; 2(0,2) – знепилення обладнання; 3(1,2) – налагодження обладнання; 4(2,3) – дезінфекція приміщення; 5(3,4) – перевірка чистоти маточної культури комахи-паразита (хижака); 6(4,5) – вирощування рослин (знезараження зерна, борошна або висівки залежно від того, яку ентомопродукцію потрібно отримати); 7(5,6) – оцінка якості (ОЯ) поживного середовища (ПС); 8(6,7) – ОЯ заселення ПС комахою-хазяїном; 9(7,8) – ОЯ комахи-хазяїна; 10(8,9) – ОЯ заселення комахи-хазяїна комахою-паразитом (хижаком); 11(9,10) – ОЯ ентомопродукції (ОЯЕ); 12(10,11) – створення умов для короточасного зберігання ентомопродукції; 13(10,12) – створення умов для тривалого зберігання ентомопродукції; 14(11,13) – ОЯЕ після її короточасного зберігання (ОЯЕК); 15(12,13) – ОЯЕ після її тривалого зберігання (ОЯЕТ); 16(13,14) – видалення відходів виробництва

В основу моделі покладено процесний підхід, згідно якому процес уявляє собою діяльність, для якої використовуються ресурси для перетворювання входів на виходи [29]. При цьому вихід одного процесу є входом наступного.

У моделі є 14 подій, які визначають завершені етапи виробництва, та 16 процесів, що характеризуються певними ресурсами та певною тривалістю виконання. Основними параметрами моделі є: ранній термін настання події; пізній термін настання події; резерв часу на здійснення події; повний резерв часу процесу; вільний резерв часу процесу; критичний шлях [30, 31].

Проведено аналіз технологічного процесу виробництва ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*) (гусеничного паразитоїда) (рис. 1.3) та його хазяїна млинової вогнівки (*Ephestia kuehniella*) (рис. 1.4). Ентомофаг бракон на сьогодні є ключовою складовою в комплексній боротьбі зі шкідниками лускокрилими [32, 33]. Якість бракона в техноценозі оцінюється за біологічними показниками (відроджуваність імаго; кількість лялечок, одержаних з однієї самки за одне покоління; статевий індекс; середня виживаність личинок; зараженість гусениць млинової вогнівки паразитом;

кількість імаго з однієї самки та ін.) і визначається, зокрема і якістю комахи-хазяїна (масою гусениць млинової вогнівки старшого віку) [33, 34].

Відомі дослідження стосовно оцінки продуктивності паразитоїдів *Habrobracon hebetor* на різних хазяїнах, таких, як південна комірня вогнівка (*Plodia interpunctella*), млинова вогнівка (*Ephestia kuehniella*), велика воскова міль (*Galleria mellonella*), рисова вогнівка (*Corcyra cephalonica*), бавовняна совка (*Helicoverpa armigera*) та ін. [32, 33, 35]. Під час розведення бракона на *Ephestia kuehniella* і *Helicoverpa armigera* плодючість та народжуваність були значно більшими на *Ephestia kuehniella* [32]. На *Ephestia kuehniella* спостерігалася висока життєздатність самок, виживаність потомства [35]. Використання млинової вогнівки є економічно доцільним і дає можливість отримувати паразита з високою пошуковою здатністю [36].

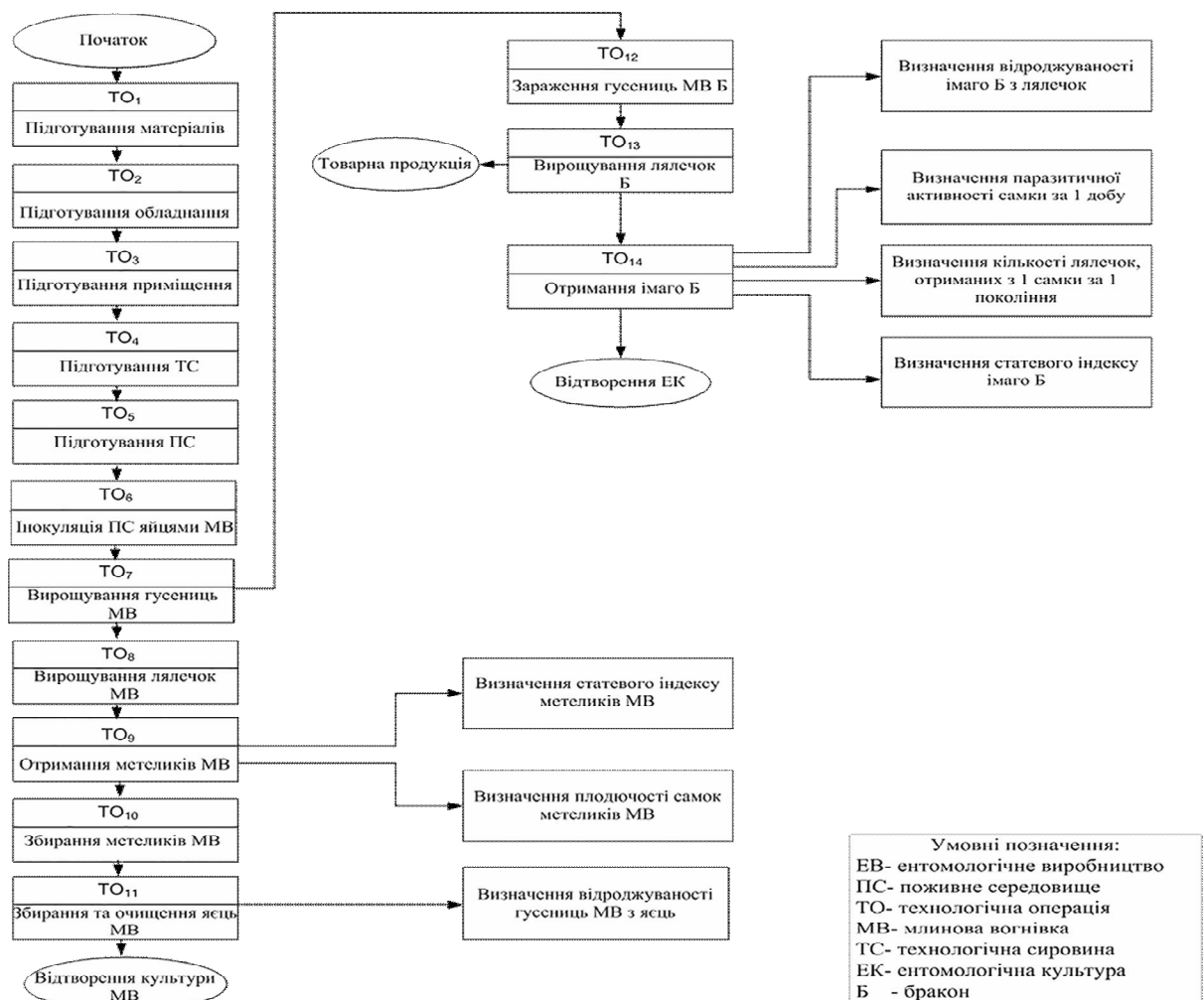


Рис. 1.3. Технологічна схема виробництва ентомофага бракон в умовах техноценозу [33]

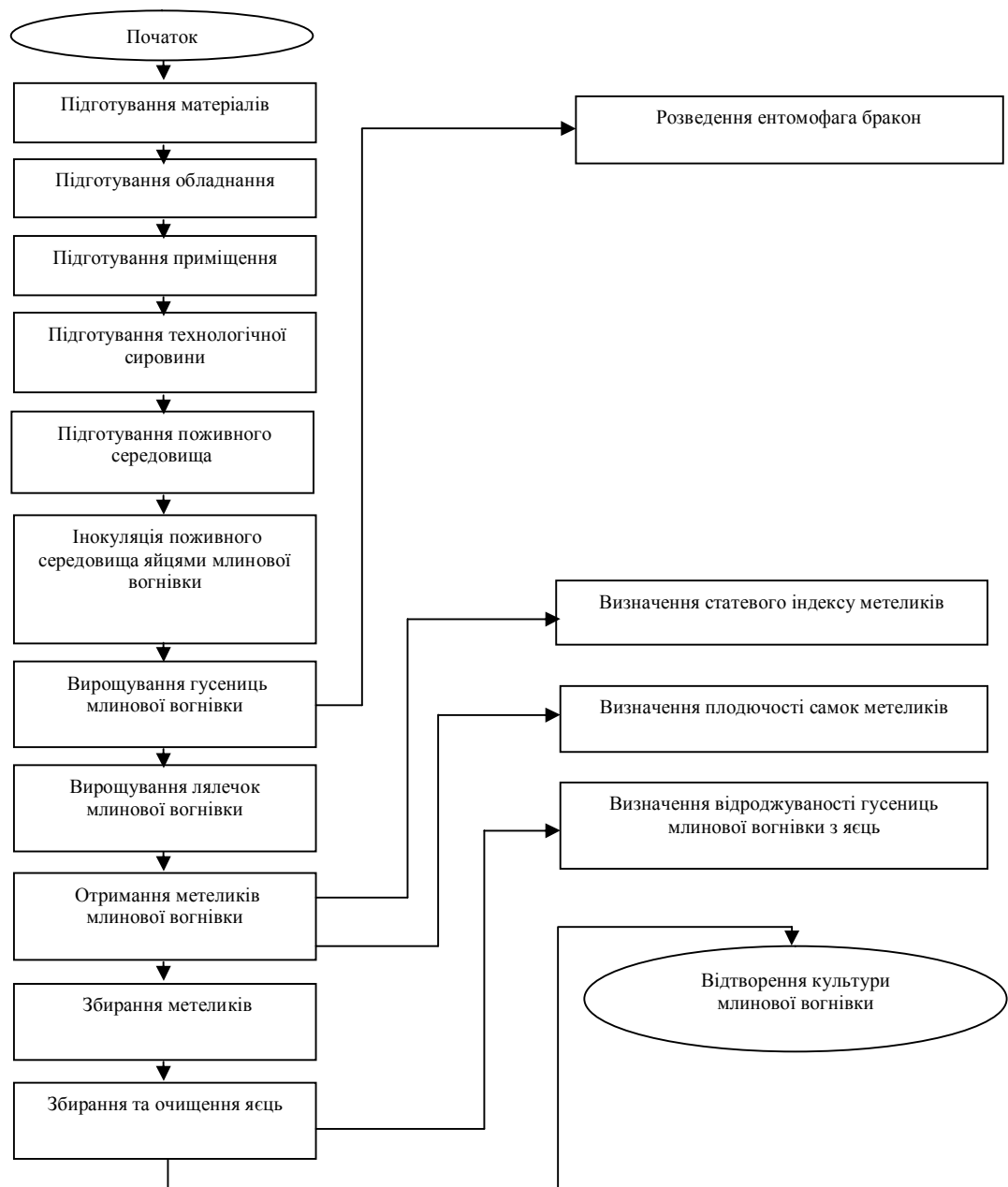


Рис. 1.4. Технологічна схема виробництва млинової вогнівки в умовах техноценозу

1.2. Технологічні вимоги щодо забезпечення якості ентомологічної продукції

Якість ентомологічної продукції формується на різних етапах технологічного процесу виробництва з урахуванням факторів впливу (абіотичних, біотичних, технологічних). При цьому нормативною базою є технологічні регламенти, технічні умови, стандарти. Лише незначна частина (до 10 %) таких факторів є детермінованими, тобто такими, що мають чітко

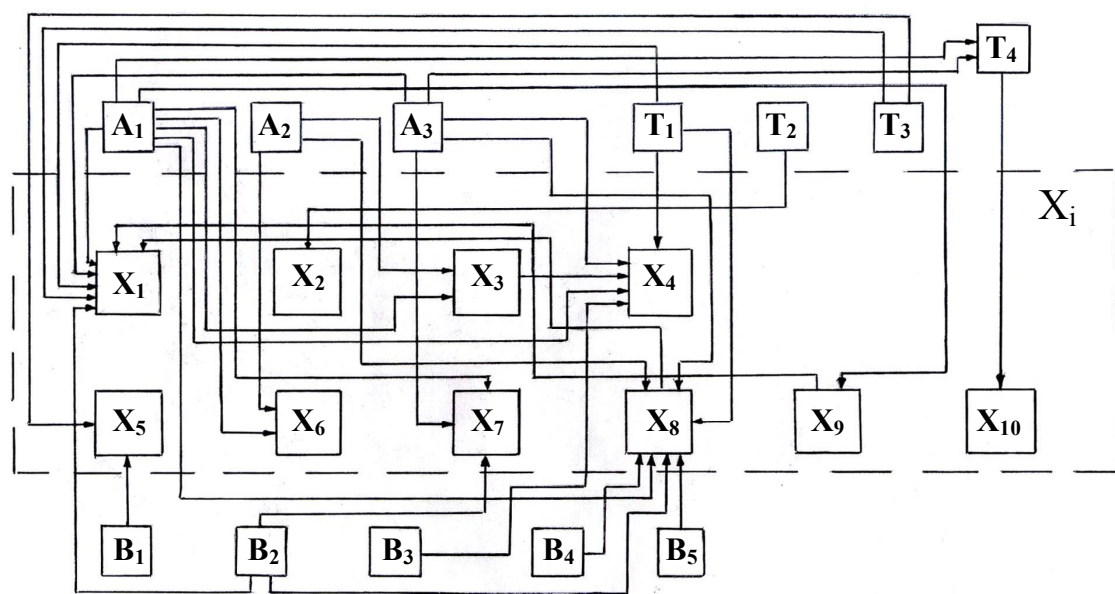
визначену залежність і можуть бути розрахованими. Більшість же залежностей мають стохастичний характер з високим ступенем невизначеності [37].

Контроль якості ентомокультур в умовах техноценозу як замкненої біотехнічної системи здійснюється за значеннями загальних та цільових показників якості. Загальні показники характеризують фізіологічний стан ентомокультури. До них відносяться: маса та лінійні розміри особин, статевий індекс імаго, коефіцієнт розмноження, тривалість розвитку генерації та окремих стадій онтогенезу, відроджуваність з яєць, виживаність, фактична плодючість самок. Цільові показники якості визначають ефективність ентомокультури. До них відносяться: пошукова та міграційна активність, інтенсивність та ступінь паразитування яєць хазяїна [38].

Якість продукції безпосередньо пов'язана з технологією виробництва. Абіотичні фактори впливу є параметрами постадійного середовища розвитку та зберігання ентомофагів (температура, відносна вологість повітря та ін.), їх постадійний контроль підвищує ймовірність виробництва ентомофагів заданої якості [39]. З вологістю, температурою та газовим складом навколишнього середовища пов'язані динаміка чисельності комах [40]. Для зернової молі (*Sitotroga cerealella*), яйця якої використовують як харчовий субстрат для паразитування трихограмою (*Trichogramma*) або їжу для розведення хижих комах, температура та відносна вологість повітря мають важливе значення на стадіях зберігання яєць, зараження зерна (відродження гусениць зернової молі), збирання яйця зернової молі, що впливає на такі біологічні показники, як процент зараження зерна, кількість фертильних яєць; температура та вологість зерна – на стадіях розвитку гусениці в зерні, льоту метелика і збирання імаго зернової молі, що відбивається на таких біологічних показниках якості, як плодючість самок, вихід яєць за масою, розміри яєць, тривалість розвитку зернової молі [39]. Біотичними факторами впливу є: вид комах-хазяїна, вид жертви, вік яєць комах-хазяїв, поживне середовище та його якість (вологість зерна до кондиціонування, вологість зерна для зараження комахою-хазяїном), густота популяції комах. Остання суттєво

впливає на такі показники якості ентомофагів, як плодючість, статевий індекс, пошукову здатність, тривалість життя [39]. До технологічних факторів впливу відносяться: термін та умови зберігання яєць, імаго; тривалість розвитку на одному хазяїні; підживлення, оброблення поживного середовища [39]; періодичне внесення біодобавок, зокрема, аскорбінової кислоти і вітаміну B₁₂ [6]; висота шару та вид поживного середовища; кількість яєць, інокульованих в поживне середовище.

Розроблено структурно-параметричні комплекси оцінки якості ентомофагів трихограма [41], бракон та фітофага млинової вогнівки (рис. 1.5, рис. 1.6), які показують складні залежності показників якості від значної кількості факторів.



X_i (X₁-X₁₀) – біологічні показники якості трихограми:

X₁ – паразитування
X₂ – відродження
X₃ – тривалість життя самок
X₄ – плодючість
X₅ – статевий індекс
X₆ – рухова активність
X₇ – тривалість розвитку трихограми
X₈ – пошукова здатність
X₉ – швидкість зараження яєць комах - хазяїв
X₁₀ – життєздатність

T₁-T₄ – технологічні фактори:

T₁ – тривалість розведення на одному хазяїні
T₂ – термін зберігання трихограми
T₃ – термін зберігання яєць комах-хазяїв
T₄ – введення в діапаузу та виведення з неї

B₁-B₅ – біотичні фактори:

B₁ – вік яєць комах-хазяїв
B₂ – вид комах-хазяїна
B₃ – розмір яєць комах-хазяїна
B₄ – густота кладки яєць комах - хазяїв
B₅ – степінь наявності у рослині аттрактантів

A₁-A₃ – абіотичні фактори:

A₁ – температура повітря
A₂ – відносна вологість повітря
A₃ – фотоперіод (освітленість)

Рис. 1.5. Структурно-параметричний комплекс оцінки якості трихограми [41]

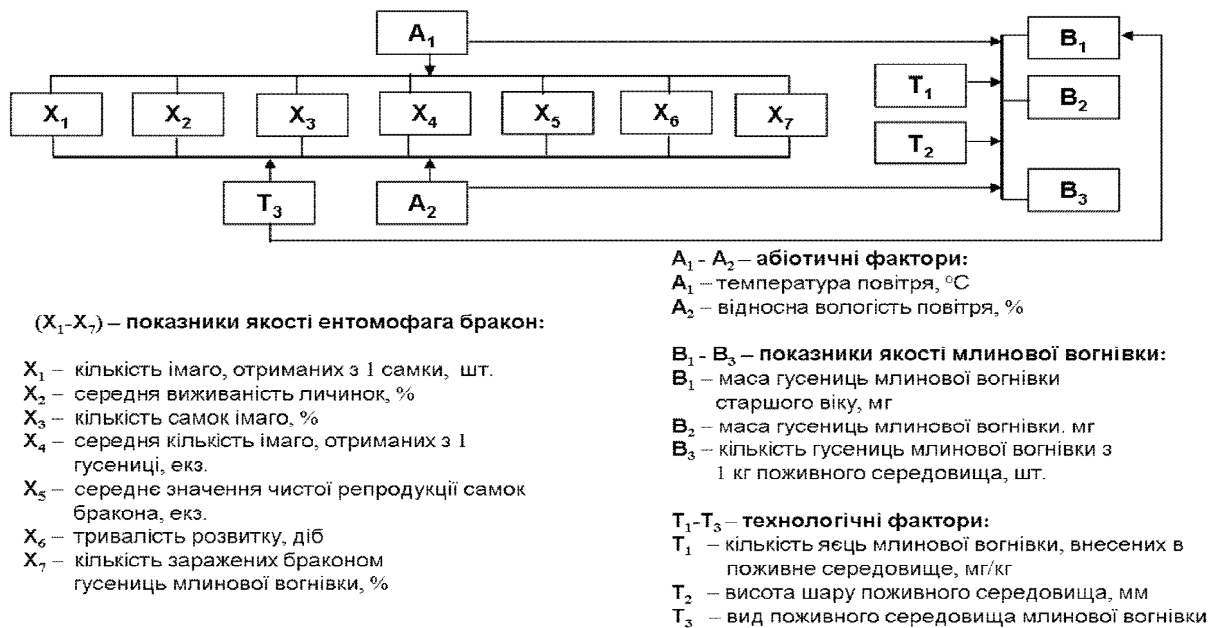


Рис. 1.6. Структурно-параметричний комплекс оцінки якості ентомофага бракон та його хазяїна млинової вогнівки

На якість ентомофага бракон в техноценозі впливають такі фактори [33, 42]:

$$L_{\theta} = f(\theta_{\theta}, \delta, \varphi_{\theta}, \delta^1, Y1, Y2, Z), \quad (1.1)$$

де θ_{θ} – температура повітря в боксі для розведення бракона, °C;

δ – точність підтримання температури повітря, °C;

φ_{θ} – відносна вологість боксу для розведення бракона, %;

δ^1 – точність підтримання відносної вологості повітря, %;

Y1 – кількість гусениць млинової вогнівки, шт./кг поживного середовища;

Y2 – маса гусениць млинової вогнівки старшого віку, мг;

Z – збурення (температура θ^n та відносна вологість φ^n повітря навколишнього середовища, часткове припинення постачання електроенергії, старіння обладнання).

На масу гусениць млинової вогнівки старшого віку впливають такі параметри [42, 43]:

$$Y_2 = f_1(\theta_{\sigma}, \delta, \varphi_{\sigma}, \delta^1, \rho, n, W, Z_1), \quad (1.2)$$

де ρ – кількість яєць млинової вогнівки, внесених в поживне середовище, мг/кг поживного середовища;

n – кількість поживного середовища, кг;

W – вид поживного середовища;

Z – збурення (температура θ^n та відносна вологість φ^n повітря навколишнього середовища, температура повітря зовнішнього приміщення $\theta_{зов}$ (що межує з боксом), часткове припинення постачання електроенергії, старіння обладнання).

Серед факторів, що впливають на якість ентомологічної продукції, слід відзначити температуру, відносну вологість повітря в зоні розведення комах; вид поживного середовища та висоту його шару, кількість внесених у поживне середовище яєць комах-хазяїна [3, 5, 6, 36, 40, 43].

Відомо, що підвищення температури повітря в зоні розведення комах призводить до скорочення споживання кормів, що викликає різке зниження плодючості [40]. У зв'язку з пойкилотермністю 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 [44].

Результати наукових досліджень [45, 46] залежності кількості заражених браконом гусениць млинової вогнівки та відроджуваності гусениць млинової вогнівки з яєць від температури повітря в зоні розвитку комах при різній відносній вологості (відповідно рис. 1.7 та рис. 1.8) свідчать про суттєвий вплив температури повітря. Так, при змінюванні температури у діапазоні (17 – 28) °C при різних значеннях відносної вологості (50 %, 70 %, 80 %) відбуваються значні коливання кількості заражених гусениць (в межах 37 % - 39 %); при змінюванні вологості коливання кількості заражених гусениць знаходяться в межах 1 % - 7 % (рис. 1.7). При зміні температури у діапазоні 25 °C - 30 °C за різними значеннями відносної вологості (70 %, 75 %, 80 %)

коливання відроджуваності гусениць знаходяться в межі 9,9 % - 15,5 %; при зміні вологості – 0,8 % - 5 % (рис. 1.8).

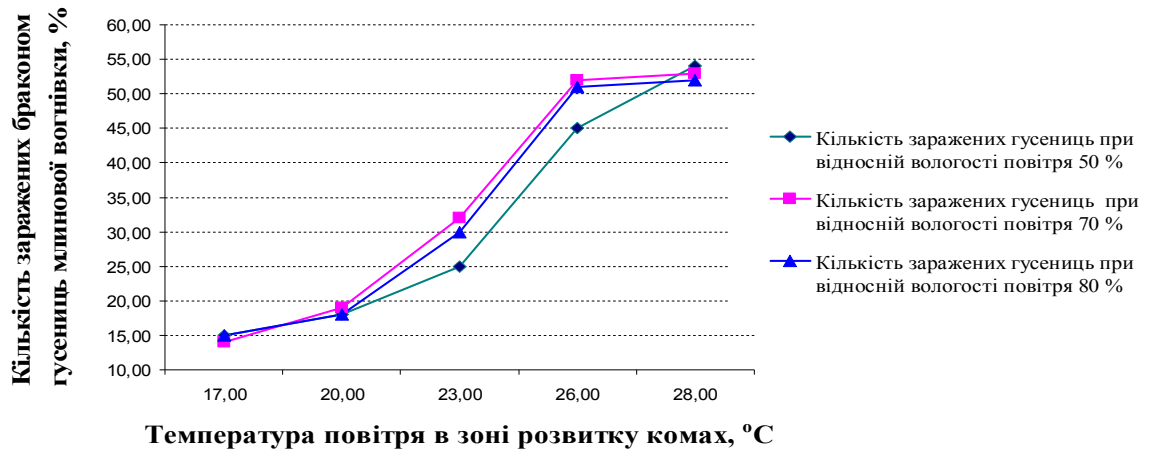


Рис. 1.7. Залежність кількості заражених браконом гусениць млинової вогнівки від температури повітря при різних значеннях відносній вологості повітря

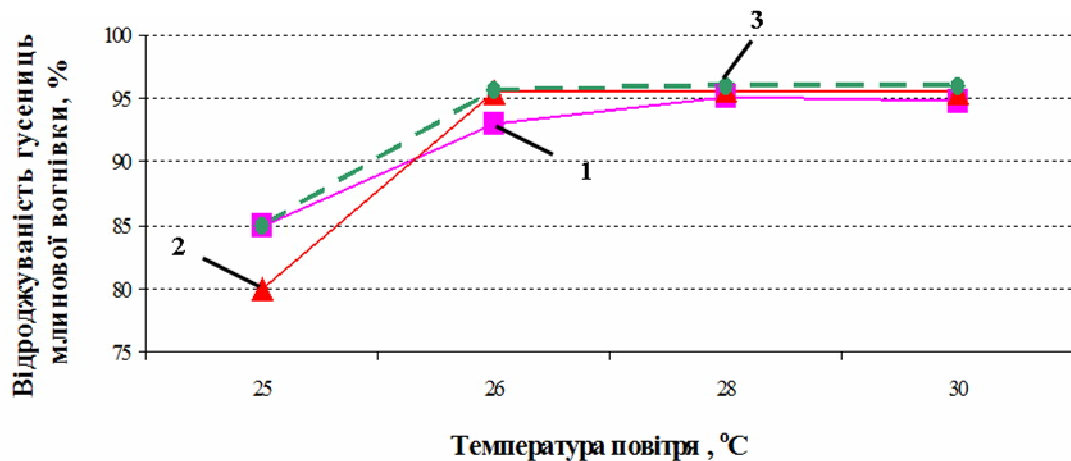


Рис. 1.8. Залежність відроджуваності гусениць млинової вогнівки від температури повітря при відносній вологості: 1 – 70 %; 2 – 75 % ; 3 – 80 %

Встановлено, що температура повітря в зоні розведення комах має значний вплив на якість як ентомофага бракон, так і його хазяїна млинову вогнівку; тому підтримання її оптимального значення в зоні розвитку комах є однією з важливих складових при розробленні технічних систем керування якістю ентомологічної продукції.

Забезпечення якості ентомологічної продукції як складова частина процесу керування якістю розглядалось на підставі сучасних наукових

досліджень [47, 48, 49, 50, 51, 52]. З метою систематизації, аналізу та визначення факторів, що забезпечують якість ентомологічної продукції, за допомогою формальних способів системного аналізу, методу експертних оцінок (апріорного ранжування) та PEST-аналізу розроблено систему забезпечення якості ентомологічної продукції (рис. 1.9), представленою ієрархічною структурою у вигляді дерева [53, 54, 55, 56, 57].

Фактори, що забезпечують якість ентомологічної продукції, розглядались як система (об'єкт), декомпована на основні категорії та складові елементи [54].

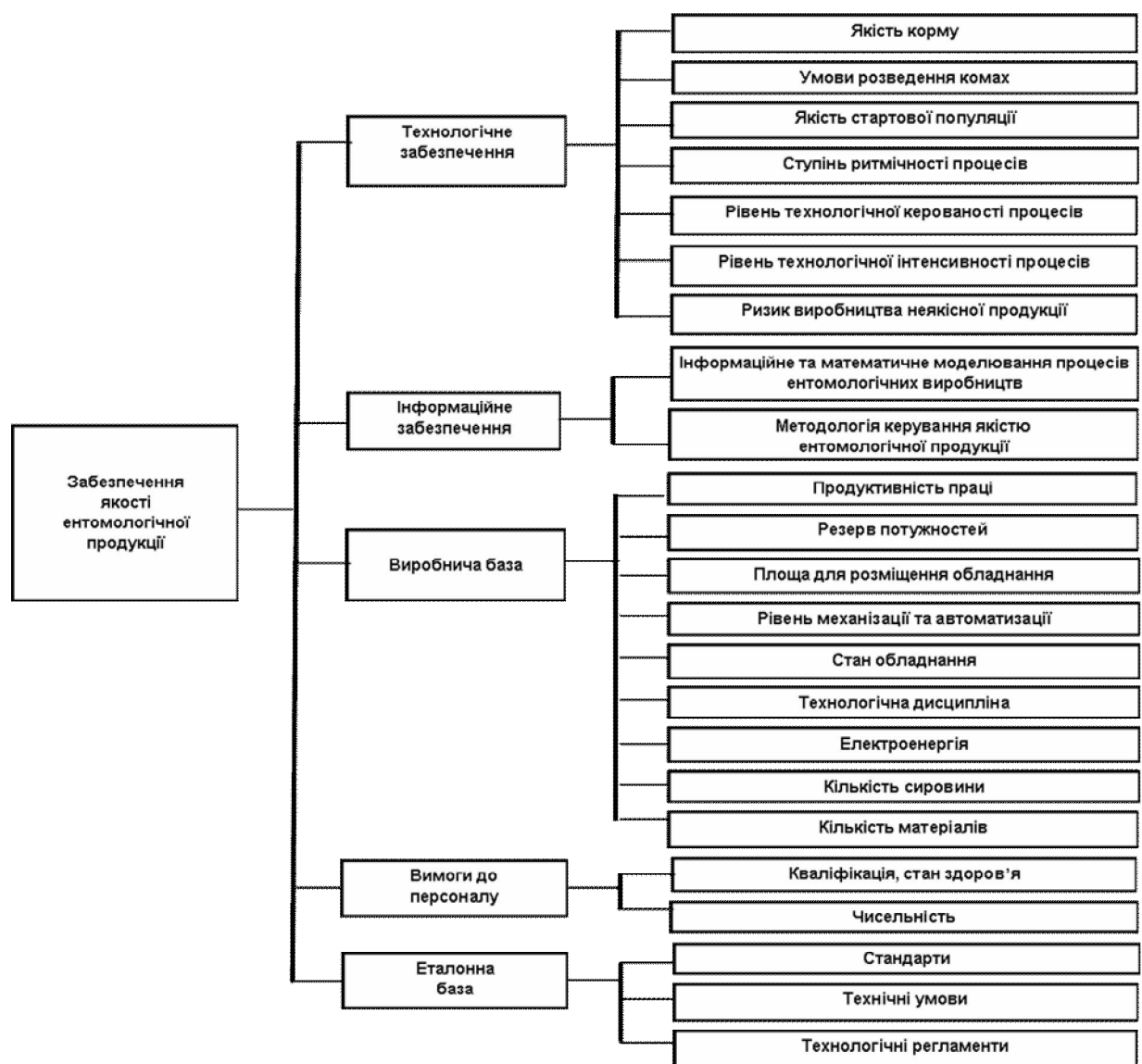


Рис. 1.9. Структура системи забезпечення якості ентомологічної продукції [53]

Як видно з наведеної структури, на якість впливає велика кількість факторів. При формуванні стратегій керування виробництвом ентомофагів виникає необхідність визначення факторів, що мають найбільший вплив на якість ентомологічної продукції та вимагають більш детального вивчення; при цьому не завжди є можливість експериментально оцінити ступінь їх впливу. Серед наведених факторів слід виділити технологічне забезпечення, яке враховує особливості, притаманні технологічним процесам. До технологічного забезпечення якості ентомологічної продукції відносяться такі фактори:

- 1 – якість корму;
- 2 – умови розведення комах (температура та відносна вологість повітря в зоні їх розвитку);
- 3 – якість стартової популяції;
- 4 – ступінь ритмічності процесів ентомологічного виробництва (рівномірність виробництва продукції протягом визначеного часу, що забезпечує більш повне використання трудових та виробничих ресурсів);
- 5 – рівень технологічної керованості процесів (показує гнучкість процесів та можливості змінювання параметрів процесів);
- 6 – рівень технологічної інтенсивності процесів (визначає ступінь використання матеріальних, енергетичних та часових параметрів процесів);
- 7 – ризик виробництва неякісної продукції (частота відхилень показників якості ентомологічної продукції, викликаних порушеннями в ході технологічних процесів, є одним з технологічних факторів, що об'єднує якість продукції та якість технологічного процесу [52]).

Було виконано апріорне ранжування факторів 1-7 за методикою, наведеною в [58]. Так, чотирьом спеціалістам Інженерно-технологічного Інституту “Біотехніка” НААН було запропоновано проранжувати фактори 1-7.

В табл. 1.2 наведено результати ранжування технологічних факторів, в якій за даними опитування спеціалістів (експертів) кожному з факторів 1-7 наданий ранг (рівень) за ступенем значущості; також наведені сума рангів для кожного фактора, середнє значення суми рангів для усіх факторів, середнє

значення суми рангів для кожного фактора, відхилення суми рангів для кожного фактора, ранг кожного фактора за сумою рангів.

Таблиця 1.2

Результати ранжування технологічних факторів

Середнє значення суми рангів L для усіх факторів	Відхилення Δ_i суми рангів від L	№ фактора	Спеціалісти				Сума рангів S_i	Середнє значення суми рангів	Ранг фактора за сумою рангів
			1	2	3	4			
16	-12	1	1	1	1	1	4	1	1
	-8	2	2	2	2	2	8	2	2
	-4	3	3	3	3	3	12	3	3
	6	4	7	4	5	6	22	5,5	6
	4	5	4	7	4	5	20	5	4
	9	6	5	6	7	7	25	6,25	7
	5	7	6	5	6	4	21	5,25	5

Суму рангів S_i для кожного фактора знаходять за формулою:

$$S_i = \sum_{j=1}^m a_{ij}, \quad (1.3)$$

де m – кількість опитаних спеціалістів;

a_{ij} – ранг i -го фактора, наданий j -м спеціалістом.

Потім розраховують середнє значення суми рангів для усіх факторів L :

$$L = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m a_{ij}, \quad (1.4)$$

де k – число факторів.

Відхилення Δ_i суми рангів для кожного з факторів від середнього значення суми рангів для усіх факторів розраховується за формулою:

$$\Delta_i = S_i - L. \quad (1.5)$$

Коефіцієнт конкордації W , який характеризує ступінь узгодженості думок експертів, розраховується за формулою:

$$W = \frac{12S}{m^2(k^3 - k)}, \quad (1.6)$$

де $S = \sum_{i=1}^k \Delta_i^2$.

Коефіцієнт конкордації може приймати значення з інтервалу $0 \leq W \leq 1,0$; при цьому $W = 0$ свідчить про відсутність згоди думок експертів, $W = 1$ – про повну згоду експертів відносно порядку спадання впливу факторів на процес, що вивчається [58].

В нашому випадку $W = 0,85$, що свідчить про високий рівень узгодженості всіх спеціалістів. Значущість коефіцієнту конкордації W встановлюють за допомогою χ^2 -критерію Пірсона. Для цього знаходять розрахункове значення χ_p^2 :

$$\chi_p^2 = m(k-1)W = \frac{12S}{mk(k+1)}. \quad (1.7)$$

Узгодженість думок спеціалістів приймається, якщо

$$\chi_p^2 > \chi_t^2 \quad (1.8)$$

де χ_t^2 – табличне значення критерію Пірсона.

Розрахунок значущості коефіцієнту конкордації ($20,4 > 12,59$) підтвердив те, що думки спеціалістів узгоджуються.

Ступінь впливу факторів оцінюється за величиною суми рангів: чим менше сума рангів фактора, тим більший вплив він має на якість ентомологічної продукції (рис. 1.10).

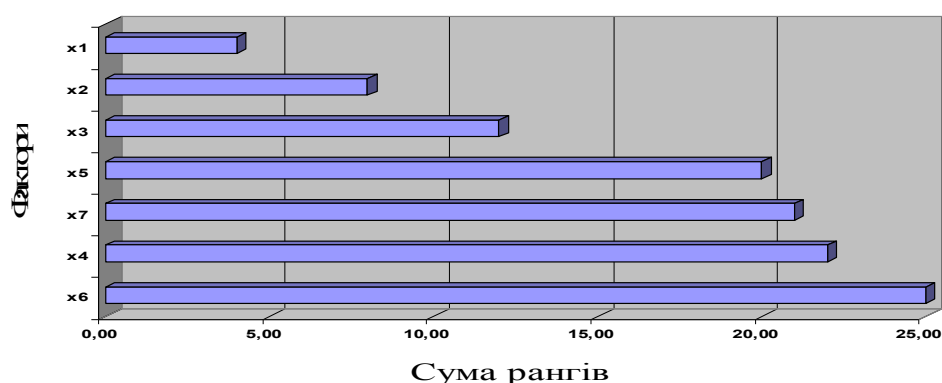


Рис. 1.10. Гістограма рангів

Аналіз гістограми рангів показує, що всі фактори необхідно розділити на дві групи. В першу групу включимо фактори 1-3, в другу – (4-7). Визначимо, чи є ці групи в дійсності єдиними за допомогою К-критерія Лінка - Уоллеса:

$$K_p = \frac{n \cdot (\bar{a}_{\max} - \bar{a}_{\min})}{\sum_{g=1}^n \bar{a}_g}, \quad (1.9)$$

де n – кількість факторів, що увійшли до групи;

$\bar{a}_{\max}, \bar{a}_{\min}$ – відповідно максимальне і мінімальне середнє значення суми рангів факторів, що увійшли до групи;

\bar{a}_g – сума середніх значень сум рангів факторів, що увійшли до групи (середні значення сум рангів дорівнює відношенню суми рангів для кожного фактора до кількості спеціалістів).

Розрахункове значення К-критерію Линка-Уоллеса K_p порівнюють з табличним значенням K_t . Якщо

$$K_p \leq K_t, \quad (1.10)$$

то середні ранги факторів однієї групи не розрізняються між собою.

Для груп факторів 1-3 та 4-7 умова (1.10) виконується ($1 < 1,17$; $0,23 < 0,95$), тому ці групи окремо є єдиними. А якщо об'єднаємо фактори першої та другої груп (1-7), то умова (1.10) не виконується ($1,31 > 0,61$), що свідчить про відмінність першої та другої груп.

За результатами розрахунків визначено, що суттєвими технологічними факторами, що забезпечують якість ентомологічної продукції, є якість корму (сума рангів дорівнює 4), умови розведення комах (сума рангів дорівнює 8) та якість стартової популяції (сума рангів дорівнює 12). Дійсно, за результатами аналізу наукових досліджень, корм є одним з важливіших регулювальних та модифікувальних агентів, фактором динаміки чисельності комах, має значний вплив на тривалість розвитку, плодючість комах [5, 44]. Так, кормовий субстрат (поживне середовище) для фітофага млинової вогнівки, яка є комахою-хазяїном ентомофага бракон, має значний вплив на розвиток її гусениць [5]. При розведенні млинової вогнівки на меленій кукурудзі значно скорочується термін розвитку від стадії яйця до стадії гусениці старшого віку (27 днів) та від стадії яйця до стадії імаго (35 днів). Середня маса гусениць старшого віку, вигодованих меленою кукурудзою, склала 28,9 мг, а меленим

ячменем - 27,9 мг [5]. Вид зерна (пшениця, ячмінь, жито, кукурудза) впливає на такі біологічні показники якості фітофага зернової молі (комахи-хазяїна трихограми), як процент зараження зерна, тривалість розвитку, плодючість самок, тривалість життя імаго, розмір яєць [59]. Так, при розведенні зернової молі на ячмені тривалість розвитку зернової молі буде найменшою, а процент зараження зерна – найбільшим у порівнянні з розведенням на кукурудзі та пшениці [59]. При розведенні зернової молі на кукурудзі плодючість самок та розмір яєць будуть найбільшими у порівнянні з розведенням на ячмені та пшениці [59]. Температура та вологість мають як прямий вплив на чисельність популяції, її життєздатність, так і непрямий – перш за все через корм [44]. Якість стартової популяції має важливе значення під час виробництва для оздоровлення промислових культур [2].

Для отримання кількісної оцінки часток впливу кожного з суттєвих технологічних факторів було використано PEST-аналіз, зокрема, його технологічну складову (табл. 1.3). За результатами аналізу розроблено діаграму значущості суттєвих технологічних факторів (рис. 1.11) [57], яка свідчить про основний вплив умов розведення ентомокультур (44 %) і майже однаковий вплив якості корму і стартової популяції (відповідно 26 % та 30 %).

Таблиця 1.3

Кількісна оцінка часток впливу кожного з суттєвих технологічних факторів забезпечення якості ентомологічної продукції

Опис фактора	Вплив фактора	Експертна оцінка	Середня оцінка	Значущість
Якість корму	3	2; 2; 3	2,3	$(3/9)*2,3=0,77$
Умови розведення ентомокультур	3	4; 4; 4	4	$(3/9)*4=1,3$
Якість стартової популяції	3	3; 1; 4	2,7	$(3/9)*2,7=0,9$

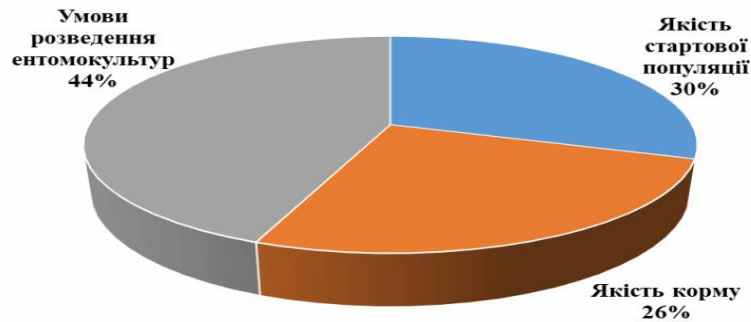


Рис. 1.11. Діаграма значущості суттєвих технологічних факторів

За результатами аналізу наукових досліджень [13, 16, 40, 44, 52, 60], визначено фактори, що призводять до отримання некондиційної ентомологічної продукції: 1 – тривале культивування потомства вихідної популяції; 2 – невідповідні кліматичні умови в зоні розведення комах (температура та відносна вологість повітря); 3 – низька якість стартової популяції (маточної культури); 4 – підвищена щільність популяції; 5 – невідповідна якість корму (поживного середовища); 6 – порушення технологічного циклу та збурення (припинення електропостачання, часткова втрата працездатності обладнання) [61].

В табл. 1.4 із використанням PEST-аналізу [57] наведено результати розрахунку значущості факторів, що призводять до отримання некондиційної ентомологічної продукції [61].

Таблиця 1.4

Розрахунок значущості факторів, що призводять до отримання некондиційної ентомологічної продукції [61]

Номер фактора	Вплив фактора	Експертна оцінка	Середня оцінка	Значущість
1	3	5; 4; 4	4,3	$(3/18)*4,3=0,72$
2	3	3; 4; 4	3,67	$(3/18)*3,67=0,61$
3	3	3; 3; 4	3,33	$(3/18)*3,33=0,56$
4	3	3; 2; 4	3	$(3/18)*3=0,5$
5	3	3; 2; 3	2,67	$(3/18)*2,67=0,45$
6	3	3; 2; 2	2,3	$(3/18)*2,3=0,38$

Отримано кількісну оцінку значущості факторів, що призводять до отримання некондиційної ентомологічної продукції, у вигляді діаграми (рис. 1.12), яка свідчить про основний вплив тривалого вирощування потомства вихідної популяції (22 %) та кліматичних умов (19 %).

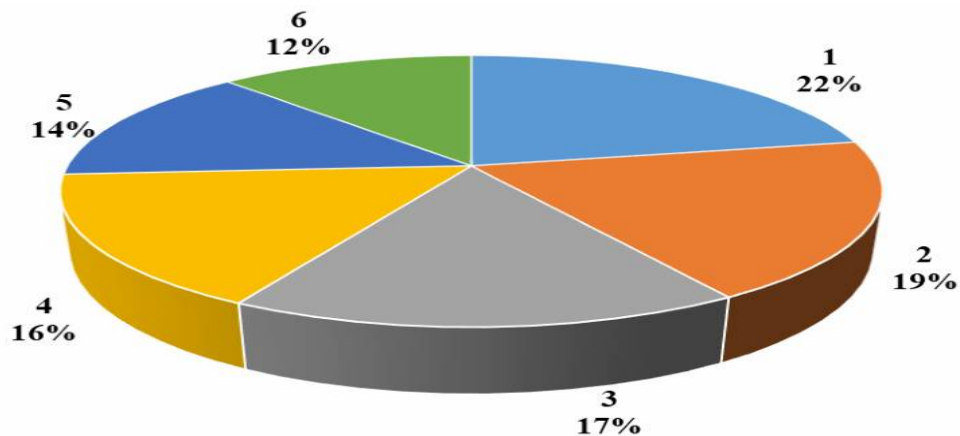


Рис. 1.12. Діаграма значущості факторів, що призводять до отримання некондиційної ентомологічної продукції [61]

Низька якість маточної культури, підвищена щільність популяції та якість корму впливають майже однаково (відповідно 17 %, 16 % та 14 %) [61].

Розроблено методику оцінювання процесів ентомологічних виробництв, яка розглядає виробництво з позиції системного та процесного підходів. Критеріями оцінки якості процесів ентомологічних виробництв є: технологічність (отримання товарної ентомологічної продукції заданої якості з меншими витратами шляхом впровадження перспективних технологій); контрольованість, спостережуваність (можливість внесення корекції на різних технологічних операціях); керованість (керування виходом товарної ентомопродукції, абіотичними факторами середовища мешкання ентомокультур на різних стадіях виробничого процесу); точність (близькість до номінальних значень контрольованих показників якості процесів) [62]; стабільність (здатність підтримувати значення показників якості в заданих процесах протягом часу) [62]; ступінь безперервності (співвідношення тривалості технологічної частини виробничого циклу та тривалості повного виробничого циклу); коефіцієнт завантаження обладнання (визначається

відношенням розрахункової кількості обладнання до нормативної); коефіцієнт інтенсивного використання обладнання (співвідношення фактичного напрацювання обладнанням продукції за одиницю часу до технічно обґрунтованого напрацювання продукції за одиницю часу) [63]; рівень автоматизації (співвідношення кількості автоматизованого обладнання до загальної кількості обладнання).

Поліпшення якості процесів зводиться до: зменшення собівартості, підвищення результативності, ефективності; уникнення факторів, що призводять до отримання неякісної продукції; зростання продуктивності. Основною метою поліпшення процесів є зменшення варіабельності характеристик якості та усунення або зменшення причин, що призвели до цього [51].

Процеси відтворення ентомокультур можуть бути представленими системою [64], входами якої є: B – технологічні входи (сировина, матеріали, маточна культура комах, електроенергія, площа для розміщення обладнання); R – засоби праці (машини, агрегати ентомологічного виробництва – стелажі, віварії, бокси, пульти керування, кліматичні установки, шафи-сепаратори тощо); S – жива праця. Виходом A виробничого процесу є товарна ентомологічна продукція. Виробнича функція при цьому є :

$$A = F(B, R, S). \quad (1.11)$$

Однією з найсучасніших моделей управління якістю продукції є її модель DMAIC, згідно з якою у ході управління якістю передбачається реалізація таких етапів: Define (визначення), Measure (вимірювання), Analyze (аналіз), Improve (поліпшення), Control (управління) [65, 66]. На базі моделі DMAIC розроблено методологію керування якістю ентомологічної продукції, яка містить [66]: визначення показників якості продукції при різних значеннях факторів впливу за результатами експериментальних досліджень, вимог до якості товарної продукції у відповідності з нормативною документацією (технологічним регламентом або технічними умовами); вимірювання частки дефектної продукції при контролюванні якості продукції за кількісною ознакою за допомогою середнього значення та середньоквадратичного

відхилення контрольованих показників якості; аналіз причин, що призвели до невідповідності продукції нормативним вимогам; поліпшення інформаційного забезпечення щодо якості продукції за рахунок збільшення кількості інформації про її властивості; визначення режимів функціонування (параметрів) технологічного процесу, при яких значення контрольованих показників якості досягають оптимального значення.

Ефективність керування якістю характеризується ступенем наближеності контрольованих показників якості до нормативних значень. Розроблено причинно-наслідкову діаграму (рис. 1.13) аналізу факторів, що діють на процес отримання ентомологічної продукції гарантованої якості [28]. Діаграма дає змогу технологу підвищити інформованість щодо якості та допомогти встановити причини некондиційної продукції. В табл. 1.5 наведено класифікацію факторів.

Класифікація факторів, що діють на процес отримання ентомопродукції гарантованої якості [28]

Комплексний фактор	Груповий фактор	Одиничний фактор
1 Персонал	1.1 Кваліфікаційні вимоги	1.1.1 Стаж роботи
		1.1.2 Рівень освіти
2 Еталонна база	2.1 Нормативна документація	2.1.1 Стандарти
		2.1.2 Технічні умови
		2.1.3 Технологічні регламенти
3 Точність технологічного процесу ентомологічного виробництва	3.1 Основні характеристики	3.1.1 Порушення технологічного процесу
		3.1.2 Втрата працездатності обладнання
		3.1.3 Правильність визначення контрольованих технологічних показників стану ентомокультур постадійно в умовах техноценозу
		3.1.4 Похибка розрахунку технологічних показників
4 Методи оцінки якості ентомопродукції	4.1 Характеристика методів	4.1.1 Біофізичні
		4.1.2 Фізіологічні
		4.1.3 Біохімічні
		4.1.4 Структурно-параметричний
5 Фактори впливу	5.1 Біотичні	5.1.1 Якість поживного середовища
		5.1.2 Якість маточної культури
		5.1.3 Щільність утримання ентомокультур
		5.1.4 Вид комахи-хазяїна
		5.1.5 Співвідношення паразит-хазяїн
	5.2 Технологічні	5.2.1 Обробка поживного середовища
		5.2.2 Тривалість розведення на одному хазяїні
		5.2.3 Умови зберігання комахи-паразита (хижака)
		5.2.4 Орієнтування садка з імаго
	5.3 Технічні	5.3.1 Площа для розміщення обладнання
		5.3.2 Якість підготовки робочих приміщень
		5.3.3 Стан обладнання
	5.4 Матеріальні	5.4.1 Електроенергія
		5.4.2 Кількість сировини
		5.4.3 Кількість матеріалів
6 Параметри середовища розвитку ентомокультур	6.1 Контролювання параметрів	6.1.1 Температура повітря
		6.1.2 Відносна вологість повітря
		6.1.3 Освітленість
		6.1.4 Фотоперіод
		6.1.5 Температура поживного середовища

1.3. Енергетична характеристика виробництва ентомофагів

Функціонування сучасного виробництва ентомофагів відбувається за допомогою технічних засобів для розвитку, зберігання ентомокультур та утилізації відходів, до яких відносяться обладнання для:

- підготування поживного середовища (кондиціонер зерна [67], кормоподрібнювач [68]);
- забезпечення необхідних абіотичних параметрів постадійного розвитку та зберігання ентомокультур (вимірники-регулятори, датчики температури та відносної вологості повітря, нагрівники, зволожувачі);
- проведення фізичного моделювання технологій напрацювання ентомофагів (кліматичні камери) [69];
- збирання комах на різних стадіях онтогенезу (пристрій для збирання метеликів в сажки за типом екстаустера з електричним приводом; марміт для відгонки гусениць з поживного середовища з використанням нагрівного елементу; шафа витяжна для фасування імаго, очищення яєць від пилу, розділення яєць на фракції за масою) [68, 70].

В структурі витрат електроенергії у виробництві ентомофага бракон (рис. 1.14) значну кількість енерговитрат складає підтримка заданої температури повітря в зоні вирощування комах. Фахівцями визначено, що оптимальною при вирощуванні млинової вогнівки є температура 26 ± 1 °C [36]. При цьому експериментально встановлено, що для її підтримки за допомогою традиційної системи автоматичного керування на основі позиційного алгоритму у боксі об'ємом 10 м^3 залежно від природних збурень витрачається до 12 кВт·год/добу. Для мінімізації сумарних енергетичних витрат реалізація керуючих впливів на виконавчі пристрої систем керування повинна враховувати дії збурень та станів біологічної складової. Зазначене можливо шляхом використання інтелектуальних систем керування.

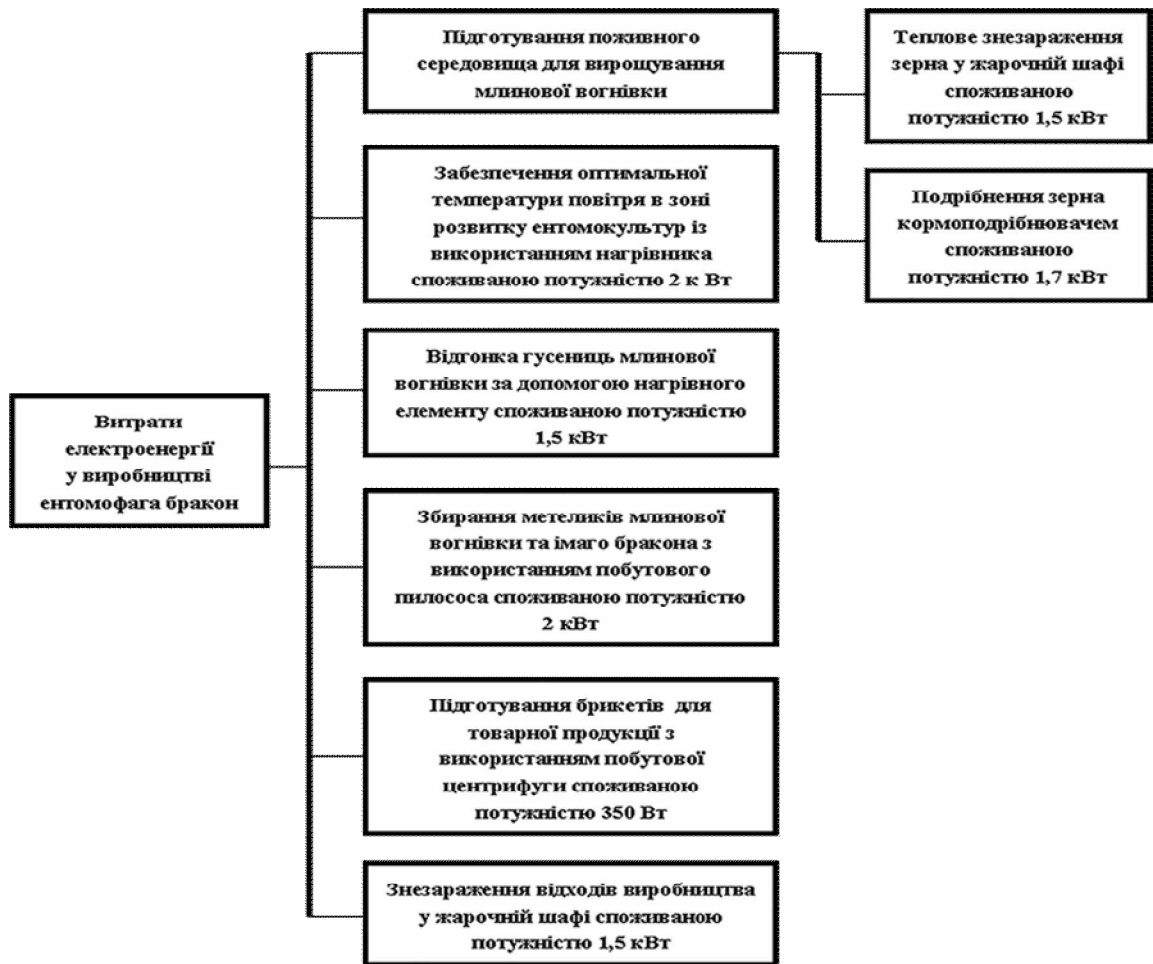


Рис. 1.14. Структура витрат електроенергії у виробництві ентомофага бракон

Фахівцями Інженерно-технологічного інституту «Біотехніка» НААН України розроблено комплект обладнання модульний для виробництва ентомологічного препарату бракон КОМ-Б19, який пройшов державні приймальні випробування в УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, за результатами яких встановлено, що питомі витрати електроенергії становлять 1985 кВт·год/цикл (цикл отримання товарної продукції становить 40 діб) [68]. Продуктивність модульного комплексу за один цикл – 760 тис. лялечок бракона, за вегетативний сезон – 2 млн. 280 тис. лялечок, що забезпечить захист 1140 га сільгоспкультур від шкідників [68].

На основі проведеного аналізу можна стверджувати про енергонасиченість такого виробництва.

1.4. Висновки до розділу 1

Проведено формалізацію процесів виробництва ентомофагів, зокрема, розроблено:

- структуру процесів виробництва ентомофагів;
- модель виробництва ентомофагів у вигляді орієнтованого графа;
- технологічні схеми виробництва ентомофага бракон та його хазяїна млинової вогнівки;
- структурно-параметричні комплекси оцінки якості ентомофага бракон та його хазяїна млинової вогнівки і ентомофага трихограма;
- структуру витрат електроенергії у виробництві ентомофага бракон.

Визначено: основні підходи до забезпечення якості ентомологічної продукції (системний, експертний, стратегічного планування); суттєві технологічні фактори, що забезпечують якість ентомологічної продукції, та фактори, які призводять до отримання некондиційної продукції; проведено кількісну оцінку значущості факторів.

Установлено, що виробництво ентомофагів:

- є складним біотехнічним об'єктом та у ньому присутня велика кількість слабо-структурованих і значних за обсягами інформаційних потоків; енергонасиченим (значну кількість енерговитрат складає підтримка заданої температури повітря в зоні вирощування ентомокультур, яка суттєво впливає на їх якість);
- потребує розробки інтелектуальної системи керування, що враховує дії збурень та стани біологічної складової.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ЕНТОМОФАГІВ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1. Параметрична характеристика виробництва ентомофагів

Виробництво ентомофагів слід розглядати як техноценоз, який з одного боку являє собою комплекс технічних засобів, що забезпечують мікрокліматичні й інші умови, потрібні для стабільного існування та відтворення ентомокультури [71], а з другого – замкнену біотехнічну екосистему [44], яка містить технологічні процеси та апарати, пов'язані матеріальними й енергетичними потоками, і характеризується складною багаторівневою структурою взаємовпливу процесів різної природи (фізичних, біологічних тощо) [72].

Техноценоз – обмежена у просторі та часі взаємозв'язана сукупність неподільних технічних виробів-особин, з'єднаних слабкими зв'язками [73]. В умовах техноценозу наявні [11]: обмежений набір генотипів; зменшена дія природного відбору; обмеженість діапазону дії абіотичних факторів (культивування ентомокультур здійснюється в зоні оптимуму); підвищена густина популяції через обмеженість площі.

На рис. 2.1 наведено описову модель техноценозу [3], де вхідними

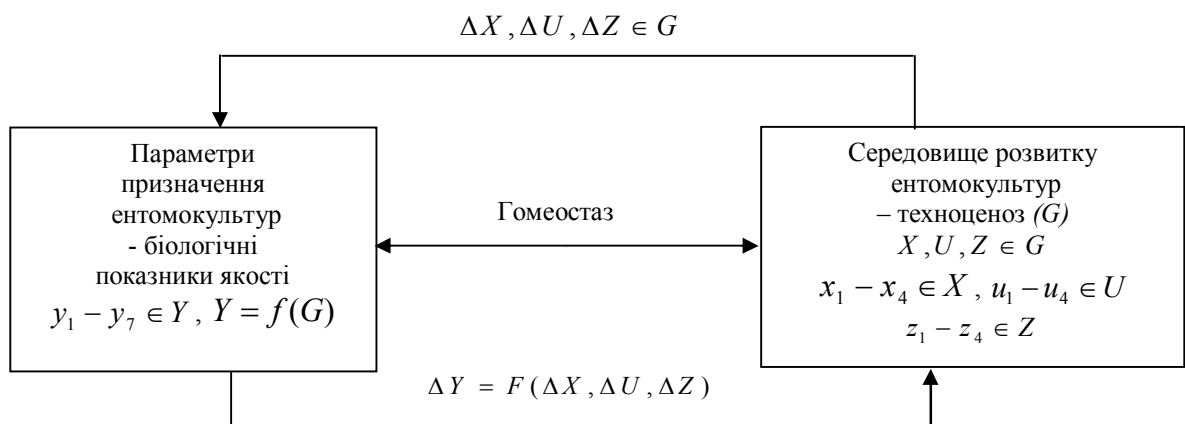


Рис. 2.1. Описова модель техноценозу [3]

параметрами X є: x_1 – кількість сировини, x_2 – кількість матеріалів, x_3 – площа для розташування обладнання (стелажі, віварії, бокси, інформаційно-керуючі комплекси, кліматичні установки тощо), x_4 – електроенергія; параметрами призначення Y є: y_1 – пошукова активність, y_2 – маса гусениць, y_3 – процент

паразитовання яєць хазяїна; y_4 – відродження імаго, y_5 – статевий індекс (кількість самок), y_6 – плодючість самок, y_7 – кількість деформованих особин; параметрами керування U є: u_1 – кількість корму, u_2 – кліматичні умови, u_3 – тривалість розведення потомства вихідної популяції, u_4 – густина популяції; некерованими параметрами Z є: z_1 – втрата працездатності обладнання, z_2 – зношуваність обладнання, z_3 – зміна напруги електромережі, z_4 – температура зовнішнього середовища.

Основою стійкого функціонування біологічних систем є підтримання гомеостазу на усіх рівнях організації живої матерії [11]. В біології ідея про існування сталості внутрішнього середовища організму (французький вчений К. Бернар, друга половина 19 ст.) передувала появі терміну гомеостазу (американський біолог У. Кенон, 1929) [74]. Найбільш інтенсивне розроблення термін «гомеостаз» отримав у результаті застосування кібернетичного підходу до вивчення складних багаторівневих біосистем (організм, популяція, біоценоз). Саме гомеостаз як сталість внутрішнього середовища разом зі сталістю структури і механізмів управління є гарантом виконання життєвих процесів у всій багатоманітності зв'язків і процесів [74].

Використовуючи коефіцієнт стабільності гомеостазу як показник сталості ентомофагів до змінення параметрів техноценозу, можна прогнозувати якість ентомокультур за результатами експериментальних досліджень [3, 75, 76]. Розраховується (у процентах) коефіцієнт стабільності гомеостазу як відношення кількості показників, що відповідають нормативу, до загальної кількості досліджених показників [76]. Так, на рис. 2.2 наведено діаграму значущості коефіцієнтів стабільності гомеостазу за такими показниками якості трихограми, як відродження імаго, кількість деформованих особин, кількість самок, плодючість в діапазоні температури в зоні розвитку від 15°C до 27°C за відносною вологістю повітря $80\pm 5\%$; аналіз діаграми свідчить про те, що кількість самок є найбільш сталим параметром у разі змінення температури в зоні розвитку трихограми [3].

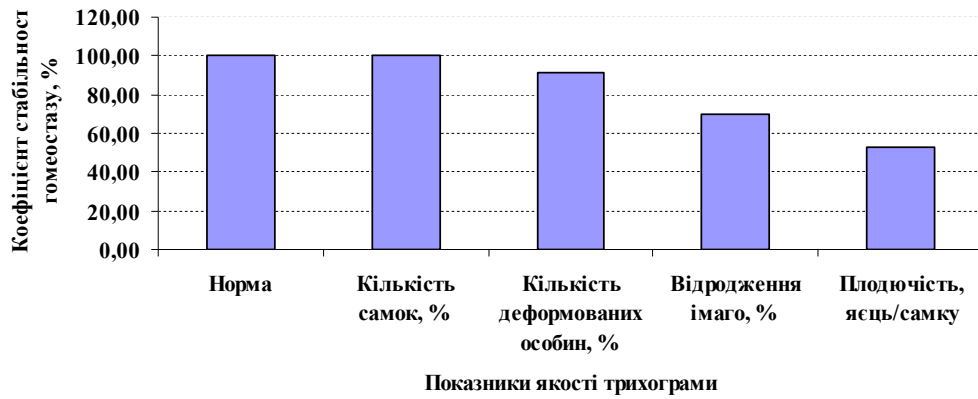


Рис. 2.2. Діаграма значущості коефіцієнтів стабільності гомеостазу для трихограми [3]

2.2. Визначення динамічних властивостей боксу з комахами як об'єкта керування

Розроблено структурну модель боксу з комахами як об'єкта керування у процесі лабораторного виробництва млинової вогнівки, яку наведено на рис. 2.3, де $Q_{ог}$ – теплота, що виноситься з боксу через огорожувальні конструкції (стіни та двері), Вт. Знаходиться бокс у приміщенні, в якому система опалення відсутня.

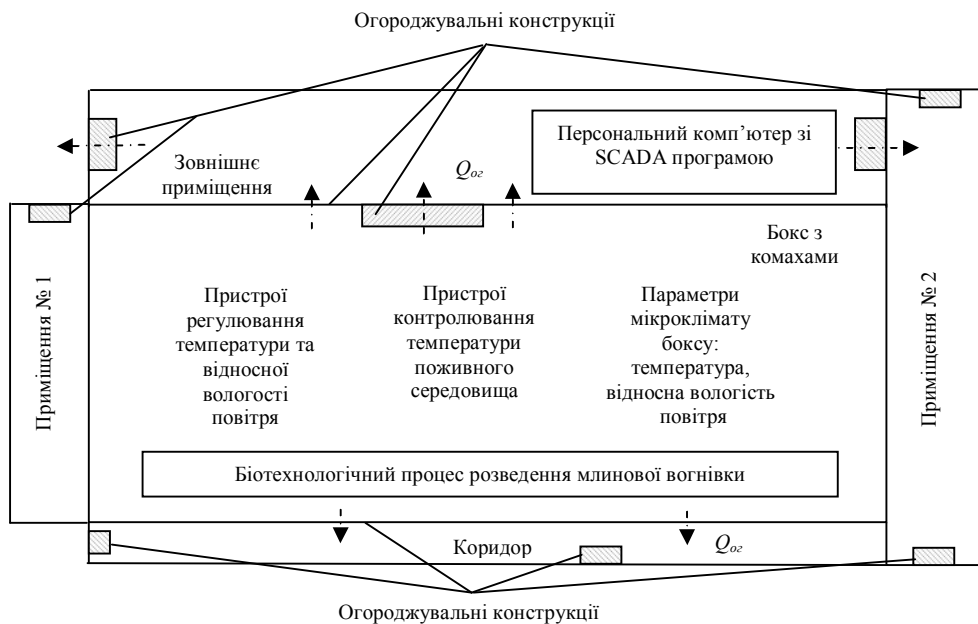


Рис. 2.3. Структурна модель об'єкта керування – боксу з комахами [77]

Розроблено параметричну модель боксу з комахами (рис. 2.4).

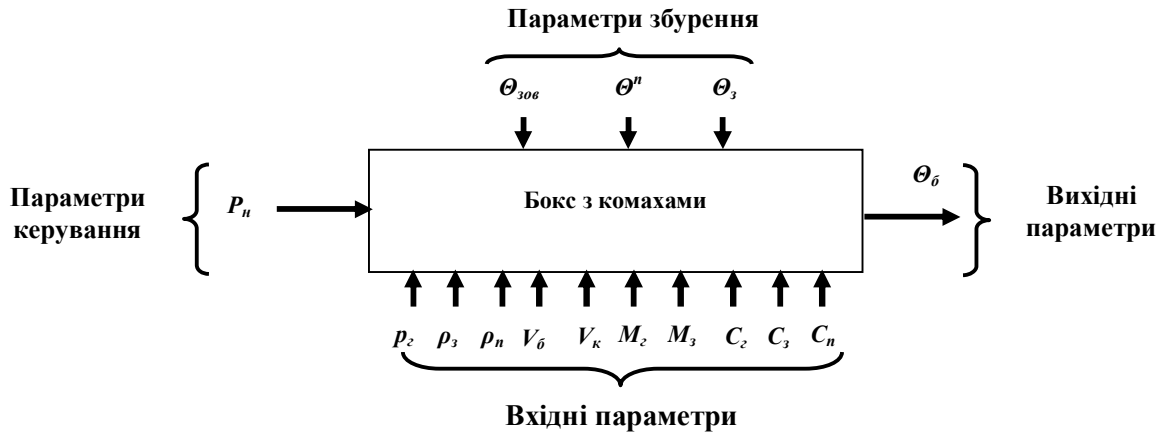


Рис. 2.4. Параметрична модель боксу з комахами [77]

P_n – потужність нагрівника, Вт

$\theta_{зов}$ – температура зовнішнього приміщення, °C

θ^n – температура навколишнього середовища, °C

$\theta_з$ – температура зерна, °C

$\rho_з$ – густина гусениць, мг/м³

$\rho_з$ – густина зерна, кг/м³

ρ_n – густина повітря, кг/м³

$V_б$ – об'єм повітря боксу, м³

V_k – об'єм кювети, м³

$M_г$ – середня маса гусениць, мг

$M_з$ – маса зерна, кг

$C_г$ – питома теплоємність гусениць, кДж/кг·°C

$C_з$ – питома теплоємність зерна, кДж/кг·°C

C_n – питома теплоємність повітря, кДж/кг·°C

Формалізовано тепловий режим боксу з комахами. Тепло від освітлення (люмінесцентних ламп) та відносну вологість боксу не враховуємо. В узагальненому вигляді рівняння теплового балансу боксу має вигляд [78]:

$$(\rho_n \cdot V_б \cdot C_n + \rho_з \cdot V_k \cdot C_з + \rho_г \cdot V_k \cdot C_г) \cdot \frac{d\theta_б}{dt} = Q_n(t) - Q_{оз}(t), \quad (2.1)$$

де Q_n – теплота нагрівника, Вт;

Кількість теплоти, що виноситься з боксу через огорожувальні конструкції, розраховується за виразом:

$$Q_{оз}(t) = K_б \cdot (\theta_б(t) - \theta^n(t)), \quad (2.2)$$

$$K_б = \frac{S_{cm1}}{R_{cm1}} + \frac{S_{cm2}}{R_{cm2}} + \frac{S_{cm3}}{R_{cm3}} + \frac{S_{дв}}{R_{дв}} + \frac{S_{cm}}{R_{cm}} + \frac{S_{нідл}}{R_{нідл}}, \quad (2.3)$$

$$R_{cm1} = \frac{L_{cm1}}{\lambda_{cm1}} = \frac{L_{насм}}{\lambda_{насм}} + \frac{L_{дер}}{\lambda_{дер}} + \frac{L_{нов}}{\lambda_{нов}}, \quad (2.4)$$

$$R_{cm2} = R_{cm3} = \frac{L_{цез}}{\lambda_{цез}}, \quad (2.5)$$

$$R_{дв} = \frac{L_{дв}}{\lambda_{дер}}, \quad (2.6)$$

$$R_{cm} = \frac{L_{cm}}{\lambda_{cm}}, \quad (2.7)$$

$$R_{nidl} = \frac{L_{nidl}}{\lambda_{nidl}}, \quad (2.8)$$

де K_{θ} – коефіцієнт теплоізоляції боксу, Вт/°С;

$S_{cm1}, S_{cm2}, S_{cm3}, S_{\partial\theta}, S_{cm}, S_{nidl}$ – відповідно площі: стіни, що межує із зовнішнім приміщенням; стіни, що межує з коридором; стіни, що межує із приміщенням № 2; двері; стелі та підлоги, м²;

$R_{cm1}, R_{cm2}, R_{cm3}, R_{\partial\theta}, R_{cm}, R_{nidl}$ – відповідно термічний опір стін, двері, стелі та підлоги, м²·°С/Вт;

$L_{пласт}, L_{дер}, L_{пов}$ – товщина пластика, дерева, повітряного зазору, м;

$L_{cm1}, L_{cm2}, L_{cm3}, L_{\partial\theta}, L_{cm}, L_{nidl}$ – товщина стін, двері, стелі та підлоги, м;

$\lambda_{cm1}, \lambda_{cm2}, \lambda_{cm3}, \lambda_{\partial\theta}, \lambda_{cm}, \lambda_{nidl}$ – відповідна теплопровідність стін, двері, стелі та підлоги, Вт/м·°С;

$\lambda_{пласт} = 0,06$ Вт/м·°С (теплопровідність пластика);

$\lambda_{дер} = 0,2$ Вт/м·°С (теплопровідність дерева);

$\lambda_{пов} = 0,03$ Вт/м·°С (теплопровідність повітря);

$\lambda_{цег} = 0,7$ Вт/м·°С (теплопровідність цегли);

$\lambda_{cm} = \lambda_{nidl} = 1,7$ Вт/м·°С (теплопровідність залізобетону).

Теплота від боксу, з одного боку, передається кюветам (виготовленим з пластика) із зерном, а від зерна - до комах, які є пойкилотермними організмами, їх температура є непостійною та залежить від температури навколишнього середовища. В будь-якому організмі продукується ендогенне тепло як результат усіх метаболічних реакцій [79]. За даними І.Д. Стрельнікова, температура тіла комах, що перебувають у спокої і не піддаються опроміненню сонцем, приблизно дорівнює температурі навколишнього середовища [80].

Отже рівняння теплового балансу має вигляд [77]:

$$\left(\frac{\rho_n \cdot V_{\bar{o}} \cdot C_n + \rho_3 \cdot V_{\kappa} \cdot C_3 + \rho_z \cdot V_{\kappa} \cdot C_z}{K_{\bar{o}}}\right) \cdot \frac{d\theta_{\bar{o}}}{dt} + \theta_{\bar{o}}(t) = \frac{1}{K_{\bar{o}}} \cdot Q_n(t) + \theta^n(t). \quad (2.9)$$

Вираз (2.9) – диференціальне рівняння першого порядку, котре характеризує залежність температури боксу від керуючого (теплоти, що виділяється нагрівником) та збурюючого (температури навколишнього середовища) впливів.

Запишемо рівняння (2.9) в операторній формі, для чого позначимо постійну часу T_q :

$$\frac{\rho_n \cdot V_{\bar{o}} \cdot C_n + \rho_3 \cdot V_{\kappa} \cdot C_3 + \rho_z \cdot V_{\kappa} \cdot C_z}{K_{\bar{o}}} = T_q, \quad (2.10)$$

$$(T_q p + 1) \cdot \theta_{\bar{o}}(p) = k_1 \cdot Q_n(p) + \theta^n(t), \quad (2.11)$$

де $k_1 = \frac{1}{K_{\bar{o}}}$, °C/Вт - коефіцієнт підсилення об'єкта, що досліджується.

Процес змінювання температури боксу під впливом теплоти нагрівника представлено передатною функцією у вигляді аперіодичної (інерційної) ланки першого порядку:

$$W_1(p) = \frac{\theta_{\bar{o}}(p)}{Q_n(p)} = \frac{k_1}{T_q p + 1}. \quad (2.12)$$

За результатами досліджень розраховано $K_{\bar{o}}$, $T_q^{розр}$, $k_1^{розр}$. Так, $\rho_n = 1,165$ кг/м³ (при 30 °C); $V_{\bar{o}} = 10$ м³; $C_n = 1,005$ кДж/кг·К; $V_{\kappa} = 0,01$ м³; $M_3 = 12$ кг (в 8-ми кюветах); $C_3 = 1,7$ кДж/кг·К [81]; $M_z = 0,9979$ кг (в 8-ми кюветах) із розрахунку того, що середня кількість гусениць в одній кюветі складає 7316 шт., середня маса однієї гусениці – 17,05 мг; $C_z = 3,8$ кДж/кг·°C (теплоємність гемолімфи близька до теплоємності води і складає 3,77-3,89 кДж/(кг·°C) [82]; $S_{cm1} = 4,37$ м²; $S_{cm2} = 5,61$ м²; $S_{cm3} = 3,42$ м²; $S_{\bar{o}6} = 1,24$ м²; $S_{cm} = S_{нидл} = 5,31$ м²; $L_{наст} = 0,016$ м; $L_{дер} = 0,09$ м; $L_{нов} = 0,006$ м; $L_{cm3} = L_{цез} = 0,15$ м; $L_{\bar{o}6} = 0,04$ м.

$$K_{\bar{o}} = 4,75 + 26,18 + 6,2 + 15,96 + 2 \cdot 60,18 = 173,45 \text{ Вт/}^{\circ}\text{C}, \quad (2.13)$$

$$T_q^{розр} = \frac{11708 + 81600 + 15163}{173,45} = 625 \text{ с}, \quad (2.14)$$

$$k_1^{розр} = \frac{1}{173,45} = 0,006 \text{ } ^\circ\text{C/Вт}. \quad (2.15)$$

Бокс із комахами є об'єктом із запізнюванням, величина котрого визначається часом проходження сигналу від місця розташування нагрівника до датчика температури (1,8 м); при цьому нагрівник масляного типу «ТЕРМОЛЮКС», що використовувався, є інерційним об'єктом. За результатами аналізу експериментально отриманої перехідної характеристики процесу змінювання температури боксу при включенні нагрівника потужністю 1000 Вт при температурі повітря навколишнього середовища $10 \text{ } ^\circ\text{C}$ та зовнішнього приміщення $18 \text{ } ^\circ\text{C}$ було визначено, що час чистого запізнювання τ складає 180 с. Початковими умовами були температура боксу $20,6 \text{ } ^\circ\text{C}$ при $t_o = 0$ с. Обчислення $T_q^{експ}$, $k^{експ}$ здійснювали за рекомендаціями [83]:

$$k_1^{експ} = \frac{27 - 20,6}{1000} = 0,0064 \text{ } ^\circ\text{C/Вт}, \quad (2.16)$$

$$T_q^{експ} = 1,25 \cdot (t_{0,7} - t_{0,33}) = 1,25 \cdot (1500 - 880) = 775 \text{ с}, \quad (2.17)$$

$$W_1(p)^{експ} = \frac{\theta_o(p)}{Q_n(p)} = \frac{0,0064}{775p + 1} \cdot e^{-180p}, \quad (2.18)$$

$$W_1(p)^{розр} = \frac{\theta_o(p)}{Q_n(p)} = \frac{0,006}{625p + 1} \cdot e^{-180p}, \quad (2.19)$$

$$\theta_o(t)^{розр} = 20,6 + 6 \cdot (1 - e^{-\frac{t-180}{625}}). \quad (2.20)$$

Формалізовано тепловий баланс боксу у вигляді диференційного рівняння першого порядку. Розроблено математичну модель процесу змінювання температури боксу з комахами від керуючого впливу – теплоти нагрівника – у вигляді аперіодичної ланки з постійною часу 625 с, коефіцієнтом підсилення $0,006 \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$ та ланки чистого запізнювання із запізненням у 180 с. Середня помилка апроксимації між експериментальною та аналітичною перехідними характеристиками розраховується за формулою (2.21) і становить 3,74 % (не перевищує 8-10 %) [84]:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{\theta_o(t)^{експ} - \theta_o(t)^{розр}}{\theta_o(t)^{експ}} \right| \cdot 100\%, \quad (2.21)$$

де n – кількість вимірювань;

$\theta_{\sigma}(t)^{експ}$ – змінювання температури боксу за експериментом;

$\theta_{\sigma}(t)^{розн}$ – розрахункове змінювання температури боксу.

На рис. 2.5 наведено експериментальну та аналітичну перехідні характеристики.

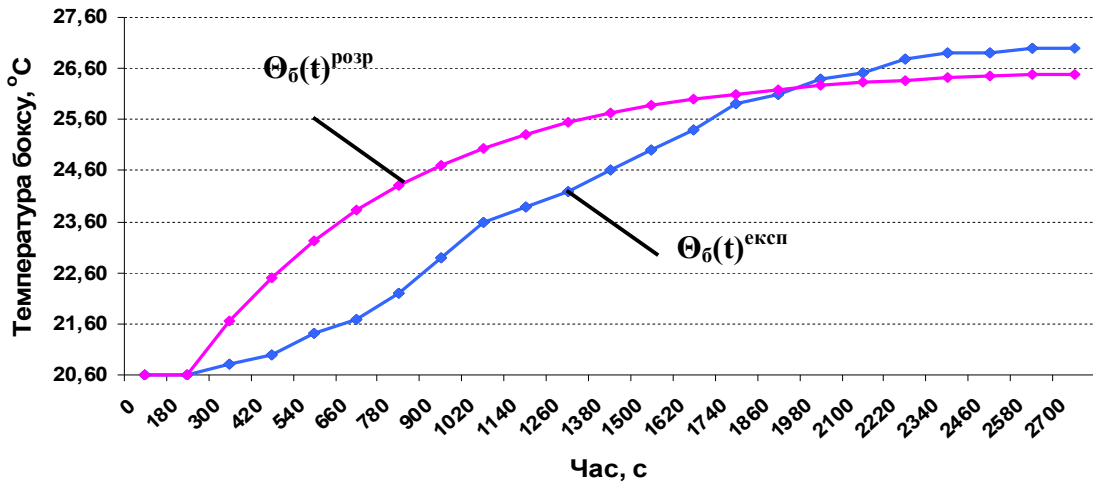
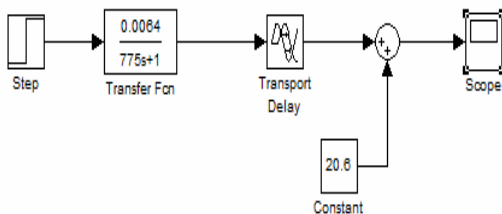
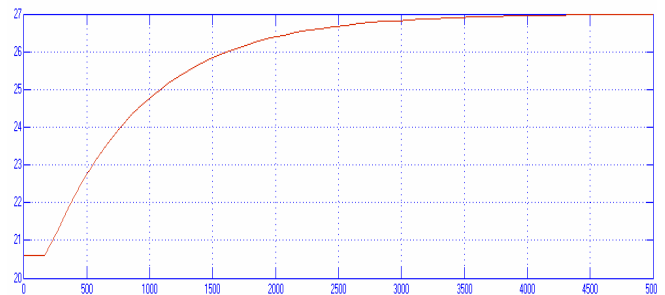


Рис. 2.5. Експериментальна та аналітична перехідні характеристики змінювання температури боксу [77]

В Simulink/MATLAB змодельовано процеси змінювання температури боксу з комахами від керуючого впливу – теплоти нагрівника (рис. 2.6 а, б та рис. 2.7 а, б).

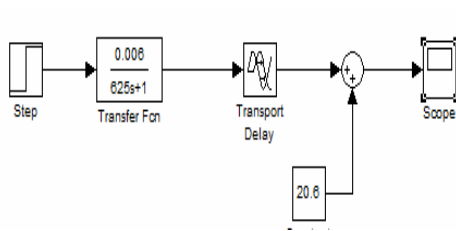


а)

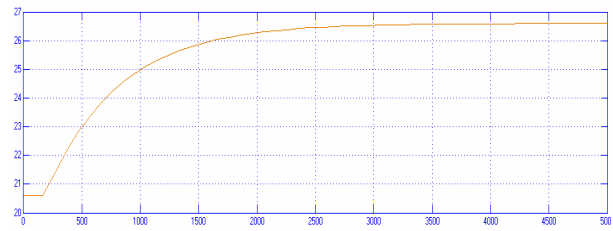


б)

Рис. 2.6. Моделювання змінювання температури боксу при вмиканні нагрівника потужністю 1000 Вт за експериментом: а) структурна схема моделі; б) експериментальна перехідна характеристика



а)



б)

Рис. 2.7. Моделювання змінювання температури боксу при вмиканні нагрівника потужністю 1000 Вт за розрахунками: а) структурна схема моделі; б) аналітична перехідна характеристика

Як видно з перехідних характеристик, час досягнення сталого значення температури повітря (26,5–27) °С становить близько 3000 с.

2.3. Експериментальні дослідження процесів лабораторного виробництва млинової вогнівки

Проведено експериментальні дослідження процесів лабораторного виробництва млинової вогнівки у боксі (рис. 2.3) об'ємом 10 м³ (2,95 м x 1,8 м x 1,9 м) [77, 85]. В боксі знаходилось 50 кювет, в кожній з яких – по одному кілограму поживного середовища (меленого зерна ячменю), заселеного яйцями млинової вогнівки (200 мг яєць / 1 кг зерна). Керування мікрокліматом боксу та якістю ентомологічної продукції здійснювалось за допомогою розробленої автоматизованої підсистеми зі SCADA програмою OWEN PROCESS MANAGER (OPM) v.1.2 (рис. 2.8) [60, 85, 86]. При цьому був використаний позиційний алгоритм регулювання температурою та відносною вологістю повітря та нагрівник масляного типу. При керуванні якістю продукції безпосередніми об'єктами підпорядкування є технологічні процеси виробництва.

Процеси збирання, передавання, обробки інформації, виконання команд керування виконуються в режимі реального часу за допомогою SCADA

= 2,3 °C) при уставці 26 °C та зоні нечутливості регулятора $\pm 0,5$ °C, значення вологості – від 59,3 % до 63 % ($\Delta \phi = 3,7$ %) при уставці 60 % та зоні нечутливості регулятора $\pm 0,5$ % (рис. 2.9, рис. 2.10).

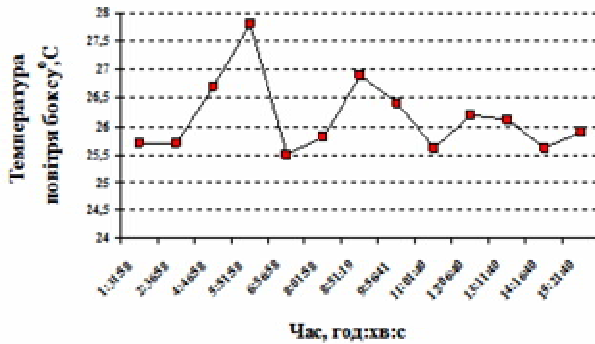


Рис. 2.9. Динаміка підтримання температури повітря в боксі [85]

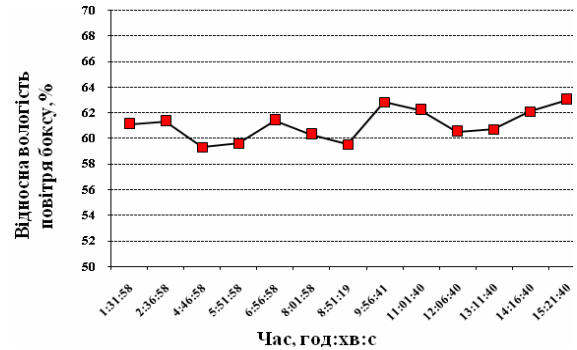


Рис. 2.10. Динаміка підтримання відносної вологості повітря в боксі [85]

На рис. 2.11 наведено динаміку змінювання середньої температури боксу за добу впродовж розвитку млинової вогнівки від яйця до гусениць старшого віку.

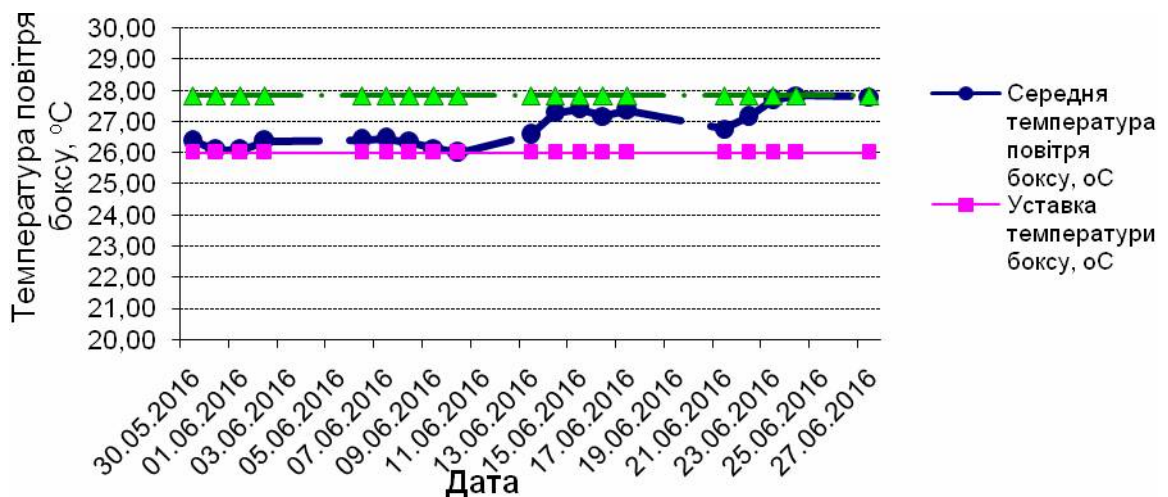


Рис. 2.11. Динаміка змінювання середньої температури боксу впродовж розвитку млинової вогнівки від яйця до гусениці

Коефіцієнт кореляції між середньою температурою повітря боксу $\theta_{\text{б}}$ і середньою температурою зовнішнього приміщення $\theta_{\text{зов}}$ становить 0,75 (за шкалою Чеддока [88, 89] зв'язок є сильним). Діаграма розкиду відповідно наведена на рис. 2.12.



Рис. 2.12. Діаграма розкиду середньої температури повітря боксу і температури повітря зовнішнього приміщення

Розрахунок коефіцієнту кореляції здійснювався за допомогою функції КОРРЕЛ в MS-Excel:

$$\rho_{\theta_{\text{б}}, \theta_{\text{зов}}} = \frac{\text{Cov}(\theta_{\text{б}}, \theta_{\text{зов}})}{\delta_{\theta_{\text{б}}} \cdot \delta_{\theta_{\text{зов}}}}, \quad (2.22)$$

де $\text{Cov}(\theta_{\text{б}}, \theta_{\text{зов}})$ – коваріація (кореляційний момент) двох випадкових величин $\theta_{\text{б}}$ та $\theta_{\text{зов}}$;

$\delta_{\theta_{\text{б}}}, \delta_{\theta_{\text{зов}}}$ – середньоквадратичні відхилення $\theta_{\text{б}}$ та $\theta_{\text{зов}}$.

Коваріація – числова характеристика сумісного розподілу двох випадкових величин, яка дорівнює математичному очікуванню добутку відхилень цих випадкових величин від їх математичних очікувань [84].

За результатами досліджень витрати електроенергії на підтримку параметрів мікроклімату (температури 26 °C, відносної вологості повітря 60 %) з моменту внесення яєць до отримання гусениць старшого віку становили 70 кВт·год/30 діб. Маса гусениць відповідала нормативу (не менше 22 мг) [85].

Оцінку похибки безпосередніх вимірювань температури повітря боксу проведено за рекомендаціями [90]: середнє арифметичне значення температури боксу становило 26,79 °C; середньоквадратичне відхилення результатів вимірювань від середнього арифметичного – 0,91 °C; випадкова похибка – 1,8 °C; похибка однократних вимірювань – 0,29 °C ; загальна похибка серії вимірювань – 1,8 °C; відносна похибка результату вимірювань – 6,72 %.

Проведено дослідження автоматизованої підсистеми (рис. 2.13) при

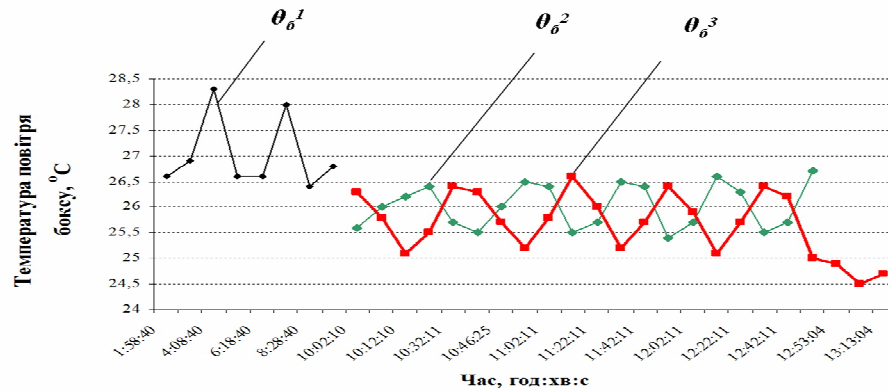


Рис. 2.13. Результати експериментальних досліджень автоматизованої підсистеми зі SCADA програмою [91]

уставці $26\text{ }^{\circ}\text{C}$, зоні нечутливості регулятора $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, середньодобовій температурі навколишнього середовища $\theta^n = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$, середньодобовій відносній вологості навколишнього середовища $\varphi^n = 62\text{ }\%$, середньодобовій відносній вологості боксу $\varphi_b = 61\text{ }\%$ і температурі зовнішнього приміщення, що межує з боксом, $\theta_{зов} = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ (на графіку θ_b^1 – температура боксу у першому експерименті); $\theta^n = -1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi^n = 99,4\text{ }\%$, $\varphi_b = 45\text{ }\%$ і $\theta_{зов} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (θ_b^2 – температура боксу у другому експерименті); $\theta^n = -1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi^n = 85,3\text{ }\%$, $\varphi_b = 42\text{ }\%$ і $\theta_{зов} = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ (θ_b^3 – температура боксу у третьому експерименті). Температура в боксі у процесі функціонування системи змінювалась в діапазоні від $24,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $28,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ з періодом коливань $2240\text{ с} - 2808\text{ с}$ [91]. Використовувався нагрівник масляного типу. В табл. 2.2, табл. 2.3, табл. 2.4 наведено результати досліджень.

Таблиця 2.2

Результати досліджень за першим експериментом

t, год: хв: с	$\theta_b^1, ^{\circ}\text{C}$
1:58:40	26,6
3:03:40	26,9
4:08:40	28,3
5:13:40	26,6
6:18:40	26,6
7:23:40	28
8:28:40	26,4
9:33:40	26,8

Таблиця 2.3

Результати досліджень за другим експериментом

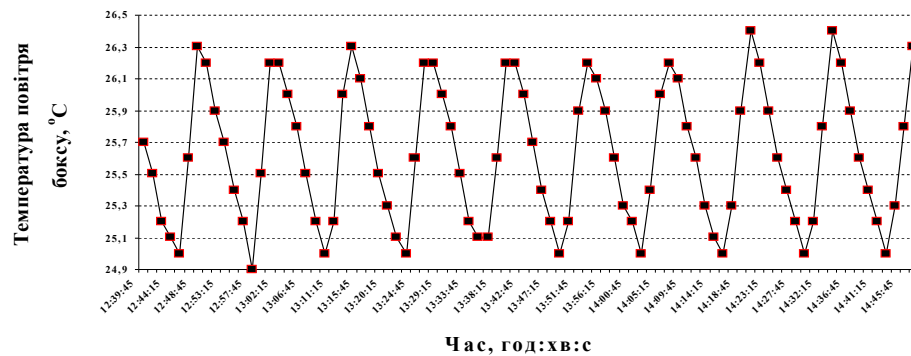
t, год: хв: с	$\theta_6^2, ^\circ\text{C}$	t, год: хв: с	$\theta_6^2, ^\circ\text{C}$	t, год: хв: с	$\theta_6^2, ^\circ\text{C}$	t, год: хв: с	$\theta_6^2, ^\circ\text{C}$
10:02:10	25,6	11:22:11	25,7	10:42:11	25,5	12:12:11	26,6
10:06:58	26	11:32:11	26,5	10:46:25	26	12:22:11	26,3
10:12:10	26,2	11:42:11	26,4	10:52:11	26,5	12:32:11	25,5
10:22:11	26,4	11:52:11	25,4	11:02:11	26,4	12:42:11	25,7
10:32:11	25,7	12:02:11	25,7	11:12:11	25,5	12:52:11	26,7

Таблиця 2.4

Результати досліджень за третім експериментом

t, год: хв: с	$\theta_6^3, ^\circ\text{C}$	t, год: хв: с	$\theta_6^3, ^\circ\text{C}$
10:02:10	26,3	11:32:11	25,2
10:06:58	25,8	11:42:11	25,7
10:12:10	25,1	11:52:11	26,4
10:22:11	25,5	12:02:11	25,9
10:32:11	26,4	12:12:11	25,1
10:42:11	26,3	12:22:11	25,7
10:46:25	25,7	12:32:11	26,4
10:52:11	25,2	12:42:11	26,2
11:02:11	25,8	12:52:11	25
11:12:11	26,6	12:53:04	24,9

Проведено дослідження автоматизованої підсистеми із використанням в якості нагрівника тепловентилятора типу ST-НТ 7645К. При цьому температура повітря боксу θ_6^4 у процесі регулювання при уставці $25,5 ^\circ\text{C}$; зоні нечутливості регулятора $\pm 0,5 ^\circ\text{C}$, температурі повітря навколишнього середовища $10 ^\circ\text{C}$ та зовнішнього приміщення $19,6 ^\circ\text{C}$; змінювалась в діапазоні від $24,9 ^\circ\text{C}$ до $26,4 ^\circ\text{C}$ з періодом коливань $720 \text{ с} - 810 \text{ с}$ (рис. 2.14).

Рис. 2.14. Динаміка регулювання температури повітря боксу θ_6^4

В табл. 2.5 наведено результати досліджень регулювання температури повітря боксу θ_6^4 .

Результати роботи автоматизованої підсистеми

t, год: хв: с	$\theta_6^4, ^\circ\text{C}$	t, год: хв: с	$\theta_6^4, ^\circ\text{C}$	t, год: хв: с	$\theta_6^4, ^\circ\text{C}$
12:39:45	25,7	13:02:15	26,2	13:24:45	25,6
12:41:15	25,5	13:03:45	26	13:26:15	26,2
12:42:45	25,2	13:05:15	25,8	13:27:45	26,2
12:44:15	25,1	13:06:45	25,5	13:29:15	26
12:45:45	25	13:08:15	25,2	13:30:45	25,8
12:47:15	25,6	13:09:45	25	13:32:15	25,5
12:48:45	26,3	13:11:15	25,2	13:33:45	25,2
12:50:15	26,2	13:12:45	26	13:35:15	25,1
12:51:45	25,9	13:14:15	26,3	13:36:45	25,1
12:53:15	25,7	13:15:45	26,1	13:38:15	25,6
12:54:45	25,4	13:17:15	25,8	13:39:45	26,2
12:56:15	25,2	13:18:45	25,5	13:41:15	26,2
12:57:45	24,9	13:20:15	25,3	13:42:45	26
12:59:15	25,5	13:21:45	25,1	13:44:15	25,7
13:00:45	26,2	13:23:15	25	13:45:45	25,4
t, год: хв: с	$\theta_6^4, ^\circ\text{C}$	t, год: хв: с	$\theta_6^4, ^\circ\text{C}$	t, год: хв: с	$\theta_6^4, ^\circ\text{C}$
13:47:15	25,2	14:09:45	25,8	14:32:15	25,8
13:48:45	25	14:11:15	25,6	14:33:45	26,4
13:50:15	25,2	14:12:45	25,3	14:35:15	26,2
13:51:45	25,9	14:14:15	25,1	14:36:45	25,9
13:53:15	26,2	14:15:45	25	14:38:15	25,6
13:54:45	26,1	14:17:15	25,3	14:39:45	25,4
13:56:15	25,9	14:18:45	25,9	14:41:15	25,2
13:57:45	25,6	14:20:15	26,4	14:42:45	25
13:59:15	25,3	14:21:45	26,2	14:44:15	25,3
14:00:45	25,2	14:23:15	25,9	14:45:45	25,8
14:02:15	25	14:24:45	25,6	14:47:15	26,3

Слід відзначити, що шляхом контролю температури поживного середовища за допомогою автоматизованої підсистеми можна оцінювати інтенсивність зараження поживного середовища (зерна) ентомокультурами та ступінь розвитку гусениць комах-хазяїв ентомофагів [92].

Структурна схема каналу вимірювання температури поживного середовища у процесі вирощування гусениць млинової вогнівки наведена на рис. 2.15.

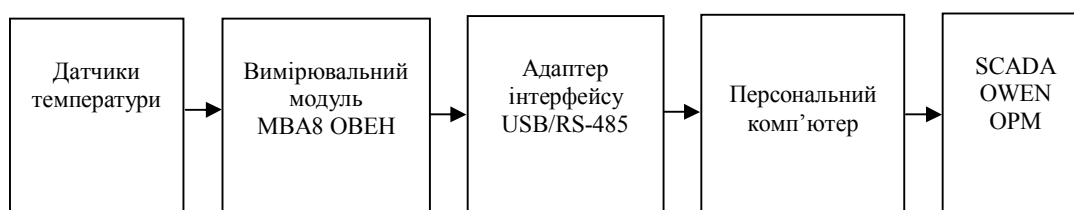


Рис. 2.15. Структурна схема каналу вимірювання температури поживного середовища

Контроль температури поживного середовища – меленого зерна ячменю – здійснювали у восьми кюветах впродовж розвитку млинової вогнівки від яйця до гусениць старшого віку при температурі та відносній вологості повітря боксу відповідно 28 °C і 50 %. Середнє значення температури зерна у період з першого по 31-й день коливалось від 26,2 °C до 29,2 °C. Так, за результатами експериментальних досліджень, у період інтенсивного розвитку гусениць (з 20-го по 31-й день) млинової вогнівки спостерігалось підвищення температури зерна до 36,6 °C [77, 92].

Відомо, що при 90 % - 98 % зараженні зерна зерновою міллю (*Sitotroga cerealella*) температура в шарі зерна може піднятись до 35 °C - 38 °C, 70 % - 75 % – до 30 °C - 34 °C; при переході гусениць до заляльковування зерно розігріватись перестає [93].

Якщо за різними причинами не відбулося інтенсивне зараження зерна, то технологічний процес може бути зупинений для недопущення отримання некондиційної продукції. Це дозволить не витратити енергію на виробництво некондиційної продукції.

Алгоритм керування якістю ентомологічної продукції містить задавання необхідних параметрів процесів; запуск процесів на виконання; збирання та обробку інформації; визначення показників якості; порівняння їх з нормативними значеннями; оцінку якості отриманої продукції; пошук оптимальних параметрів виробництва.

В табл. 2.6 наведено перелік елементів автоматизованої підсистеми керування виробництвом ентомофагів зі SCADA програмою, на рис. 2.16 – схему електричну принципову.

Перелік елементів автоматизованої підсистеми

№	Позначення	Найменування	Кількість, шт.
1	A1	Вимірник-регулятор температури та вологості двоканалний ТРМ202-Ц2-РР ОВЕН	1
2	A2	Датчик температури повітряний ТСМ-2-10к-100М-В-2-160-6-/-40...60/	1
3	A3	Датчик вологості ДВ-УТ-10-SHT21-(0...100) %-60-Z60 mA	1
4	A4	Блок живлення БП02Б-Д1-24, потужність 2,4 Вт	1
5	A5	Персональний комп'ютер Програма OWEN PROCESS MANAGER (OPM) v.1.2	1 1
6	A6	Адаптер інтерфейсу (автоматичний перетворювач інтерфейсу) AC4 USB/RS-485	1
7	A7-A14	Датчики температури занурювальні (ТСМ-1-3-100М-В-2-160-6-М20х1,5-40-Д-/-0...180/)	8
8	A15	Зволожувач повітря Air Humi DIFIER	1
9	A16	Модуль вводу аналоговий вимірювальний восьмиканальний МВА8 ОВЕН	1
10	EK1	Електронагрівник «ТЕРМОЛЮКС», потужність 2 кВт	1
11	QF1	Автомат ВА 1-63	1
12	КМ 1.1, КМ 1.2, КМ 2.1, КМ 2.2	Контактор КМИ 1181(0/1)	2

Інтенсифікацію процесу виробництва ентомофагів може бути досягнуто за рахунок підвищення точності регулювання температури повітря в боксі для розведення ентомокультур. Для цього необхідно вдосконалити традиційну підсистему керування із двопозиційним регулятором. Одним зі шляхів вирішення цього завдання є розробка гібридної інтелектуальної підсистеми керування температурою повітря боксу для вирощування комах.

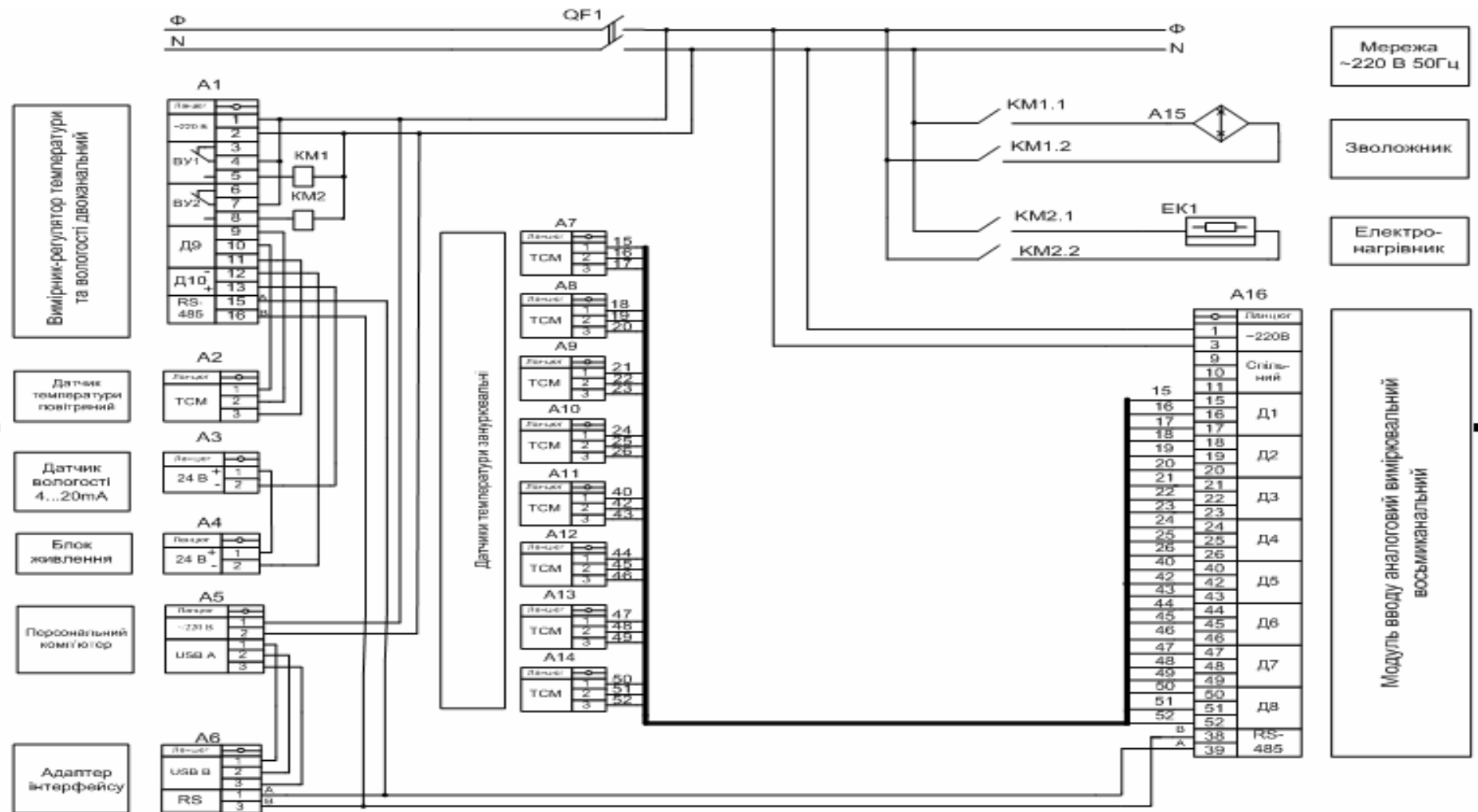


Рис. 2.16. Схема електрична принципова автоматизованої підсистеми керування виробництвом ентомофагів зі SCADA програмою

2.4. Висновки до розділу 2

Досліджено виробництво ентомофагів як об'єкт автоматизації, зокрема, розроблено описову модель техноценозу; структурну та параметричну моделі боксу для вирощування млинової вогнівки як об'єкта керування у процесі вирощування ентомофага бракон; математичну модель процесу змінювання температури повітря боксу від керуючого впливу – теплоти нагрівника – у вигляді аперіодичної ланки з постійною часу 625 с, коефіцієнтом підсилення 0,006 °C/Вт та ланки чистого запізнювання із запізненням у 180 с; автоматизовану підсистему керування виробництвом ентомофагів зі SCADA програмою; проведено її експериментальні дослідження.

Автоматизована підсистема зі SCADA програмою дозволяє в автоматичному режимі в реальному часі керувати температурою та відносною вологістю повітря боксу з комахами, контролювати температуру поживного середовища комах-хазяїна; в автоматизованому режимі – керувати кількістю та якістю ентомологічної продукції, витратами електроенергії на забезпечення необхідних абіотичних параметрів. При цьому вважалось, що об'єкт характеризувався зосередженістю абіотичних параметрів.

Результати експериментальних досліджень свідчать про високу коливальність регульованих параметрів (температури та відносної вологості повітря боксу для розведення комах). Для покращення якості керування температурою повітря боксу з комахами було вирішено вдосконалити традиційну підсистему керування із двопозиційним регулятором за допомогою сучасних технологій штучного інтелекту.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ ЕНТОМОФАГІВ

3.1. Методологічні основи побудови інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів

Особливостями сучасних технологій масового розведення ентомофагів є високий і стабільний вихід кінцевого продукту з одиниці виробничої площі та зменшення його собівартості [16]. При цьому суттєвими факторами, що впливають на собівартість одиниці продукції, є продуктивність праці та споживання енергоресурсів [85, 94], а одним з факторів зростання продуктивності праці є автоматизація виробництва [95].

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 управління об'єктами [96].

Основними факторами будь-якої системи керування є мета керування, інформація про стан об'єкта керування, керувальні дії, алгоритм керування [97].

Інтелектуальною системою керування є така система, де використовуються технології штучного інтелекту, засновані на знаннях; є підсистема підтримки прийняття рішень; рішення завдань керування можливо в автоматичному та автоматизованому режимах в умовах невизначеності [98]. Характерною особливістю інтелектуальних систем є їх здатність реагувати на зміни, що відбуваються у зовнішньому середовищі, налаштовуючи певним чином свої параметри в залежності від стану зовнішнього середовища [99].

На теперішній час дослідження щодо розробки та створення інтелектуальних систем керування як в Україні, так і в світі (в тому числі за умови використання SCADA-систем) стосуються розробки інтелектуальних систем на основі експертних систем нечіткого висновку, когнітивного аналізу; гібридних інтелектуальних систем. Цьому питанню присвячено праці таких

вчених, як Лисенко В.П., Ладанюк А.П., Кондратенко Ю.П., Мироненко В.Г., Лубенцова О.В., Ігнат'єв В.В., Аверкін А. Н., Горелова Г.В., Kosko B., León M. та ін. Перевагами інтелектуальних систем керування на відміну від традиційних є можливість прийняття рішень в умовах невизначеності, зменшення енерговитрат, формалізації слабо-структурованих систем [98-110]. Центральною проблемою при цьому є проектування бази знань щодо предметної області [103].

Так, для розробки інтелектуальних систем керування у теплицях [101], в промислових пташниках [106], для аквакультури прісної води для контролю різних факторів стресу на рибі [107], при вирощуванні сільськогосподарських рослин [108] використано бази знань на основі теорії ігор і статистичних рішень, нечіткої логіки, штучних нейронних мереж. Спосіб контролю розвитку гідробіонтів [109], наприклад, осетрових риб в ранньому онтогенезі реалізує програмований контроль біологічного процесу промислового розведення кошових порід риб; загальна система організації комплексу засобів автоматизації біотехнологічних систем містить чотири рівні [110]: ферментації з набором датчиків, додаткових вимірювальних модулів, нижчого керування для обробки інформації від об'єкту та вищого керування для будування в реальному масштабі часу моделей процесів культивування мікроорганізмів.

Нечіткий контроль забезпечує формальну методологію для уявлення, маніпулювання і здійснення евристичного знання людини про те, як управляти системою [37]. 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 [111]. На сьогодні використання теорії нечіткої логіки у сільському господарстві здійснюється при створенні експертних систем різного напрямку (вибір та розроблення біотехнологічних процесів і обладнання, захист рослин, підготовка ґрунту, відбір насіння, використання пестицидів, боротьба з бур'янами, біологічна боротьба) [37, 100, 112, 113], у прогнозуванні виробництва

сільськогосподарських культур [114], для оцінки необхідної тривалості зрошування ґрунту [115].

Застосування теорії нечіткої логіки дозволяє використовувати знання про об'єкт керування, представлені у вигляді лінгвістичних правил типу «якщо-то», які характеризують зв'язок між вхідними та вихідними змінними процесу виробництва. Її використання у виробництві ентомофагів покликано неоднозначною поведінкою біологічної складової за сумісною дією неоднорідних факторів – абіотичних, біотичних і технологічних – та впливом збурень (різке змінення температури та відносної вологості зовнішнього середовища, припинення електропостачання, зношеність обладнання).

При побудові інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів слід враховувати, що: в умовах економічної самостійності підприємств основним критерієм оцінки економічної ефективності енергозберігаючих заходів є прибуток, що залишається у розпорядженні підприємства [116]; факторами зростання ефективності виробництва ентомофагів є енергоефективні технології, збільшення прибутку, заходи з підвищення якості ентомологічної продукції; процес формування стратегій керування відбувається в умовах збурень, невизначеності та ризику виробництва неякісної продукції [52], який є одним з технологічних факторів, що об'єднує якість продукції та якість технологічного процесу; на якість ентомологічної продукції суттєво впливає температура повітря (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Когнітивна модель впливу температури повітря на процеси та абіотичні параметри постадійного розвитку комах

Основними етапами побудови інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів є формалізація цілей виробництва; визначення структури системи, критеріїв ефективності; розробка гібридної інтелектуальної підсистеми керування температурою повітря боксу та інтелектуальної підсистеми підтримки прийняття рішень; формування стратегій керування.

Формалізовано цілі виробництва ентомофагів та послідовність їх досягнення [61] у вигляді структури (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Структура цілей виробництва ентомофагів та послідовність їх досягнення [61]

Розроблено структуру інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів, яка є дворівневою комп'ютерно-інтегрованою (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Структура інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів [61]

Нижній рівень системи представлено автоматизованою підсистемою керування виробництвом ентомофагів зі SCADA програмою OWEN PROCESS MANAGER, що містить інтерфейс I рівня (автоматичний перетворювач

інтерфейсу USB/RS-485), верхній рівень – інтелектуальною підсистемою підтримки прийняття рішень, що містить інтерфейс II рівня (інтерфейс користувача MATLAB), базу знань і базу даних модуля логічного висновку [61].

На нижньому рівні інтелектуальної системи відбувається керування температурою θ та відносною вологістю повітря ϕ в зоні розвитку комах; витратами електроенергії $E(t)$; кількістю $k(t)$ та якістю $Y(t)$ ентомологічної продукції; спостереження за температурою поживного середовища (зерна) комах - хазяїна; завдання виду поживного середовища комах-хазяїна W , загальних витрат зерна V та витрат P на його інокуляцію. Параметри W , V , P задаються оператором-технологом до початку циклу виробництва, але можуть корегуватись в наступних циклах. Інформація з нижнього рівня зберігається в структурованому вигляді (база даних Microsoft Office Access) та використовується базою знань (MATLAB) для побудови інтелектуальної підсистеми підтримки прийняття рішень.

Процес побудови інтелектуальної підсистеми підтримки прийняття рішень в інтерактивному режимі містить завдання методу нечіткого висновку та створення продукційних правил бази знань типу «якщо-то». Даними для розробки правил бази знань є вхідні та вихідні параметри процесу виробництва, діапазони варіювання вхідних та вихідних змінних, терм-множини кожної змінної, тип і параметри функцій приналежності термів кожної змінної.

На верхньому рівні системи, використовуючи інформацію з нижнього рівня про температуру θ та відносну вологість повітря ϕ боксу для розведення комах; загальні витрати електроенергії $E(t)$ на забезпечення заданих температури та відносної вологості повітря; вид поживного середовища W та його загальні витрати V ; загальні витрати P на інокуляцію поживного середовища, інтерфейс користувача MATLAB, Fuzzy Logic Toolbox і ANFIS-редактор MATLAB, відбувається: 1) керування прибутком $\Pi(t)$ виробництва; 2) прогнозування якості ентомологічної продукції в умовах невизначеності; 3)

формалізація слабо-структурованих завдань; 4) формування стратегій керування виробництвом в умовах невизначеності.

Критерієм ефективності інтелектуальної системи на нижньому рівні визначено мінімізацію помилки регулювання температурою повітря боксу за модульним інтегральним критерієм [117]:

$$I = \frac{1}{t_k - t_p} \int_{t_p}^{t_k} |e(t)| dt \rightarrow \min, \quad (3.1)$$

де t_p , t_k – відповідно час початку та закінчення інтервалу оцінювання процесу управління, с;

$e(t)$ – помилка змінювання температури повітря боксу за обраний інтервал оцінювання, °С.

Критерієм ефективності системи на верхньому рівні визначено максимізацію прибутку виробництва $\Pi(t)$ [118]:

$$\Pi(t) = (D(t) - E(t) - V - P) \rightarrow \max, \quad (3.2)$$

де $D(t)$ – дохід від реалізації ентомопродукції, грн.,

$E(t)$ – загальні енерговитрати, грн.;

V – загальні витрати поживного середовища, грн.;

P – загальні витрати на інокуляцію зерна, грн.

Мінімізацію помилки регулювання температурою повітря боксу можливо реалізувати за рахунок вдосконалення існуючої традиційної підсистеми з двопозиційним регулятором [60] шляхом створення гібридної інтелектуальної підсистеми на основі гібридної нейронної мережі, інтерактивного середовища Simulink/MATLAB, технології OPC-комунікацій (Object Linking and Embedding for Process Control (OPC) toolbox) та ситуаційного управління. Ситуаційне управління – найбільш перспективний метод розв'язання завдань із керування функціональними станами технічної системи в реальному масштабі часу, що дає змогу формувати рішення на основі порівняння поточної ситуації із заданим набором можливих керуючих впливів згідно із ситуацією, що склалася на поточний момент [119].

На сьогодні відомі дослідження щодо використання гібридних мереж у технологічних комплексах харчової галузі [120], біотехнологічних процесах мікробіологічних виробництв [121], в керуванні технологічними процесами очищення стічних вод [122]. Для розробки інтелектуальних систем керування виробничими процесами перспективним є використання стратегій керування на основі інтерактивного середовища Simulink/MATLAB і технології OPC-комунікацій [123, 124, 125] через можливість забезпечення зв'язку системи автоматизації виробничого процесу з віртуальною моделлю для проведення процесів керування в режимі реального часу.

Алгоритм побудови гібридної інтелектуальної підсистеми (рис. 3.4) містить: формування вибірки для навчання мережі за результатами досліджень традиційної підсистеми керування температурою повітря боксу [60] із врахуванням збурень, що склались на поточний момент часу; її завантаження в ANFIS - редактор MATLAB [126]; завдання функцій приналежності; визначення структури гібридної мережі; навчання і тестування мережі; розробка структурної моделі в Simulink/MATLAB; встановлення зв'язку OPC Toolbox, OPC-сервера OWEN.RS485 і Fuzzy Logic Toolbox MATLAB; перевірку зв'язку; випробування підсистеми в режимі реального часу; порівняння якості регулювання температури.

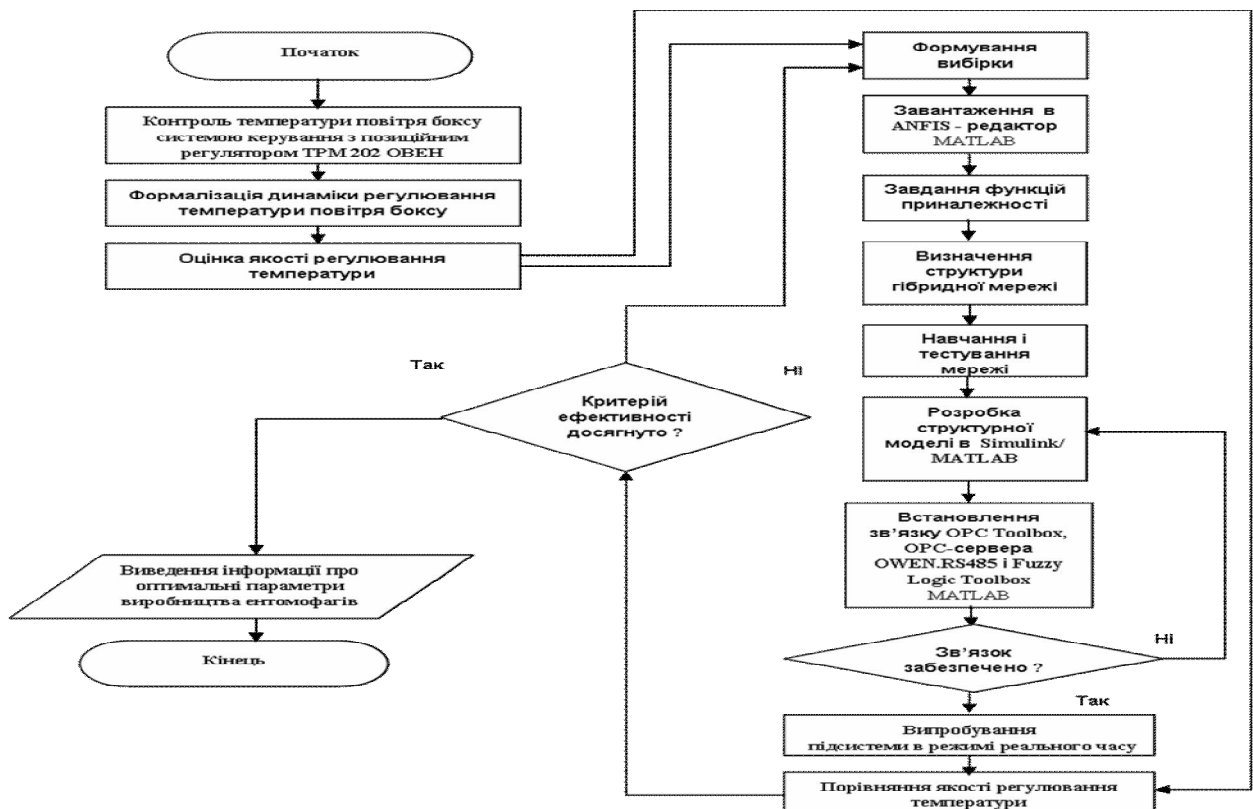


Рис. 3.4. Алгоритм побудови гібридної інтелектуальної підсистеми керування температурою повітря боксу з комахами

та вихідних терм-множин; визначення структури гібридної мережі; її навчання і тестування; розробку структурної моделі в Simulink/MATLAB; встановлення зв'язку OPC Toolbox, OPC-сервера OWEN.RS485 і Fuzzy Logic Toolbox MATLAB; випробування в режимі реального часу; оцінку якості регулювання.

Для перевірки адекватності роботи гібридної підсистеми в режимі реального часу в середовищі Simulink/Matlab розроблено структурну модель (рис. 3.5) гібридної і традиційної підсистем керування температурою повітря боксу та проведено комп'ютерне моделювання.

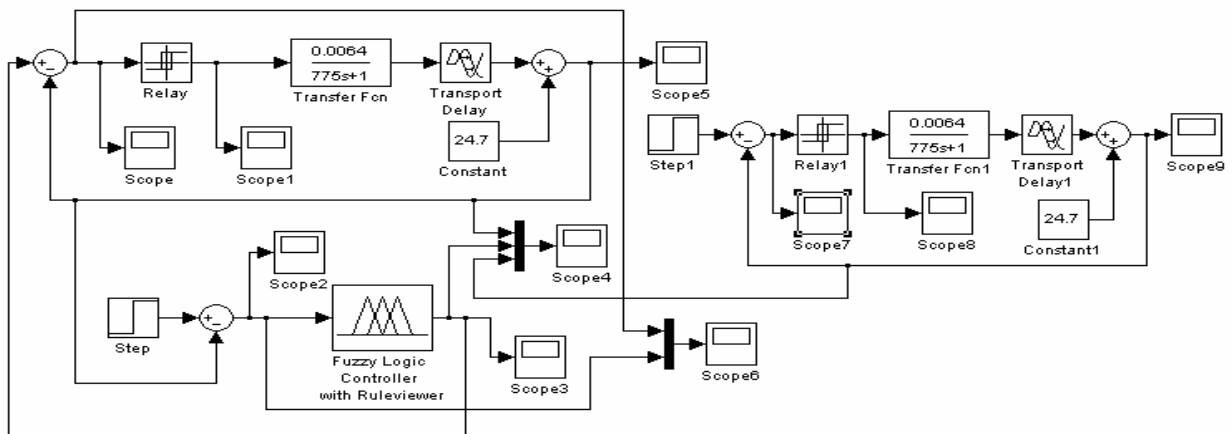


Рис. 3.5. Структурна модель гібридної і традиційної підсистем керування температурою повітря боксу

Процес побудови моделі гібридної підсистеми містить формування вибірки (рис. 3.6) для навчання гібридної мережі (рис. 3.7), використовуючи результати моделювання традиційної підсистеми - змінювання помилки регулювання температури (рис. 3.8); перегляд автоматично згенерованих правил бази знань системи нечіткого висновку (рис. 3.9).

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

Рис. 3.6. Навчальна вибірка

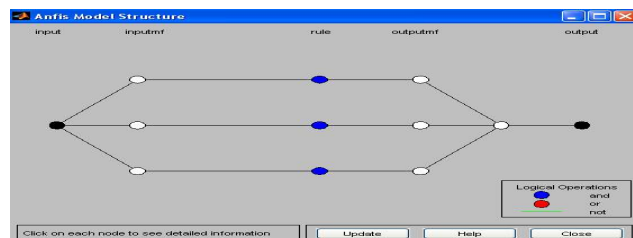


Рис. 3.7. Згенерована гібридна мережа

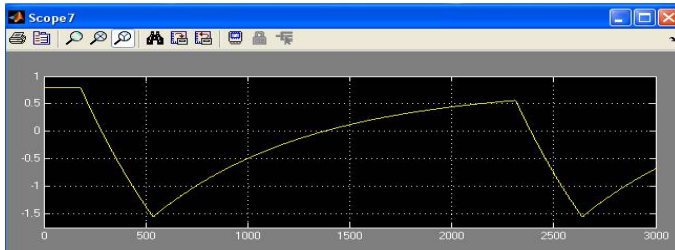


Рис. 3.8. Змінювання помилки при регулюванні традиційною системою керування за моделлю

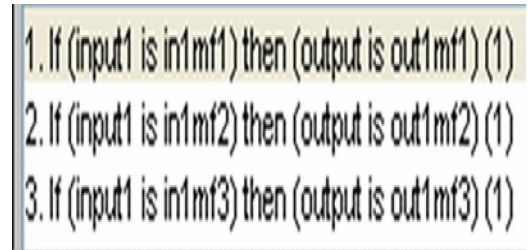


Рис. 3.9. База знань гібридної мережі

Вхідною змінною (input1) мережі є помилка регулювання температури традиційною підсистемою керування на основі двопозиційного регулятора, вихідною (output) – уставка температури регулятора. 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 $[25.8]$. Значення терм-множин вихідної змінної визначались шляхом навчання мережі за гібридним методом.

За результатами комп'ютерного моделювання (рис. 3.10) амплітуда коливань відносно уставки $25,5^{\circ}\text{C}$ при регулюванні традиційною підсистемою дорівнює $2,1^{\circ}\text{C}$ ($25^{\circ}\text{C} - 27,1^{\circ}\text{C}$), гібридною – $1,6^{\circ}\text{C}$ ($25,2^{\circ}\text{C} - 26,8^{\circ}\text{C}$). Різниця амплітуд становить $0,5^{\circ}\text{C}$.

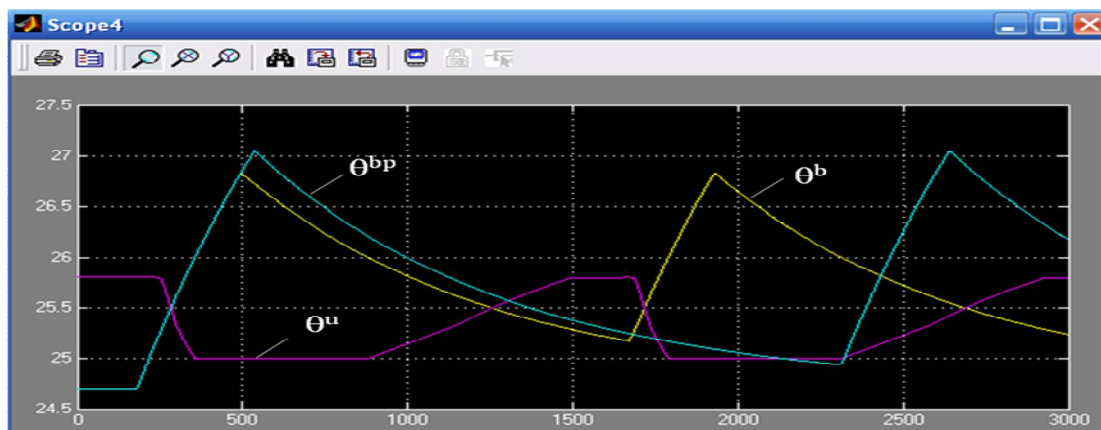


Рис. 3.10. Динаміка змінювання (за результатом комп'ютерного моделювання): уставки θ^u регулятора ТРМ202 ОВЕН і температури повітря боксу при роботі гібридної підсистеми (θ^b); температури повітря при роботі традиційної підсистеми (θ^{bp})

Процес формування продукційних правил бази знань інтелектуальної системи відбувається на основі зв'язку [61]:

- показників якості ентомологічної продукції з абіотичними параметрами постадійного розвитку комах і технологічними параметрами виробництва (висотою шару поживного середовища комахи-хазяїна; видом поживного середовища; кількістю яєць комахи-хазяїна, внесених в поживне середовище);

- прибутку виробництва ентомокультур з абіотичними і технологічними параметрами, загальними витратами поживного середовища та витратами на його інокуляцію, витратами електроенергії, кількістю та якістю продукції;

- помилки регулювання температурою повітря боксу та уставки регулятора.

3.2. Розробка методу керування для енергоефективного виробництва ентомофагів

Керування виробництвом ентомофагів потребує визначення такого методу, який дозволив би підвищити його ефективність, в тому числі й енергетичну. Енергоефективність слід розглядати як технічно можливу та економічно виправдану якість використання енергоресурсів та енергії при існуючому рівні розвитку техніки і технології [127]. Набір показників енергоефективності містить показники, що відбивають ступінь ефективності використання окремих видів ресурсів: продуктивності праці, фондівіддачі, матеріалоемності та енергоемності виробництва [128]. Інноваційним фактором, що впливає на енергоефективність, є застосування енергозберігаючих технологій і обладнання [129]. За результатами аналізу робіт стосовно визначення поняття «енергоефективність» можливо виділити, що енергоефективність – це:

- використання меншої кількості енергії за рахунок впровадження більш досконалих технологій або процесів [130];

- характеристика устаткування, технології, виробництва або системи в цілому, що свідчить про ступінь використання енергії на одиницю кінцевого продукту [131];
- стан системи, при якому досягнення цілей та виконання її функцій забезпечується при мінімальних затратах енергії [132];
- сукупність показників, яка дає змогу порівнювати різні вироби однакового призначення з погляду споживання енергії [133];
- відношення корисного ефекту до затрат енергії на його отримання [134];
- характеристики технологічних процесів, які можна було б прийняти за корисний ефект [134].

Процеси виробництва ентомофагів можуть бути представленими на трьох стратах: фізичні процеси розвитку ентомокультур по стадіям онтогенезу, керування якістю ентомопродукції й обробка інформації, економіка виробництва з точки зору його прибутку [135].

З метою формування стратегій керування виробництвом ентомофагів, що максимізують прибуток, розроблено метод керування для енергоефективного виробництва ентомофагів в умовах невизначеності, який поєднує оцінку: абіотичних параметрів; енергетичних витрат; доходу, який залежить від кількості та якості ентомологічної продукції; прибутку [118]. Так, прибуток $\Pi(t)$ виробництва гусениць млинової вогнівки для напрацьовування ентомофага бракон [118] визначається низкою параметрів:

$$\Pi(t) = \langle \theta, \varphi, V, P, \theta_1, D(t), E(t) \rangle, \quad (3.3)$$

$$D(t) = k(t) \cdot Y(t) \cdot N \cdot w_k, \quad (3.4)$$

$$E(t) = e \cdot w_e, \quad (3.5)$$

$$V = n \cdot N \cdot w_n, \quad (3.6)$$

$$P = \rho \cdot N \cdot w_\rho. \quad (3.7)$$

де θ_1 – температура навколишнього середовища, °C;

$k(t)$ – кількість гусениць млинової вогнівки старшого віку, шт./кювету;

$Я(t)$ – якість ентомокультур за середньою масою гусениць старшого віку, г;

e – витрати електроенергії, кВт·год;

w_e – вартість 1 кВт·год, грн.;

t – тривалість циклу вирощування гусениць, діб;

w_k – вартість 1 кг гусениць, грн.; N – кількість кювет, шт.;

n – кількість поживного середовища, кг/кювету;

w_n – вартість 1 кг зерна, грн.;

ρ – кількість яєць млинової вогнівки, внесених в зерно, г /кювету;

w_p – вартість 1 г яєць, грн.

Розроблено інформаційну модель керування процесом вирощування гусениць млинової вогнівки у виробництві ентомофага бракон (рис. 3.11), яка показує спрямованість потоків інформації у процесі отримання прибутку [118] для подальшого ефективного використання в інтелектуальній системі керування.

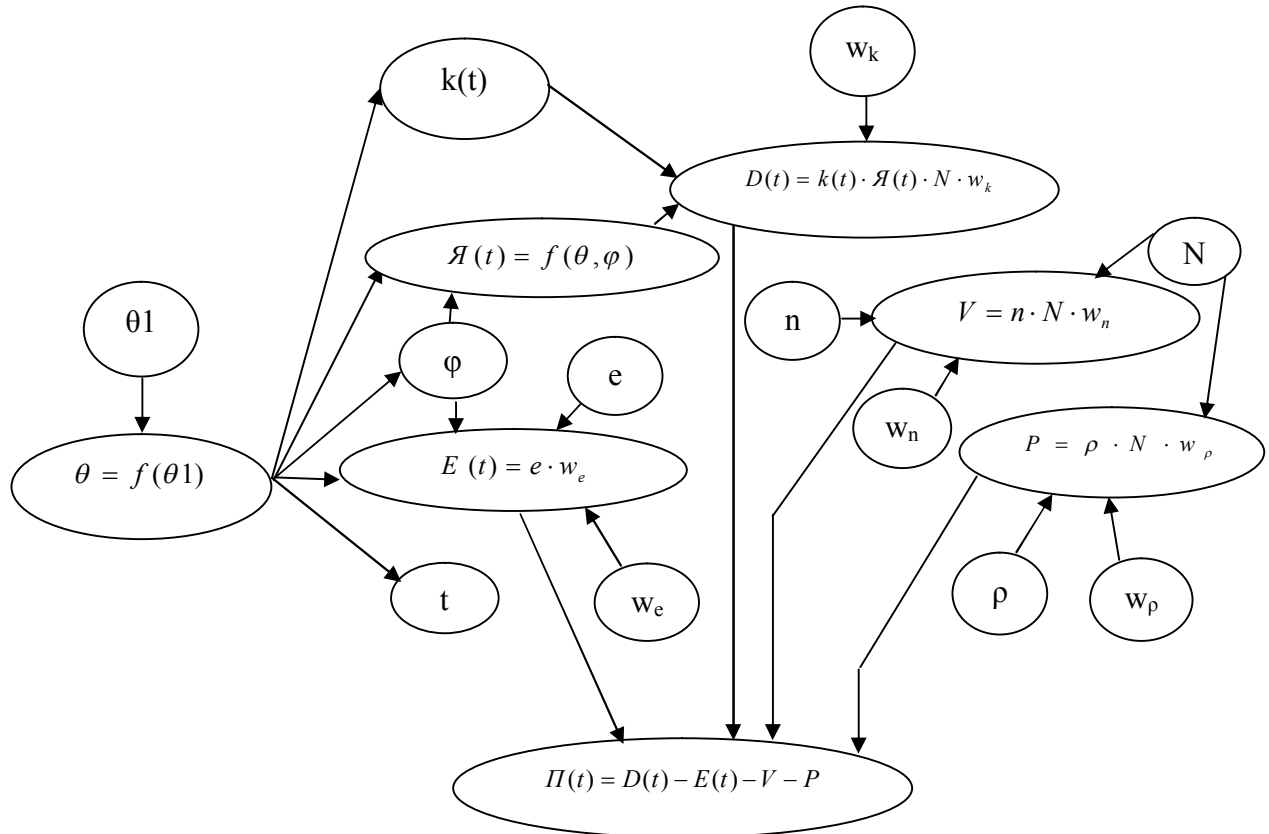


Рис. 3.11. Інформаційна модель керування процесом вирощування гусениць млинової вогнівки у виробництві ентомофага бракон

З метою системної обробки знань у процесах прийняття рішень при керуванні в умовах дії збурень, підвищення інформативності про стан виробництва ентомологічних засобів захисту рослин розроблено інформаційну модель інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів (рис. 3.12).



Рис. 3.12. Інформаційна модель інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів

3.3. Висновки до розділу 3

Проведено огляд сучасних досліджень щодо створення інтелектуальних систем керування як в Україні, так і в світі.

Науково обґрунтовано розробку інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів. Головним питанням при цьому є розробка продукційних правил бази знань. Проведено комп'ютерне моделювання гібридної і традиційної підсистем керування температурою повітря боксу для вирощування млинової вогнівки у виробництві ентомофага бракон. Розроблено метод керування для енергоефективного виробництва ентомофагів, інформаційну модель керування процесом вирощування гусениць млинової вогнівки у виробництві ентомофага бракон; інформаційну модель інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів.

РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ ЕНТОМОФАГІВ

4.1. Дослідження гібридної інтелектуальної підсистеми керування температурою повітря боксу з комахами

Досліджено в режимі реального часу гібридну інтелектуальну підсистему керування температурою повітря боксу для вирощування млинової вогнівки. Методи досліджень – ситуаційне керування, експериментальні дослідження в режимі реального часу, нечіткий висновок, чисельне інтегрування.

Функціонування гібридної підсистеми відбувалось на основі роботи традиційної підсистеми керування температурою повітря на базі вимірника-регулятора TRM202 [60] та згенерованої гібридної нейронної мережі прямого поширення сигналу із використанням структурної моделі в Simulink/MATLAB, OPC Toolbox MATLAB, OPC-сервера OWEN.RS485, ANFIS – редактора і Fuzzy Logic Toolbox MATLAB [117].

За результатами експериментальних досліджень (рис. 2.14) традиційної підсистеми (рис. 4.1) керування температурою повітря боксу сформовано навчальну вибірку (рис. 4.2, а), яку завантажено в ANFIS - редактор MATLAB (рис. 4.2, б). Помилка навчання за 100 епох склала 0,000096203 (рис. 4.2, в).

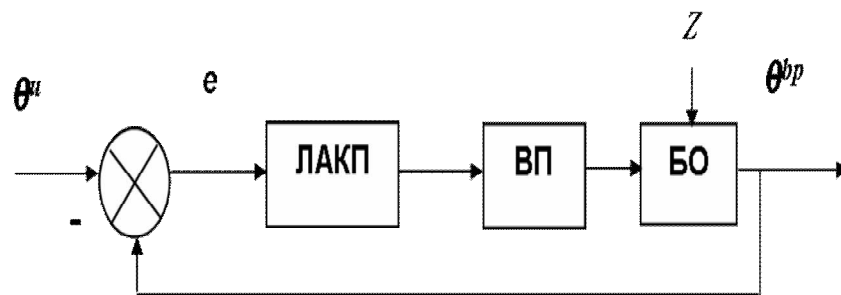


Рис. 4.1. Структурна схема традиційної підсистеми керування: e – помилка регулювання; Z – збурення; ЛАКП – локальний автоматичний керуючий пристрій; ВП – виконавчий пристрій; БО (біотехнічний об’єкт) – бокс з комахами та датчиком температури; e – помилка регулювання; θ^u – уставка температури; θ^{bp} – поточне значення температури повітря боксу

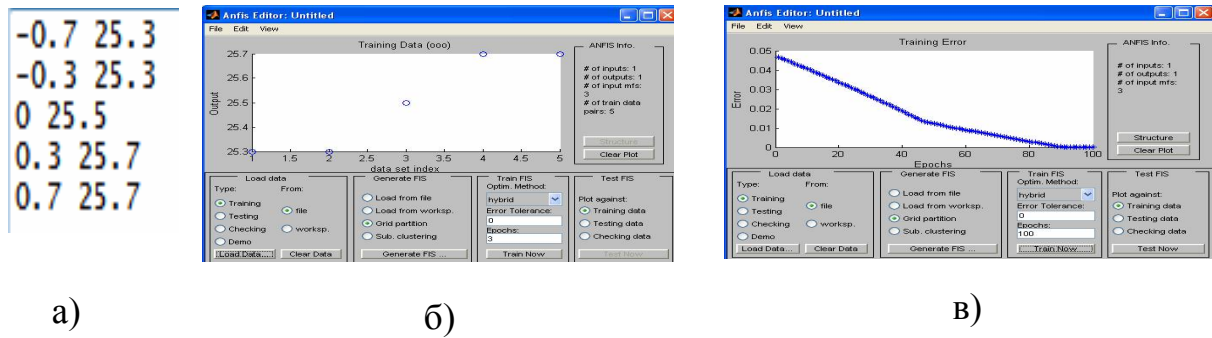


Рис. 4.2. Навчальна вибірка (а), ANFIS - редактор MATLAB (б) та результати навчання вибірки для 100 епох (в) [117]

Гібридна мережа, структуру якої наведено на рис. 4.3, згенерована у вигляді п'ятишарової нейронної мережі прямого поширення сигналу. Середня помилка тестування навчальної вибірки (рис. 4.4) склала 0,000096203.

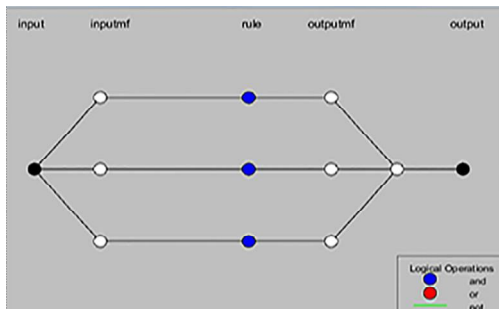


Рис. 4.3. Згенерована гібридна мережа

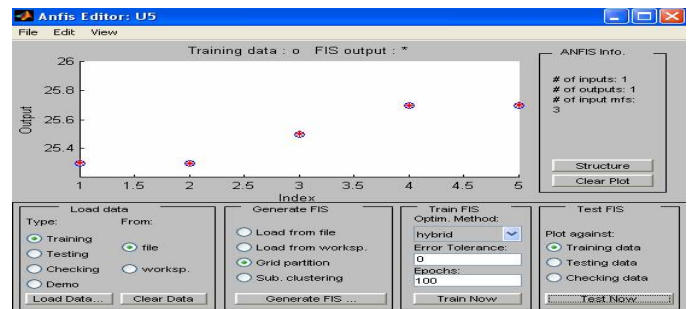


Рис. 4.4. Результати тестування навчальної вибірки

Вхідною змінною мережі (input 1) діапазоном $[-0.7 \ 0.7]$ є помилка регулювання температури системою керування на основі використання двопозиційного регулятора ТРМ 202 ОВЕН, вихідною змінною (output) діапазоном $[25.3 \ 25.7]$ – уставка температури регулятора [117]. Першим шаром мережі (inputmf) є терми вхідної змінної in1mf1, in1mf2, in1mf3 з трикутними функціями приналежності – in1mf1:trimf $[-1.234; -0.273; 0.207]$, in1mf2:trimf $[-1.236; -0.01671; 1.229]$ та in1mf3:trimf $[-0.1476; 0.2999; 1.236]$ [117], при цьому кількість нейронів першого шару визначається сумарною кількістю термів вхідної змінної; другим шаром мережі (rule) є антецеденти (передумови) нечітких правил, при цьому кожен вузол цього шару може приймати один вхідний сигнал та кількість вузлів шару дорівнює кількості правил; колір

нейронів другого шару відповідає типу логічної зв'язки AND, використаної при побудові правил; вузли даного шару виконують функцію агрегування ступенів істинності умов за кожним правилом системи нечіткого виводу у відповідності до операції T-норми, в якості якої використовується операція логічної кон'юнкції за методом алгебраїчного добутку [136]; третім шаром (outputmf) є нормалізація ступеню 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 – заключення правил (агрегація виходів усіх правил): реалізація логічної диз'юнкції за методом алгебраїчної суми; п'ятим шаром (output) є чітке значення вихідної змінної. Значення термів вихідної змінної (out1mf1:constant [25.06], out1mf2:constant [25.6], out1mf3:constant [25.78]) визначались шляхом навчання мережі за гібридним методом (комбінація градієнтного спуску у вигляді алгоритму зворотного поширення помилки і методу найменших квадратів [126]).

Автоматично згенеровані продукційні правила бази знань системи нечіткого висновку мають вигляд: 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».

У Simulink/MATLAB розроблено структурну модель гібридної інтелектуальної підсистеми керування температурою повітря боксу (рис. 4.5).

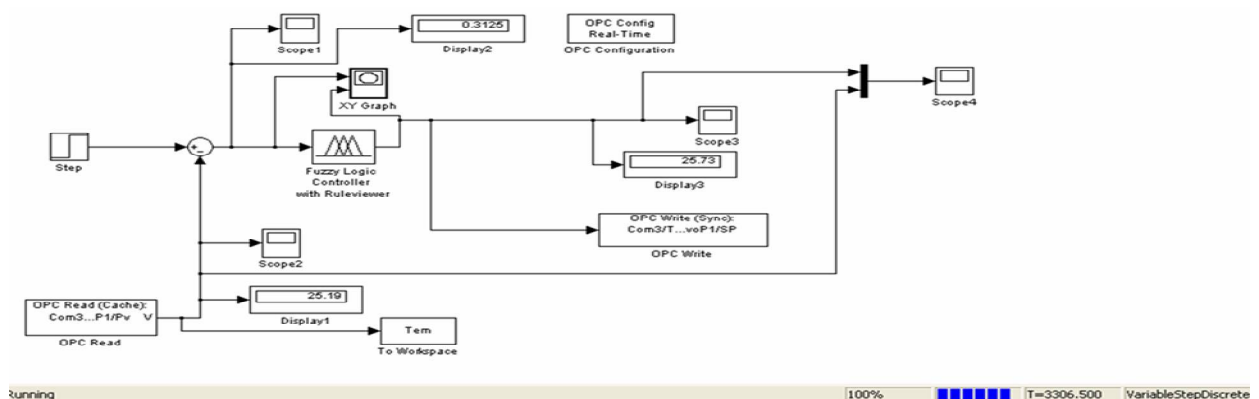


Рис. 4.5. Структурна модель гібридної підсистеми керування температурою повітря боксу в режимі реального часу [117]

На рис. 4.6 наведено блок завдання уставки температури для вимірника-регулятора TPM202 ОВЕН.

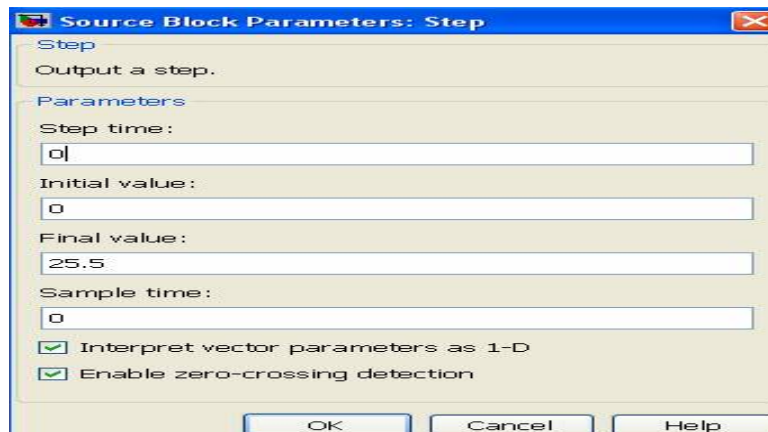


Рис. 4.6. Блок завдання уставки [117]

Для забезпечення керування температурою повітря боксу в режимі реального часу через зв'язок Simulink/MATLAB з OPC-сервером OWEN.RS485 в модель на рис. 4.5 додано блоки OPC Configuration, OPC Read и OPC Write.

На рис. 4.7, рис. 4.8 наведено блок налаштування параметрів контролю в реальному часі із визначенням OPC-сервера OWEN.RS485 як OPC клієнта. Блок OPC Read моделі (рис. 4.9) реалізує зчитування інформації про поточне значення температури повітря боксу; блок OPC Write (рис. 4.10) – запис інформації про уставку температури вимірника-регулятора TPM202 ОВЕН у вказаний тег серверу OWEN.RS485. Підключення клієнта MATLAB до сервера OWEN.RS485 відбувалось за допомогою OPC Toolbox MATLAB.

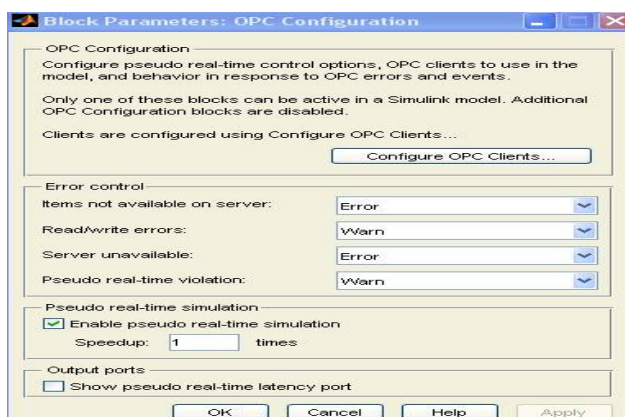


Рис. 4.7. Блок налаштування параметрів контролю в реальному часі із встановленням клієнтів OPC [117]

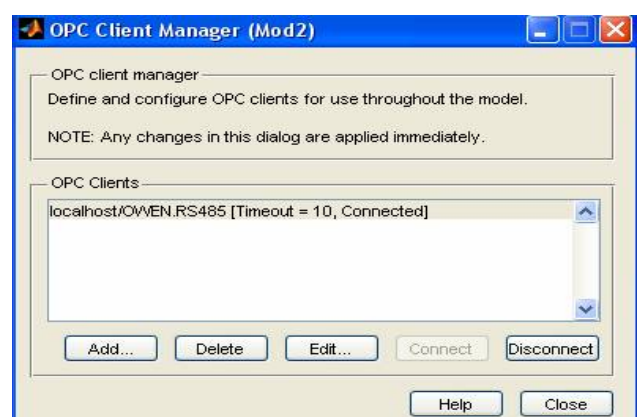


Рис. 4.8. Процес визначення сервера OWEN.RS485 як OPC клієнта [117]

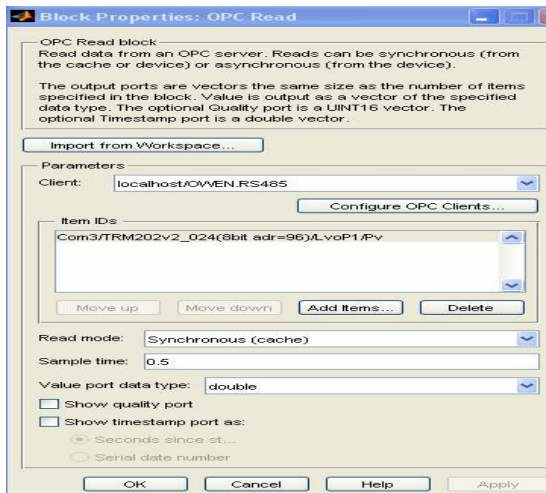


Рис. 4.9. Настройка блока OPC Read [117]

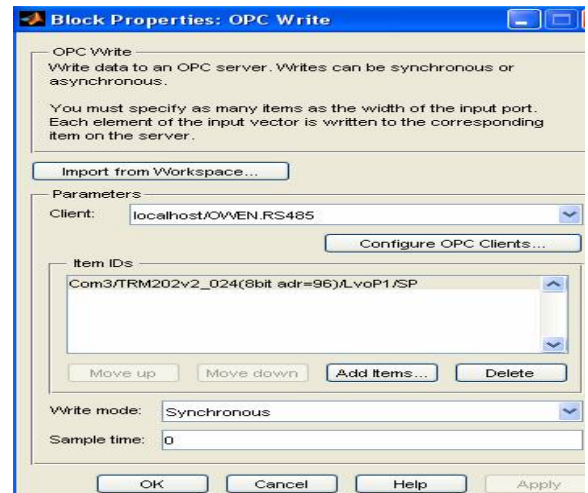


Рис. 4.10. Настройка блока OPC Write [117]

На рис. 4.11 наведено вигляд підключення клієнта MATLAB до сервера OWEN.RS485, рис. 4.12 – працюючого сервера.

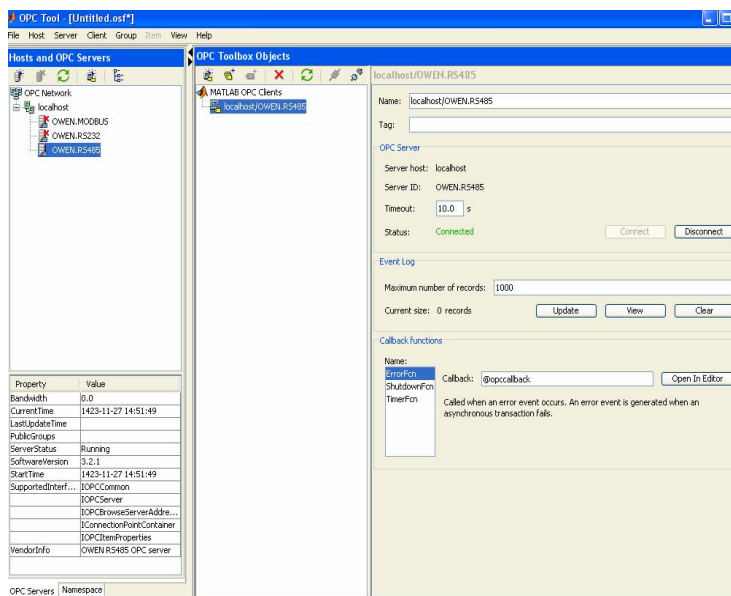


Рис. 4.11. Підключення клієнта MATLAB до сервера OWEN.RS485 [117]

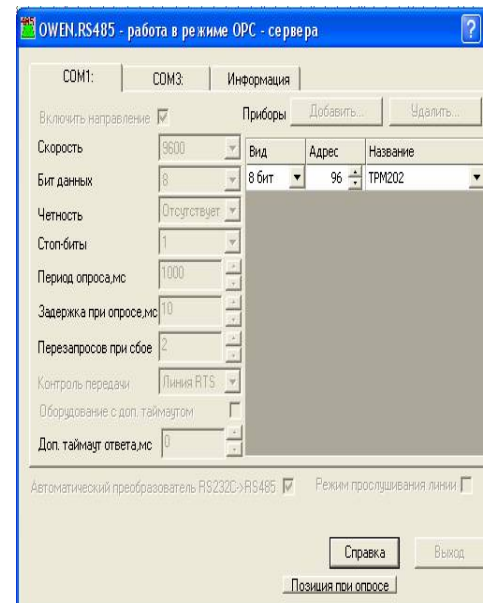


Рис. 4.12. Видяг працюючого сервера [117]

На рис. 4.13, рис. 4.14, рис. 4.15 представлено відповідно залежності уставки TPM 202 від похибки регулювання за нечітким висновком, в режимі реального часу та вигляд роботи системи нечіткого висновку в реальному часі.

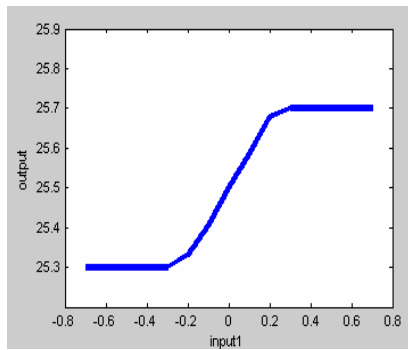


Рис. 4.13. Залежність уставки ТРМ 202 від похибки регулювання за нечітким висновком [117]

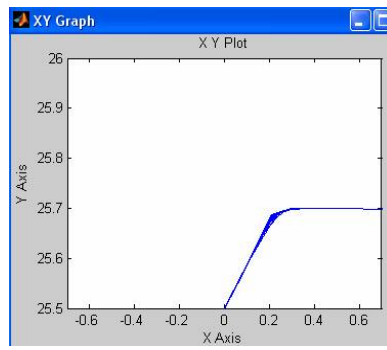


Рис. 4.14. Залежність уставки від похибки в режимі реального часу [117]

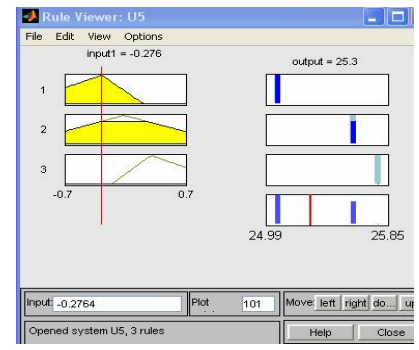


Рис. 4.15. Вигляд роботи системи нечіткого висновку в реальному часі [117]

За результатом функціонування гібридної підсистеми в режимі реального часу (рис. 4.16) при уставці $25,5^{\circ}\text{C}$, зоні нечутливості регулятора $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, за температури навколишнього середовища 10°C , зовнішнього приміщення $19,6^{\circ}\text{C}$ амплітуда коливань відносно уставки $25,5^{\circ}\text{C}$ становить 1°C (при регулюванні традиційною підсистемою – $1,5^{\circ}\text{C}$), що погоджується з результатами комп'ютерного моделювання (рис. 3.10).

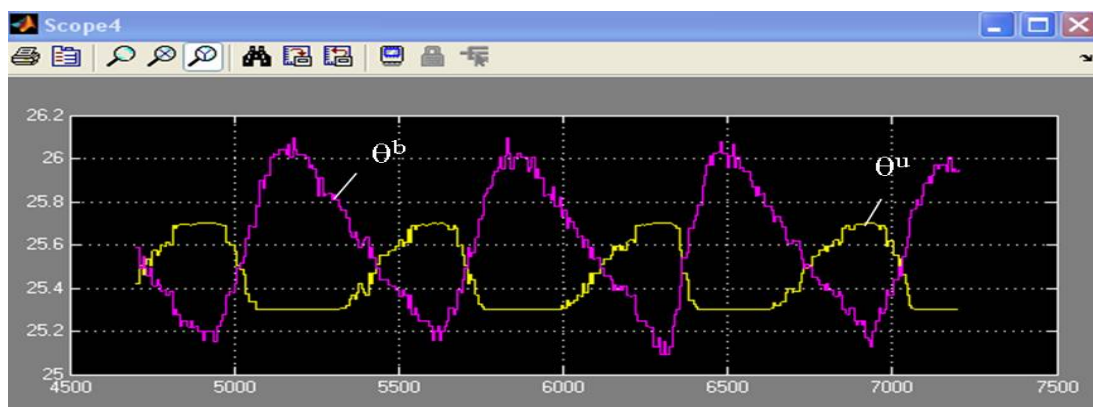


Рис. 4.16. Динаміка змінювання температури повітря боксу θ^b і уставки температури θ^u при роботі гібридної підсистеми в реальному часі [117]

Проведено оцінку якості керування температурою традиційною підсистемою (рис. 2.14) та гібридною (рис. 4.16) за критерієм (3.1) із використанням методу чисельного інтегрування. Для цього було визначено інтервал оцінювання та відрізки інтервалу оцінювання (рис. 4.17 та рис. 4.18).

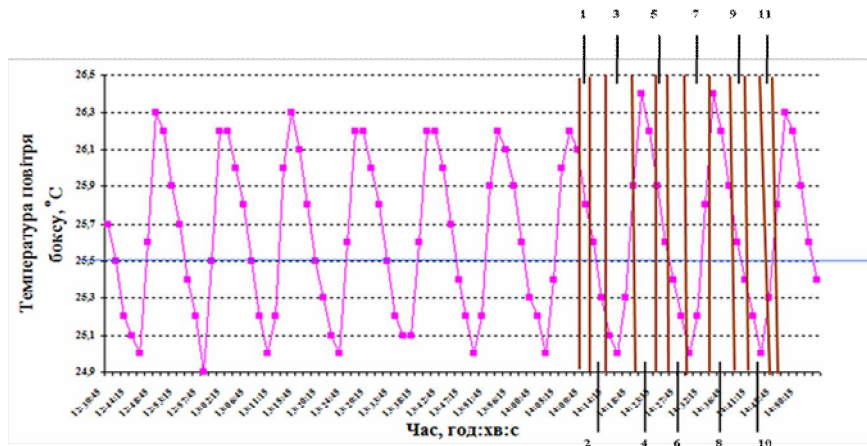


Рис. 4.17. Інтервал оцінювання ефективності керування температурою повітря боксу підсистемою на основі позиційного регулятора (1...11 – відрізки інтервалу оцінювання)

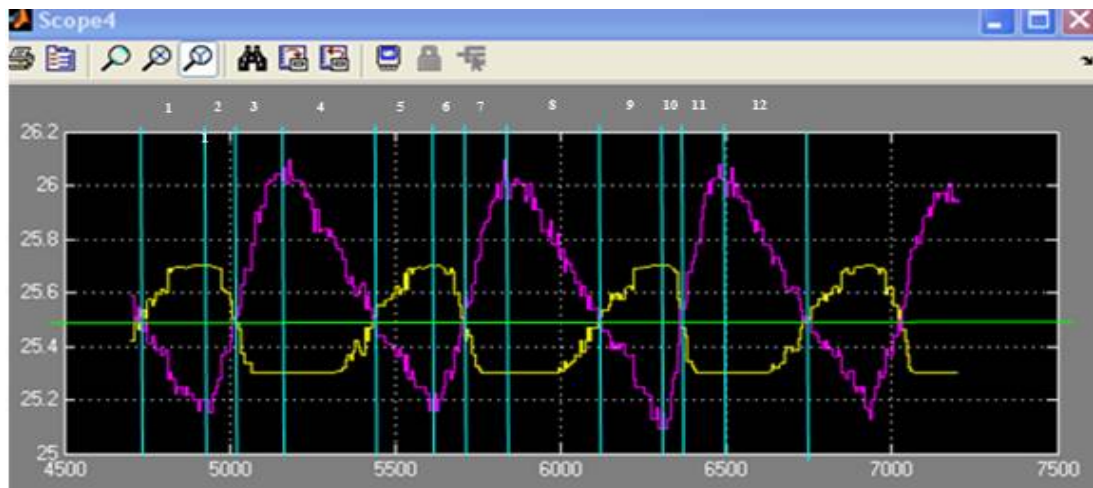


Рис. 4.18. Інтервал оцінювання ефективності керування температурою повітря боксу гібридною підсистемою (1...12 – відрізки інтервалу оцінювання)

Для підсистеми керування на основі позиційного регулятора значення модульного інтегрального критерію (3.1) із використанням методу чисельного інтегрування розраховується таким чином:

$$I^{poz} = \frac{1}{t_k - t_p} \sum_{j=1}^{11} |e^{poz}_j| \cdot \Delta t_j, \quad (4.1)$$

де $|e^{poz}_j|$ – змінювання похибки за модулем на j -х відрізках, °C;

Δt_j – змінювання часу на j -х відрізках, с.

Для гібридної підсистеми керування значення модульного інтегрального критерію (3.1) розраховується:

$$I^g = \frac{1}{t_k - t_p} \sum_{i=1}^{12} |e^g_i| \cdot \Delta t_i, \quad (4.2)$$

де $|e^g_i|$ – змінювання похибки за модулем на i -х відрізках, °C;

Δt_i – змінювання часу на i -х відрізках, с.

В табл. 4.1, табл. 4.2 наведено результати розрахунків модульного інтегрального критерію для гібридної підсистеми та підсистеми на основі позиційного регулятора за обраний інтервал оцінювання.

Таблиця 4.1

Результати розрахунку модульного інтегрального критерію за обраний інтервал оцінювання для підсистеми на основі позиційного регулятора

№ з/п	$ e^{poz}_j $, °C	Δt_j , c	$ e^{poz}_j \cdot \Delta t_j$, °C·c	$I^{poz} = \frac{1}{t_k - t_p} \sum_{j=1}^{11} e^{poz}_j \cdot \Delta t_j$
1.	0,5	14:02:15-14:04:00	0,5·105=52,5	$I^{poz} = (\frac{1}{2040} \cdot 1329,5) = 0,65 \text{ } ^\circ C$
2.	0,7	14:04:00-14:06:45	0,7·165=115,5	
3.	0,7	14:06:45-14:11:30	0,7·285=200	
4.	0,5	14:11:30-14:15:45	0,5·255=127,5	
5.	0,5	14:15:45-14:18:00	0,5·135=67,5	
6.	0,9	14:18:00-14:20:15	0,9·135=121,5	
7.	0,9	14:20:15-14:25:00	0,9·285=256,5	
8.	0,5	14:25:00-14:29:15	0,5·255=127,5	
9.	0,5	14:29:15-14:31:00	0,5·105=52,5	
10.	0,9	14:31:00-14:33:45	0,9·165=148,5	
11.	0,4	14:33:45-14:36:15	0,4·150=60	

Таблиця 4.2

Результати розрахунку модульного інтегрального критерію за обраний інтервал оцінювання для гібридної підсистеми

№ з/п	$ e^g_i $, °C	Δt_i , c	$ e^g_i \cdot \Delta t_i$, °C·c	$I^g = \frac{1}{t_k - t_p} \sum_{i=1}^{12} e^g_i \cdot \Delta t_i$
1.	0,32	4710-4921	0,32·211=67,52	$I^g = (\frac{1}{2040} \cdot 1055,31) = 0,52 \text{ } ^\circ C$
2.	0,32	4921-5000	0,32·79=25,28	
3.	0,6	5000-5184	0,6·184=110,4	
4.	0,6	5184-5421	0,6·237=142,2	
5.	0,32	5421-5632	0,32·211=67,52	
6.	0,32	5632-5710	0,32·78=24,96	
7.	0,6	5710-5842	0,6·132=79,2	
8.	0,6	5842-6132	0,6·290=174	
9.	0,6	6132-6290	0,6·158=94,8	
10.	0,6	6290-6421,5	0,6·131,5=78,9	
11.	0,58	6421,5-6500	0,58·78,5=45,53	
12.	0,58	6500-6750	0,58·250=145	

Порівнюючи роботу гібридної підсистеми (рис. 4.16) і традиційної підсистеми на основі позиційного регулятора (рис. 2.14) (функціонування як традиційної, так і гібридної підсистем відбувалось за однаковими умовами) за критерієм (3.1) визначено, що гібридна підсистема є більш ефективною: за інтервалом оцінювання 2040 с значення модульного інтегрального критерію підсистеми з позиційним регулятором становило $0,65^{\circ}\text{C}$, гібридної підсистеми – $0,52^{\circ}\text{C}$ [117].

Проведено дослідження щодо енергоефективності гібридної підсистеми. За результатами функціонування гібридної (рис. 4.19, а, б, в) і традиційної (рис. 4.20, а, б) 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; $0,25\text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{год}$, для традиційної підсистеми – 0,3; $0,375\text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{год}$. 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 $0,6^{\circ}\text{C}$.

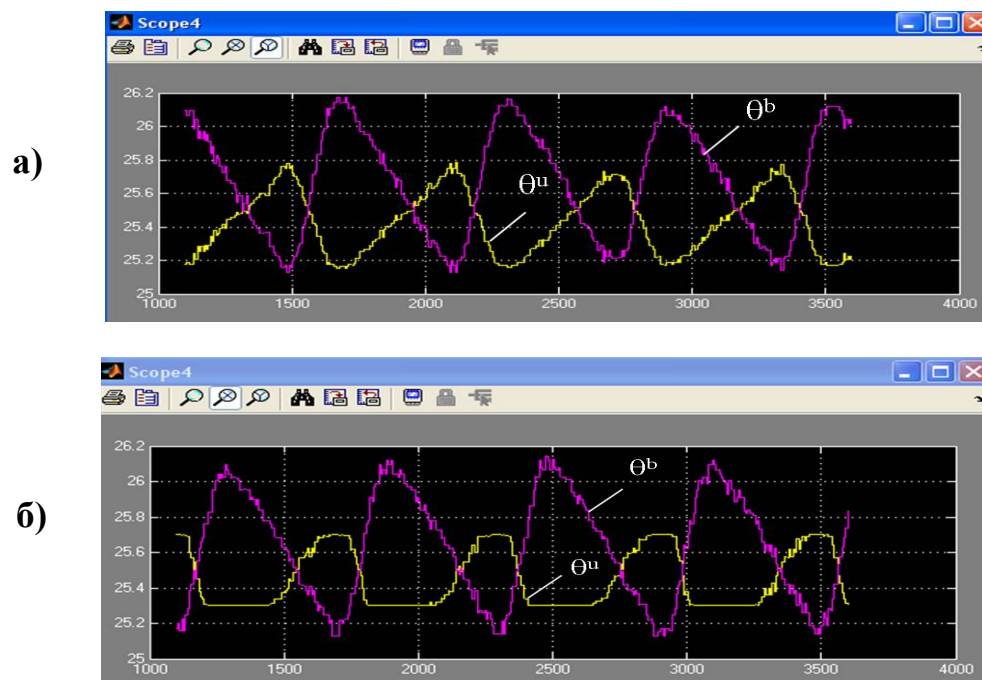


Рис. 4.19. Результат роботи в режимі реального часу гібридної (а, б) підсистеми керування температурою повітря боксу

в)

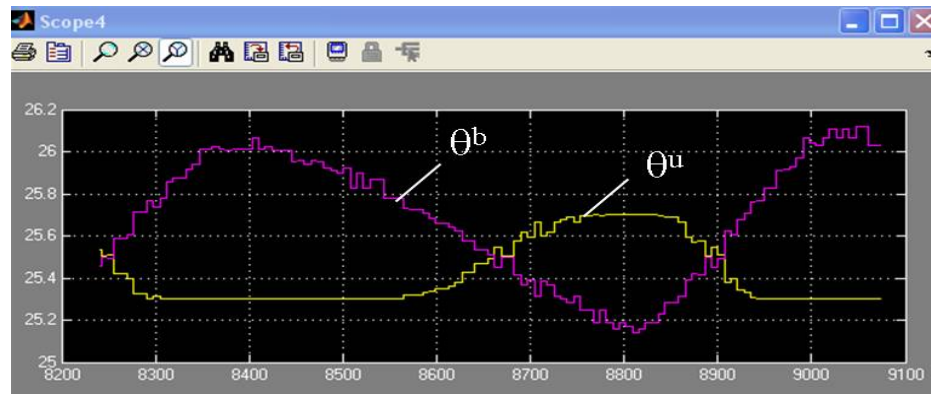
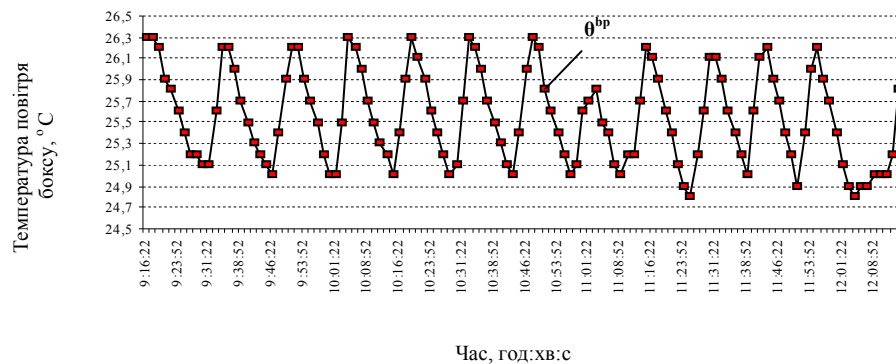


Рис. 4.19. Результат роботи в режимі реального часу гібридної (в) підсистеми керування температурою повітря боксу

а)



б)

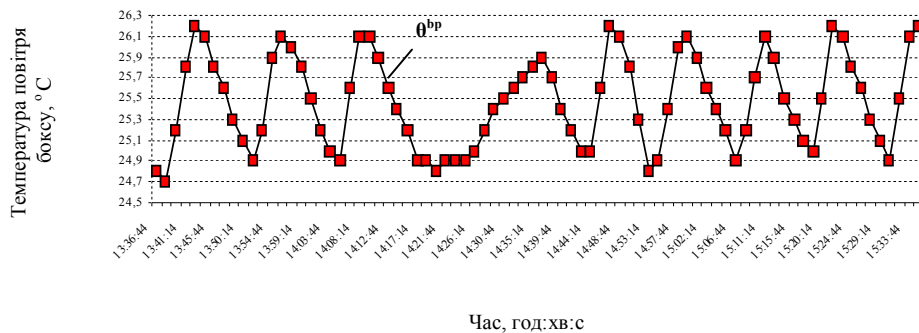


Рис. 4.20. Результат роботи в режимі реального часу традиційної (а, б) підсистеми керування температурою повітря боксу

Таким чином, гібридна підсистема дозволяє: зменшити до 40 % амплітуду коливань температури повітря відносно уставки, скоротити витрати електроенергії до 33 % в умовах збурень, підтримати оптимальні умови розвитку ентомокультур. При цьому точність керування температурою та відповідно витрати електроенергії залежать від сформованої вибірки та збурень, що діють в конкретний проміжок часу.

4.2. Практична реалізація методу керування для енергоефективного виробництва ентомофагів

Із використанням результатів експериментальних досліджень процесів вирощування гусениць млинової вогнівки (табл. 4.3) при виробництві ентомофага бракон за допомогою експертних підсистем нечіткого висновку SNV1, SNV2 типу Мамдані на базі пакету розширення Fuzzy Logic Toolbox for Matlab (рис. 4.21, рис. 4.22) практично реалізовано метод керування для енергоефективного виробництва ентомофагів.

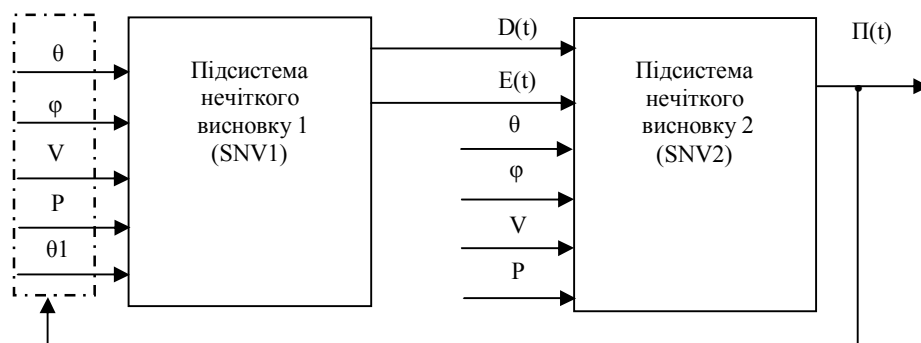


Рис. 4.21. Експертні підсистеми нечіткого висновку для оцінки прибутку виробництва ентомокультур [118]

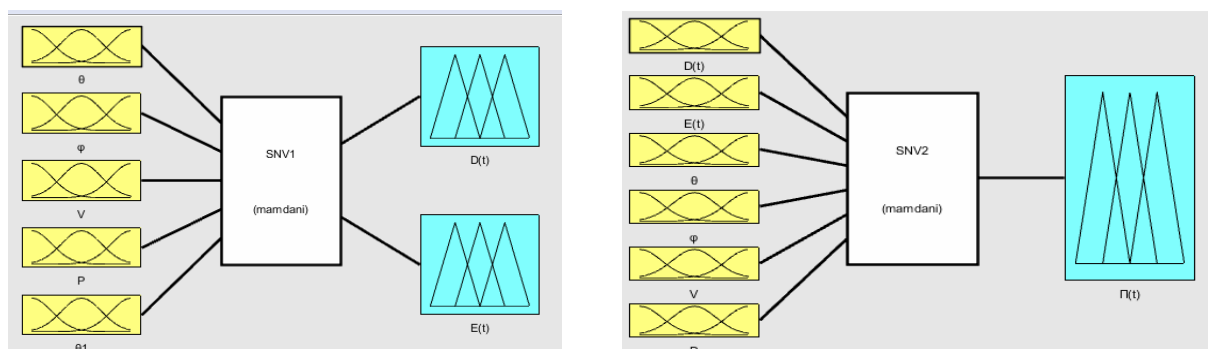


Рис. 4.22. Функціональні схеми експертних підсистем нечіткого висновку для оцінки прибутку виробництва ентомокультур в середовищі MATLAB [118]

Результати експериментальних досліджень [118]

θ , °C	26,8	26,8	28	26,8	28
ϕ , %	70	70	50	70	50
n , кг/кювету	1	2	1	1	1
N , шт.	60	60	60	60	60
w_n , грн./ 1кг	7	7	7	7	7
ρ , г/кювету	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4
w_p , грн. /1 г	71,85	71,85	71,85	71,85	71,85
V , грн.	420	840	420	420	420
P , грн.	862,2	862,2	862,2	862,2	1724,4
θ_1 , °C	23	23	21	8	21
$k(t)$, шт./кювету	7220	6900	6192	8560	8980
$Я(t)$, г	0,028	0,027	0,024	0,026	0,021
w_k , грн. / 1г гусениць	0,219	0,219	0,219	0,219	0,219
$D(t)$, грн.	2656,38	2447,98	1952,71	2924,44	2477,94
e , кВт·год	78	78	85	120	85
w_e , грн. / 1 кВт·год	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68
$E(t)$, грн.	131,04	131,04	142,8	201,6	142,8
$\Pi(t)$, грн.	1243,14	614,74	527,71	1440,64	190,74
t , діб	30	30	30	30	30

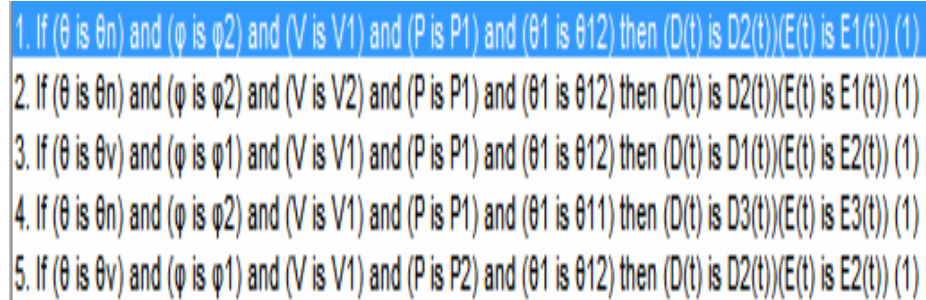
В табл. 4.4 наведено дані для створення продукційних правил баз знань SNV1 [118].

Таблиця 4.4

Дані для створення продукційних правил бази знань SNV1

Змінні	Діапазон змінювання	Терм-множини	Лінгвістична оцінка	Тип і параметри функцій приналежності
θ , °C	26,8-28	θ_n	Нижня межа температури повітря боксу	Gaussmf [0,2039; 26,8]
		θ_v	Верхня межа температури повітря боксу	Gaussmf [0,2038; 28]
ϕ , %	50-70	ϕ_1	Нижня межа відносної вологості повітря боксу	Gaussmf [3,398; 50]
		ϕ_2	Верхня межа відносної вологості повітря боксу	Gaussmf [3,398; 70]
V , грн.	420-840	V_1	Нижня межа загальних витрат поживного середовища (зерна)	Gaussmf [71,34; 420]
		V_2	Верхня межа загальних витрат поживного середовища (зерна)	Gaussmf [71,34; 840]
P , грн.	862,2- 1724,4	P_1	Нижня межа загальних витрат на інокуляцію зерна	Gaussmf [146,5; 862,2]
		P_2	Верхня межа загальних витрат на інокуляцію зерна	Gaussmf [146,5; 1724]
θ_1 , °C	8-23	θ_{11}	Нижня межа температури навколишнього середовища	Gaussmf [2,548; 8]
		θ_{12}	Верхня межа температури навколишнього середовища	Gaussmf [2,548; 23]
$D(t)$, грн.	1952,71- 2924,44	$D_1(t)$	Нижня межа доходу	Gaussmf [165,1; 1953]
		$D_2(t)$	Середня межа доходу	Gaussmf [165,1; 2656]
		$D_3(t)$	Верхня межа доходу	Gaussmf [165,1; 2924]
$E(t)$, грн.	131-202	$E_1(t)$	Нижня межа загальних витрат електроенергії	Gaussmf [12,06; 131]
		$E_2(t)$	Середня межа загальних витрат електроенергії	Gaussmf [12,06; 143]
		$E_3(t)$	Верхня межа загальних витрат електроенергії	Gaussmf [12,06; 202]

На рис. 4.23 представлено базу знань SNV1 [118]. Продукційні правила бази знань сформовано таким чином:



```

1. If (θ is θn) and (φ is φ2) and (V is V1) and (P is P1) and (θ1 is θ12) then (D(t) is D2(t))(E(t) is E1(t)) (1)
2. If (θ is θn) and (φ is φ2) and (V is V2) and (P is P1) and (θ1 is θ12) then (D(t) is D2(t))(E(t) is E1(t)) (1)
3. If (θ is θv) and (φ is φ1) and (V is V1) and (P is P1) and (θ1 is θ12) then (D(t) is D1(t))(E(t) is E2(t)) (1)
4. If (θ is θn) and (φ is φ2) and (V is V1) and (P is P1) and (θ1 is θ11) then (D(t) is D3(t))(E(t) is E3(t)) (1)
5. If (θ is θv) and (φ is φ1) and (V is V1) and (P is P2) and (θ1 is θ12) then (D(t) is D2(t))(E(t) is E2(t)) (1)
  
```

Рис. 4.23 Вигляд редактора продукційних правил бази знань SNV1

1: якщо $\theta \in$ «Нижня межа температури повітря боксу» і $\phi \in$ «Верхня межа відносної вологості повітря боксу» і $V \in$ «Нижня межа загальних витрат поживного середовища (зерна)» і $P \in$ «Нижня межа загальних витрат на інокуляцію зерна» і $\theta_1 \in$ «Верхня межа температури навколишнього середовища», то $D(t) \in$ «Середня межа доходу» і $E(t) \in$ «Нижня межа загальних витрат електроенергії»;

2: якщо $\theta \in$ «Нижня межа температури повітря боксу» і $\phi \in$ «Верхня межа відносної вологості повітря боксу» і $V \in$ «Верхня межа загальних витрат поживного середовища (зерна)» і $P \in$ «Нижня межа загальних витрат на інокуляцію зерна» і $\theta_1 \in$ «Верхня межа температури навколишнього середовища», то $D(t) \in$ «Середня межа доходу» і $E(t) \in$ «Нижня межа загальних витрат електроенергії»;

3: якщо $\theta \in$ «Верхня межа температури повітря боксу» і $\phi \in$ «Нижня межа відносної вологості повітря боксу» і $V \in$ «Нижня межа загальних витрат поживного середовища (зерна)» і $P \in$ «Нижня межа загальних витрат на інокуляцію зерна» і $\theta_1 \in$ «Верхня межа температури навколишнього середовища», то $D(t) \in$ «Нижня межа доходу» і $E(t) \in$ «Середня межа загальних витрат електроенергії»;

4: якщо $\theta \in$ «Нижня межа температури повітря боксу» і $\phi \in$ «Верхня межа відносної вологості повітря боксу» і $V \in$ «Нижня межа загальних витрат поживного середовища (зерна)» і $P \in$ «Нижня межа загальних витрат на

інокуляцію зерна» і θ_1 є «Нижня межа температури навколишнього середовища», то $D(t)$ є «Верхня межа доходу» і $E(t)$ є «Верхня межа загальних витрат електроенергії»;

5: якщо θ є «Верхня межа температури повітря боксу» і ϕ є «Нижня межа відносної вологості повітря боксу» і V є «Нижня межа загальних витрат поживного середовища (зерна)» і P є «Верхня межа загальних витрат на інокуляцію зерна» і θ_1 є «Верхня межа температури навколишнього середовища», то $D(t)$ є «Середня межа доходу» і $E(t)$ є «Середня межа загальних витрат електроенергії».

За результатами нечіткого висновку SNV1 визначено, що за $\theta=26,8$ °C, $\phi=70$ %, $V=500$ грн., $P=1020$ грн., $\theta_1=(20-23)$ °C дохід $D(t)$ становить 2630 грн. та загальні витрати електроенергії $E(t)=142$ грн. (рис. 4.24, рис. 4.25).

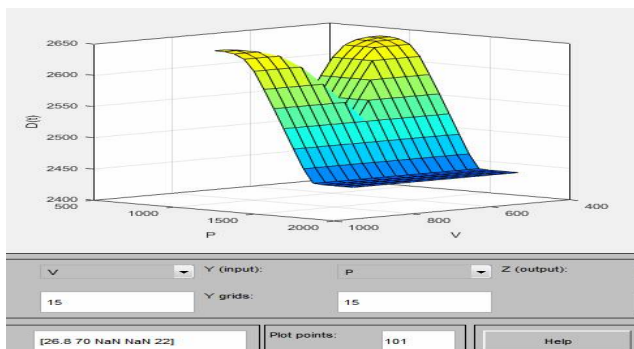


Рис. 4.24. Залежність доходу від загальних витрат поживного середовища та загальних витрат на інокуляцію зерна [118]

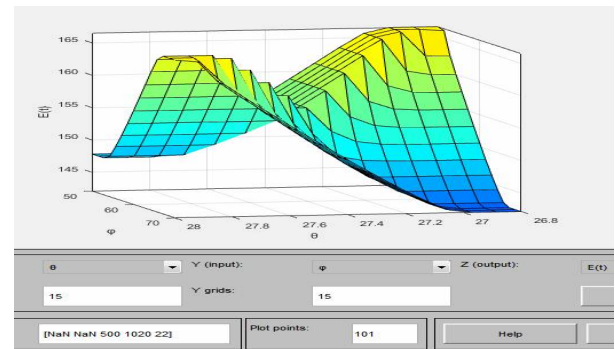


Рис. 4.25. Залежність загальних витрат електроенергії від температури та відносної вологості повітря боксу [118]

Середня похибка апроксимації за $D(t)$ склала 5,26 %, за $E(t)$ – 4,76 %, що знаходиться в межах допустимих значень [84]. В табл. 4.5 наведено дані для створення бази знань SNV1 за вибором трикутних функцій приналежності. За вибором трикутних функцій приналежності (табл. 4.5) похибка апроксимації не відрізняється. В табл. 4.6 наведено дані для створення бази знань SNV2 [118].

Дані для створення бази знань SNV1

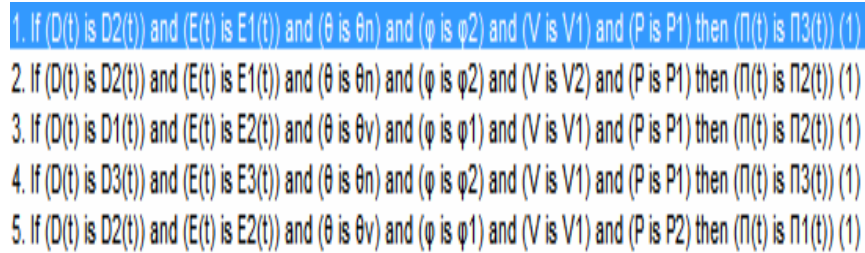
Змінні	Діапазон змінювання	Терм-множини	Лінгвістична оцінка	Тип і параметри функцій приналежності
θ, °C	26,8-28	θn	Нижня межа температури повітря боксу	trimf [26.4 26.8 27.3]
		θv	Верхня межа температури повітря боксу	trimf [27.5 28 28.5]
φ, %	50-70	φ1	Нижня межа відносної вологості повітря боксу	trimf [41.9 49.9 57.9]
		φ2	Верхня межа відносної вологості повітря боксу	trimf [62 70 78]
V, грн.	420-840	V1	Нижня межа загальних витрат поживного середовища (зерна)	trimf [252 420 588]
		V2	Верхня межа загальних витрат поживного середовища (зерна)	trimf [672 840 1008]
P, грн.	862,2- 1724,4	P1	Нижня межа загальних витрат на інокуляцію зерна	trimf [517 862.2 1210]
		P2	Верхня межа загальних витрат на інокуляцію зерна	trimf [1382 1724 2072]
θ1, °C	8-23	θ11	Нижня межа температури навколишнього середовища	trimf [2 8 14]
		θ12	Верхня межа температури навколишнього середовища	trimf [17 23 29]
D(t), грн.	1952,71- 2924,44	D1(t)	Нижня межа доходу	trimf [1564 1953 2342]
		D2(t)	Середня межа доходу	trimf [2267 2656 3045]
		D3(t)	Верхня межа доходу	trimf [2535 2924 3313]
E(t), грн.	131-202	E1(t)	Нижня межа загальних витрат електроенергії	trimf [102.24 130.64 159.04]
		E2(t)	Середня межа загальних витрат електроенергії	trimf [114.6 143 171.4]
		E3(t)	Верхня межа загальних витрат електроенергії	trimf [173.6 202 230.4]

Таблиця 4.6

Дані для створення бази знань SNV2 [118]

Змінні	Діапазон змінювання	Терм-множини	Лінгвістична оцінка	Тип і параметри функцій приналежності
D(t), грн.	1952,71- 2924,44	D1(t)	Нижня межа доходу	Gaussmf [165,1; 1953]
		D2(t)	Середня межа доходу	Gaussmf [165,1; 2656]
		D3(t)	Верхня межа доходу	Gaussmf [165,1; 2924]
E(t), грн.	131-202	E1(t)	Нижня межа загальних витрат електроенергії	Gaussmf [12,06; 131]
		E2(t)	Середня межа загальних витрат електроенергії	Gaussmf [12,06; 143]
		E3(t)	Верхня межа загальних витрат електроенергії	Gaussmf [12,06; 202]
θ, °C	26,8-28	θn	Нижня межа температури повітря боксу	Gaussmf [0,2039; 26,8]
		θv	Верхня межа температури повітря боксу	Gaussmf [0,2038; 28]
φ, %	50-70	φ1	Нижня межа відносної вологості повітря боксу	Gaussmf [3,398; 50]
		φ2	Верхня межа відносної вологості повітря боксу	Gaussmf [3,398; 70]
V, грн.	420-840	V1	Нижня межа загальних витрат поживного середовища (зерна)	Gaussmf [71,34; 420]
		V2	Верхня межа загальних витрат поживного середовища (зерна)	Gaussmf [71,34; 840]
P, грн.	862,2- 1724,4	P1	Нижня межа загальних витрат внесених в зерно яєць	Gaussmf [146,5; 862,2]
		P2	Верхня межа загальних витрат внесених в зерно яєць	Gaussmf [146,5; 1724]
П(t), грн.	190,74 - 1440,64	П1(t)	Нижня межа прибутку	Gaussmf [5; 190,7]
		П2(t)	Середня межа прибутку	Gaussmf [5; 614,7]
		П3(t)	Верхня межа прибутку	Gaussmf [5; 1441]

На рис. 4.26 наведена база знань SNV2 [118]. Продукційні правила бази знань SNV2 сформовано таким чином:



```

1. If (D(t) is D2(t)) and (E(t) is E1(t)) and (θ is θn) and (φ is φ2) and (V is V1) and (P is P1) then (Π(t) is Π3(t)) (1)
2. If (D(t) is D2(t)) and (E(t) is E1(t)) and (θ is θn) and (φ is φ2) and (V is V2) and (P is P1) then (Π(t) is Π2(t)) (1)
3. If (D(t) is D1(t)) and (E(t) is E2(t)) and (θ is θv) and (φ is φ1) and (V is V1) and (P is P1) then (Π(t) is Π2(t)) (1)
4. If (D(t) is D3(t)) and (E(t) is E3(t)) and (θ is θn) and (φ is φ2) and (V is V1) and (P is P1) then (Π(t) is Π3(t)) (1)
5. If (D(t) is D2(t)) and (E(t) is E2(t)) and (θ is θv) and (φ is φ1) and (V is V1) and (P is P2) then (Π(t) is Π1(t)) (1)
  
```

Рис. 4.26. Вигляд редактора продукційних правил бази знань SNV2

1: якщо $D(t) \in$ «Середня межа доходу» і $E(t) \in$ «Нижня межа загальних витрат електроенергії» і $\theta \in$ «Нижня межа температури повітря боксу» і $\phi \in$ «Верхня межа відносної вологості повітря боксу» і $V \in$ «Нижня межа загальних витрат поживного середовища (зерна)» і $P \in$ «Нижня межа загальних витрат на інокуляцію зерна», то $\Pi(t) \in$ «Верхня межа прибутку»;

2: якщо $D(t) \in$ «Середня межа доходу» і $E(t) \in$ «Нижня межа загальних витрат електроенергії» і $\theta \in$ «Нижня межа температури повітря боксу» і $\phi \in$ «Верхня межа відносної вологості повітря боксу» і $V \in$ «Верхня межа загальних витрат поживного середовища (зерна)» і $P \in$ «Нижня межа загальних витрат на інокуляцію зерна», то $\Pi(t) \in$ «Середня межа прибутку»;

3: якщо $D(t) \in$ «Нижня межа доходу» і $E(t) \in$ «Середня межа загальних витрат електроенергії» і $\theta \in$ «Верхня межа температури повітря боксу» і $\phi \in$ «Нижня межа відносної вологості повітря боксу» і $V \in$ «Нижня межа загальних витрат поживного середовища (зерна)» і $P \in$ «Нижня межа загальних витрат на інокуляцію зерна», то $\Pi(t) \in$ «Середня межа прибутку»;

4: якщо $D(t) \in$ «Верхня межа доходу» і $E(t) \in$ «Верхня межа загальних витрат електроенергії» і $\theta \in$ «Нижня межа температури повітря боксу» і $\phi \in$ «Верхня межа відносної вологості повітря боксу» і $V \in$ «Нижня межа загальних витрат поживного середовища (зерна)» і $P \in$ «Нижня межа загальних витрат на інокуляцію зерна», то $\Pi(t) \in$ «Верхня межа прибутку»;

5: якщо $D(t) \in$ «Середня межа доходу» і $E(t) \in$ «Середня межа загальних витрат електроенергії» і $\theta \in$ «Верхня межа температури повітря боксу» і $\phi \in$

«Нижня межа відносної вологості повітря боксу» і V є «Нижня межа загальних витрат поживного середовища (зерна)» і P є «Верхня межа загальних витрат на інокуляцію зерна», то $\Pi(t)$ є «Нижня межа прибутку».

За результатом нечіткого висновку SNV2 встановлено, що $D(t)=(2254-2924)$ грн., $E(t)=131$ грн., $\theta=26,8$ ° C, $\phi=70$ %, $V=500$ грн., $P=1020$ грн., прибуток $\Pi(t)$ буде максимальним - 1440 грн. за умови мінімізації енерговитрат (рис. 4.27, рис. 4.28). Середня похибка апроксимації за $\Pi(t)$ склала 6,62 %. За вибором трикутних функцій приналежності похибка склала 6,52 %.

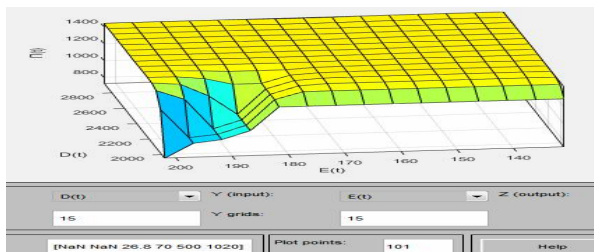


Рис. 4.27. Залежність прибутку від доходу та загальних витрат електроенергії [118]

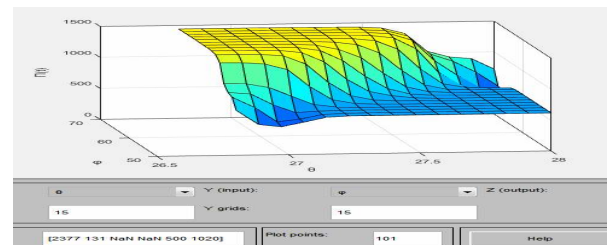


Рис. 4.28. Залежність прибутку від температури та відносної вологості повітря боксу [118]

В табл. 4.7 наведено дані для створення бази знань SNV2 за вибором трикутних функцій приналежності.

Таблиця 4.7

Дані для створення бази знань SNV2

Змінні	Діапазон змінювання	Терм-множини	Лінгвістична оцінка	Тип і параметри функцій приналежності
$D(t)$, грн.	1952,71 - 2924,44	$D1(t)$	Нижня межа доходу	trimf [1564 1953 2342]
		$D2(t)$	Середня межа доходу	trimf [2267 2656 3045]
		$D3(t)$	Верхня межа доходу	trimf [2535 2924 3313]
$E(t)$, грн.	131-202	$E1(t)$	Нижня межа загальних витрат електроенергії	trimf [102.6 131 159.4]
		$E2(t)$	Середня межа загальних витрат електроенергії	trimf [114.6 143 171.4]
		$E3(t)$	Верхня межа загальних витрат електроенергії	trimf [173.6 202 230.4]
θ , °C	26,8-28	θ_n	Нижня межа температури повітря боксу	trimf [26.32 26.8 27.28]
		θ_v	Верхня межа температури повітря боксу	trimf [27.52 28 28.48]
ϕ , %	50-70	ϕ_1	Нижня межа відносної вологості повітря боксу	trimf [42 50 58]
		ϕ_2	Верхня межа відносної вологості повітря боксу	trimf [62 70 78]
V , грн.	420-840	$V1$	Нижня межа загальних витрат поживного середовища (зерна)	trimf [252 420 588]
		$V2$	Верхня межа загальних витрат поживного середовища (зерна)	trimf [672 840 1008]
P , грн.	862,2 - 1724,4	$P1$	Нижня межа загальних витрат внесених в зерно яєць	trimf [517.2 862.2 1207]
		$P2$	Верхня межа загальних витрат внесених в зерно яєць	trimf [1379 1724 2069]
$\Pi(t)$, грн.	190,74 - 1440,64	$\Pi1(t)$	Нижня межа прибутку	trimf [178.9 190.7 202.5]
		$\Pi2(t)$	Середня межа прибутку	trimf [602.9 614.7 626.5]
		$\Pi3(t)$	Верхня межа прибутку	trimf [1429 1441 1453]

Математичний опис знаходження прибутку передбачає визначення чітких значень $\Pi(t)_0$, використовуючи при цьому базу знань (рис. 4.26) і чіткі значення $D(t)_0, E(t)_0, \theta_0, \varphi_0, V_0, P_0$. Він складався з наступних дій [137]:

1. Визначення ступеню істинності для передумов кожного правила: $D1(t)(D(t)_0), D2(t)(D(t)_0), D3(t)(D(t)_0), E1(t)(E(t)_0), E2(t)(E(t)_0), E3(t)(E(t)_0), \theta n(\theta_0), \theta v(\theta_0), \varphi 1(\varphi_0), \varphi 2(\varphi_0), V1(V_0), V2(V_0), P1(P_0), P2(P_0)$.

2. Знаходження рівнів відсікання для передумов кожного з правил (із використанням операції логічного мінімуму):

$$\alpha_1 = D2(t)(D(t)_0) \wedge E1(t)(E(t)_0) \wedge \theta n(\theta_0) \wedge \varphi 2(\varphi_0) \wedge V1(V_0) \wedge P1(P_0), \quad (4.3)$$

$$\alpha_2 = D2(t)(D(t)_0) \wedge E1(t)(E(t)_0) \wedge \theta n(\theta_0) \wedge \varphi 2(\varphi_0) \wedge V2(V_0) \wedge P1(P_0), \quad (4.4)$$

$$\alpha_3 = D1(t)(D(t)_0) \wedge E2(t)(E(t)_0) \wedge \theta v(\theta_0) \wedge \varphi 1(\varphi_0) \wedge V1(V_0) \wedge P1(P_0), \quad (4.5)$$

$$\alpha_4 = D3(t)(D(t)_0) \wedge E3(t)(E(t)_0) \wedge \theta n(\theta_0) \wedge \varphi 2(\varphi_0) \wedge V1(V_0) \wedge P1(P_0), \quad (4.6)$$

$$\alpha_5 = D2(t)(D(t)_0) \wedge E2(t)(E(t)_0) \wedge \theta v(\theta_0) \wedge \varphi 1(\varphi_0) \wedge V1(V_0) \wedge P2(P_0). \quad (4.7)$$

3. Знаходження усічених функції приналежності:

$$\Pi 3(t)'(\Pi(t)) = (\alpha_1 \wedge \Pi 3(t)(\Pi(t))), \quad (4.8)$$

$$\Pi 2(t)'(\Pi(t)) = (\alpha_2 \wedge \Pi 2(t)(\Pi(t))), \quad (4.9)$$

$$\Pi 2(t)'(\Pi(t)) = (\alpha_3 \wedge \Pi 2(t)(\Pi(t))), \quad (4.10)$$

$$\Pi 3(t)'(\Pi(t)) = (\alpha_4 \wedge \Pi 3(t)(\Pi(t))), \quad (4.11)$$

$$\Pi 1(t)'(\Pi(t)) = (\alpha_5 \wedge \Pi 1(t)(\Pi(t))). \quad (4.12)$$

4. Об'єднання усічених функцій із використанням операції логічного максимуму:

$$\begin{aligned} \mu_\Sigma(\Pi(t)) = & (\alpha_1 \wedge \Pi 3(t)(\Pi(t)) \vee (\alpha_2 \wedge \Pi 2(t)(\Pi(t)) \vee (\alpha_3 \wedge \Pi 2(t)(\Pi(t)) \vee \\ & \vee (\alpha_4 \wedge \Pi 3(t)(\Pi(t)) \vee (\alpha_5 \wedge \Pi 1(t)(\Pi(t))). \end{aligned} \quad (4.13)$$

5. Приведення до чіткості центроїдним методом:

$$\Pi(t)_0 = \frac{\int_{\Omega} \Pi(t) \mu_\Sigma(\Pi(t)) d\Pi(t)}{\int_{\Omega} \mu_\Sigma(\Pi(t)) d\Pi(t)}. \quad (4.14)$$

При цьому визначення чітких значень $D(t)_0, E(t)_0$ проводилось шляхом використання бази знань (рис. 4.23) та чітких значень $\theta_0, \varphi_0, V_0, P_0, \theta 1_0$:

$$\beta_1 = \theta n(\theta_0) \wedge \varphi 2(\varphi_0) \wedge V1(V_0) \wedge P1(P_0) \wedge \theta 12(\theta 1_0), \quad (4.15)$$

$$\beta_2 = \theta n(\theta_0) \wedge \varphi 2(\varphi_0) \wedge V2(V_0) \wedge P1(P_0) \wedge \theta 12(\theta 1_0), \quad (4.16)$$

$$\beta_3 = \theta v(\theta_0) \wedge \varphi 1(\varphi_0) \wedge V1(V_0) \wedge P1(P_0) \wedge \theta 12(\theta 1_0), \quad (4.17)$$

$$\beta_4 = \theta n(\theta_0) \wedge \varphi 2(\varphi_0) \wedge V1(V_0) \wedge P1(P_0) \wedge \theta 11(\theta 1_0), \quad (4.18)$$

$$\beta_5 = \theta v(\theta_0) \wedge \varphi 1(\varphi_0) \wedge V1(V_0) \wedge P2(P_0) \wedge \theta 12(\theta 1_0), \quad (4.19)$$

$$D2(t)'(D(t)) = (\beta_1 \wedge D2(t)(D(t))), \quad (4.20)$$

$$E1(t)'(E(t)) = (\beta_1 \wedge E1(t)(E(t))), \quad (4.21)$$

$$D2(t)'(D(t)) = (\beta_2 \wedge D2(t)(D(t))), \quad (4.22)$$

$$E1(t)'(E(t)) = (\beta_2 \wedge E1(t)(E(t))), \quad (4.23)$$

$$D1(t)'(D(t)) = (\beta_3 \wedge D1(t)(D(t))), \quad (4.24)$$

$$E2(t)'(E(t)) = (\beta_3 \wedge E2(t)(E(t))), \quad (4.25)$$

$$D3(t)'(D(t)) = (\beta_4 \wedge D3(t)(D(t))), \quad (4.26)$$

$$E3(t)'(E(t)) = (\beta_4 \wedge E3(t)(E(t))), \quad (4.27)$$

$$D2(t)'(D(t)) = (\beta_5 \wedge D2(t)(D(t))), \quad (4.28)$$

$$E2(t)'(E(t)) = (\beta_5 \wedge E2(t)(E(t))), \quad (4.29)$$

$$\begin{aligned} \mu_\Sigma(D(t)) = & (\beta_1 \wedge D2(t)(D(t)) \vee (\beta_2 \wedge D2(t)(D(t)) \vee (\beta_3 \wedge D1(t)(D(t)) \vee \\ & \vee (\beta_4 \wedge D3(t)(D(t)) \vee (\beta_5 \wedge D2(t)(D(t))), \end{aligned} \quad (4.30)$$

$$\begin{aligned} \mu_\Sigma(E(t)) = & (\beta_1 \wedge E1(t)(E(t)) \vee (\beta_2 \wedge E1(t)(E(t)) \vee (\beta_3 \wedge E2(t)(E(t)) \vee \\ & \vee (\beta_4 \wedge E3(t)(E(t)) \vee (\beta_5 \wedge E2(t)(E(t))), \end{aligned} \quad (4.31)$$

$$D(t)_0 = \frac{\int_{\Omega} D(t) \mu_\Sigma(D(t)) dD(t)}{\int_{\Omega} \mu_\Sigma(D(t)) dD(t)}, \quad (4.32)$$

$$E(t)_0 = \frac{\int_{\Omega} E(t) \mu_\Sigma(E(t)) dE(t)}{\int_{\Omega} \mu_\Sigma(E(t)) dE(t)}. \quad (4.33)$$

Таким чином, розроблено метод, а на його основі алгоритм керування для енергоефективного виробництва ентомофагів (рис. 4.29), який складається з [118, 138]: контролю температури та відносної вологості повітря боксу, температури навколишнього середовища, загальних витрат поживного

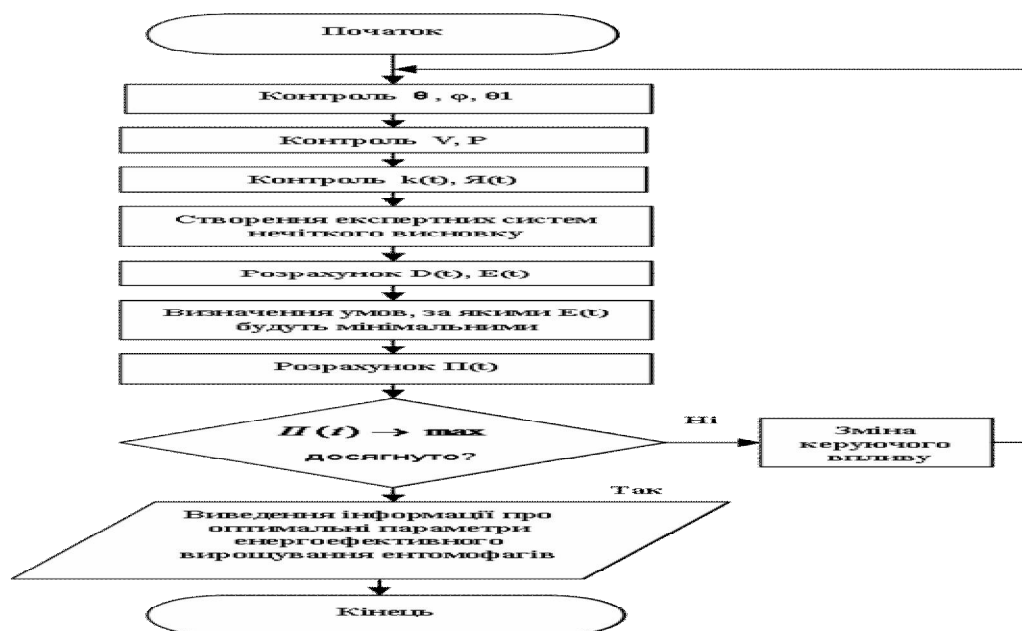


Рис. 4.29. Алгоритм керування для енергоефективного виробництва ентомофагів [138]

середовища та витрат на його інокуляцію яйцями комахи-хазяїна, кількості та якості продукції (відповідно θ , ϕ , θ_1 , V , P , $k(t)$, $Я(t)$) впродовж циклу вирощування; створення експертних систем нечіткого висновку; розрахунку доходу, загальних витрат електроенергії (відповідно $D(t)$, $E(t)$); визначення умов, за якими загальні витрати електроенергії $E(t)$ будуть мінімальними; розрахунку прибутку виробництва $\Pi(t)$; перевірки ступеню досягнення максимізації прибутку виробництва: за умови виконання відбувається виведення інформації про оптимальні параметри енергоефективного виробництва ентомофагів, за умови невиконання – зміна керуючого впливу.

З метою спрощення розрахунку доходу, загальних витрат електроенергії та прибутку виробництва млинової вогнівки за результатами експериментальних досліджень [118] з урахуванням збурення (температури навколишнього середовища) розроблено структурну модель (рис. 4.30), в якій використано такі позначення: $E(t)$ *rozrach*, $D(t)$ *rozrach*, $Pribut$ *rozrach* – відповідно значення загальних витрат електроенергії, доходу та прибутку за нечітким висновком за дією на біологічний об'єкт параметрів мікроклімату (експериментальні значення температури $Temp\ box$ та відносної вологості

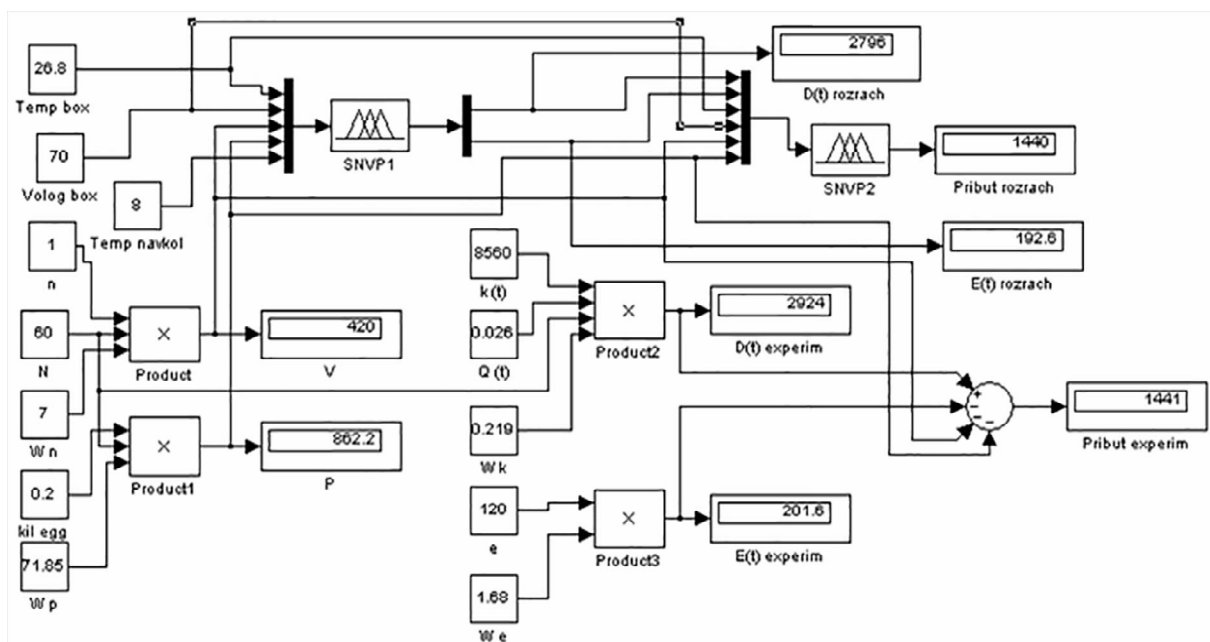


Рис. 4.30. Структурна модель розрахунку доходу, загальних витрат електроенергії та прибутку виробництва млинової вогнівки в інтерактивному середовищі Simulink/MATLAB

повітря боксу Volog box) і температури навколишнього середовища (Temp navkol) і технологічних параметрів виробництва (загальних витрат поживного середовища V ; кількості яєць млинової вогнівки, внесених в зерно, $kil\ egg$; вартості 1 г яєць w_p). Позначення Pribut experim, $D(t)\ experim$, $E(t)\ experim$, $Q(t)$ – відповідно експериментальні значення прибутку, доходу, загальних витрат електроенергії та якості ентомокультур за середньою масою гусениць старшого віку.

4.3. Формалізація визначення якості ентомологічної продукції

На сучасному етапі розвитку біотехнологій одним із важливих завдань є ідентифікація ентомологічних виробництв за критерієм якості продукції, вирішення якого можливе із використанням комп'ютерно-інтегрованих технологій, що містять інтелектуальні алгоритми обробки інформації.

У процесах керування виробництвом ентомологічної продукції за критерієм якості з метою прийняття оптимальних рішень важливим є визначення якості ентомологічної продукції в умовах неповноти інформації [41, 139]. При цьому суттєвою особливістю виробництва ентомофагів є

невизначеність у стані біологічної складової, що виявляється у різній поведінці за дії сукупності факторів впливу [41].

Формалізовано визначення якості ентомологічної продукції системою нечіткого висновку, що містить завдання методу нечіткого висновку та створення бази знань. Продукційні правила бази знань формуються на основі зв'язку показників якості ентомологічної продукції та абіотичних і технологічних параметрів виробництва. Даними для створення бази знань є значення вхідних (параметрів виробництва) та вихідних (показників якості) змінних процесу виробництва, діапазони варіювання вхідних та вихідних змінних, терм-множини кожної змінної, тип і параметри функцій приналежності термів кожної змінної.

Так, за результатами експериментальних досліджень в умовах лабораторного виробництва із використанням системи нечіткого висновку типу Мамдані визначено масу гусениць Y1 млинової вогнівки старшого віку (23,5 мг) в умовах неповної інформації щодо впливу сукупності абіотичних параметрів (температури повітря $\theta=27,4$ °C, відносної вологості повітря $\varphi=60$ %) і технологічних параметрів (кількості внесених в поживне середовище яєць млинової вогнівки $X1=350$ мг яєць/кювету і висоти шару поживного середовища $X2=20$ мм) (рис. 4.31) [139]. При цьому середня помилка апроксимації склала 2,4 % (в межах допустимих значень).

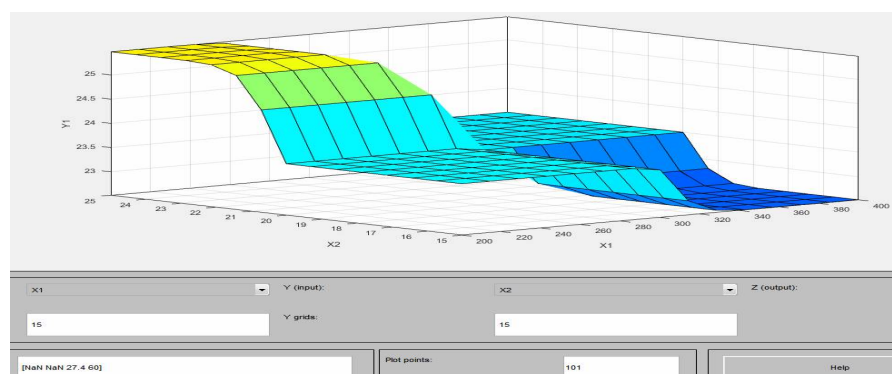


Рис. 4.31. Поверхня нечіткого висновку залежності маси гусениць млинової вогнівки старшого віку від висоти шару поживного середовища та кількості внесених в нього яєць млинової вогнівки

Визначення якості ентомологічної продукції системою нечіткого висновку дає можливість ідентифікувати ентомологічні виробництва за критерієм якості продукції в умовах невизначеності біологічного об'єкту та контролювати якість процесів напрацювання ентомофага та його хазяїна за сукупною дією абіотичних і технологічних параметрів в умовах невизначеності, а також збільшити економічну ефективність їх виробництва на 20 % [139].

4.4. Інформаційне забезпечення інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів

Для підвищення ефективності виробництва, визначення якості ентомокультур в умовах неповної вхідної інформації розроблено інформаційне забезпечення інтелектуальної системи керування (рис. 4.32), яке реалізовано базою даних (Microsoft Office Access) показників якості ентомокультур, параметрів техноценозу (рис. 4.33, рис. 4.34) та інтелектуальною підсистемою підтримки прийняття рішень.

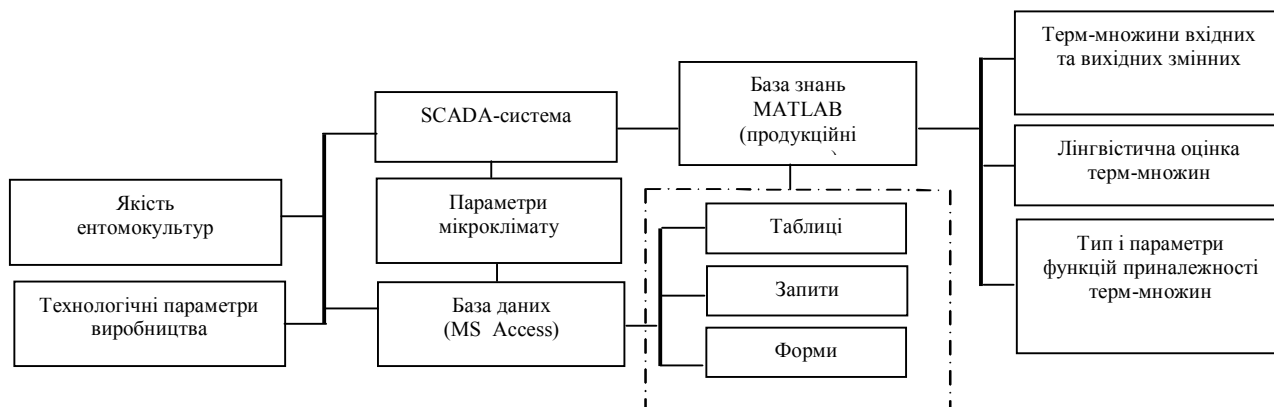


Рис. 4.32. Архітектура інформаційного забезпечення інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів [140]

	Id тем 2016	Дата	Середня температура повітря боксу за добу, оС
1	1	30.05.2016	26,38
2	2	31.05.2016	26,09
3	3	01.06.2016	26,08
4	4	02.06.2016	26,36
5	5	06.06.2016	26,4
6	6	07.06.2016	26,46
7	7	08.06.2016	26,33

Рис. 4.33. Фрагмент таблиці бази даних про середню температуру повітря боксу за добу при вирощуванні млинової вогнівки

	Id вол 2016	Дата	Середня відносна вологість повітря боксу за добу, %	Id мл вол	Уставка вологості повітря, %
1	1	30.05.2016	63,08	2	60
2	2	31.05.2016	64,66	2	60
3	3	01.06.2016	65,18	2	60
4	4	02.06.2016	64,36	2	60
5	5	06.06.2016	62,71	2	60
6	6	07.06.2016	59,47	2	60
7	7	08.06.2016	58,76	2	60
8	8	09.06.2016	61,06	2	60

Рис. 4.34. Фрагмент таблиці бази даних про середню відносну вологість повітря боксу за добу при вирощуванні млинової вогнівки

База даних необхідна для зберігання в структурованому вигляді інформації з нижнього рівня інтелектуальної системи керування (щодо температури θ та відносної вологості повітря ϕ в зоні розвитку комах; витрат електроенергії $E(t)$; кількості $k(t)$ та якості $Y(t)$ ентомологічної продукції; температури поживного середовища комахи-хазяїна θ^{PS} ; виду поживного середовища комахи-хазяїна W , його загальних витрат V та загальних витрат P на інокуляцію зерна) для побудови підсистеми підтримки прийняття рішень.

До складу підсистеми підтримки прийняття рішень входять розроблені: експертна підсистема нечіткого висновку типу Мамдані щодо якості виробництва ентомофага бракон на базі Fuzzy Logic Toolbox MATLAB; гібридна мережа для формування керуючих впливів при виробництві ентомофага бракон; алгоритм оптимізації виробництва ентомофагів за критерієм якості на основі використання нечіткої логіки і функції бажаності Харрінгтона; метод оптимального керування виробництвом ентомофагів із використанням ієрархічного дерева логічного висновку і теорії нечіткої логіки; регресійні моделі якості ентомологічної продукції; інформаційно-аналітична підсистема біологічних показників якості ентомофагів та їх аналогів; загальний алгоритм функціонування інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів; структура дій щодо керування виробництвом ентомофагів.

Для бази знань експертної підсистеми відібрано фактори, які мають суттєвий вплив на якість виробництва ентомофага бракон. До них відносяться:

X1 – температура повітря, °C; X2 – відносна вологість повітря, %; X3 – висота шару поживного середовища, мм; X4 – кількість яєць комахи-хазяїна (млинової вогнівки), внесених в поживне середовище, мг/кювету; X5 – вид поживного середовища (подрібнений ячмінь; подрібнена кукурудза) [140].

Якість виробництва ентомофага бракон характеризувано такими показниками: Y1 – середня кількість імаго бракона, отриманих з однієї самки, шт.; Y2 – кількість заражених браконом гусениць млинової вогнівки, %; Y3 – середня маса гусениць млинової вогнівки старшого віку, мг; Y4 – кількість самок бракона, % [140]. В табл. 4.8 наведено дані для створення бази знань експертної підсистеми нечіткого висновку.

Таблиця 4.8

Дані для створення бази знань експертної підсистеми [140]

Вхідні та вихідні змінні	Діапазон змінювання вхідних та вихідних змінних	Терм-множини	Лінгвістична оцінка	Тип і параметри функції належності
X1, °C	23-29	LT	Низька температура	Gaussmf [1,03; 23]
		MT	Середня температура	Gaussmf 1,03; 26]
		HT	Висока температура	Gaussmf 1,03; 29]
X2, %	60-80	LV	Низька вологість	Gaussmf [3,4; 60]
		MV	Середня вологість	Gaussmf [3,4; 70]
		HV	Висока вологість	Gaussmf [3,4; 80]
X3, мм	15-25	LSh	Низький шар	Gaussmf 1,7; 15]
		HSh	Високий шар	Gaussmf [1,7; 25]
X4, мг яєць/кювету	150-400	LC	Низька кількість яєць	Gaussmf [42,5; 150]
		MC	Середня кількість яєць	Gaussmf [42,5; 275]
		HC	Висока кількість яєць	Gaussmf [42,5; 400]
X5	0-1	Bar	Корм ячмінь	Gaussmf [0,17; 0,5]
		Corn	Корм кукурудза	Gaussmf [0,17; 1]
Y1, шт.	21-35	LCI	Низька кількість імаго	Trimf [15,4; 21; 26,6]
		MCI	Середня кількість імаго	Trimf [22,4; 28; 33,6]
		HCI	Висока кількість імаго	Trimf [29,4; 35; 40,6]
Y2, %	30-53	LCG	Низька кількість гусениць	Trimf [20,86; 30,06; 39,26]
		HCG	Висока кількість гусениць	Trimf [43,8; 53; 62,2]
Y3, мг	21-32	LMG	Низька маса гусениць	Trimf [16,6; 21; 25,4]
		MMG	Нормальна маса гусениць	Trimf [22,1; 26,5; 30,9]
		HMG	Висока маса гусениць	Trimf [27,6; 32; 36,4]
Y4, %	49-55	LCS	Нормальна кількість самок	Trimf [46,6; 49; 51,4]
		MCS	Кількість самок вища за нормальну	Trimf [49,6; 52; 54,4]
		HCS	Висока кількість самок	Trimf [52,6; 55; 57,4]

Фазифікація вхідних термів здійснювалась за допомогою гаусової функції приналежності $y = gaussmf([x, [c, b])$, що задається формулою [126]:

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}, \quad (4.34)$$

де b – координата максимуму функції приналежності;

c – коефіцієнт концентрації функції приналежності [126].

Фаззифікація вихідних термів – за допомогою трикутної функції приналежності $y = trimf(x, [a, b, c])$, що задається формулою [126]:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}, \quad (4.35)$$

де x – вектор, для координат якого необхідно розрахувати ступені приналежності;

$[a, c]$ – діапазон варіювання змінної;

b – найбільш можливе значення змінної [126].

Параметри функції приналежності (4.35) повинні задовольняти умові [126]:

$$a \leq b \leq c. \quad (4.36)$$

В табл. 4.9 наведено базу знань експертної підсистеми (16 продукційних правил): кожний рядок таблиці відповідає одному правилу (П).

Таблиця 4.9

База знань експертної підсистеми нечіткого висновку

№	X1	X2	X3	X4	X5	Y1	Y2	Y3	Y4
1	LT	LV	-	-	-	LCI	LCG	-	LCS
2	LT	MV	-	-	-	MCI	LCG	-	LCS
3	LT	HV	-	-	-	MCI	LCG	-	MCS
4	MT	LV	-	-	-	LCI	HCG	-	MCS
5	MT	MV	-	-	-	HCI	HCG	-	MCS
6	MT	HV	-	-	-	HCI	HCG	-	HCS
7	HT	LV	-	-	-	LCI	HCG	-	LCS
8	HT	MV	-	-	-	HCI	HCG	-	MCS
9	HT	HV	-	-	-	HCI	HCG	-	MCS
10	MT	LV	LSh	LC	Corn	-	-	HMG	-
11	MT	LV	LSh	MC	Bar	-	-	MMG	-
12	MT	MV	LSh	MC	Bar	-	-	MMG	-
13	MT	MV	LSh	HC	Bar	-	-	LMG	-
14	MT	MV	HSh	MC	Bar	-	-	MMG	-
15	MT	MV	HSh	HC	Bar	-	-	LMG	-
16	HT	HV	LSh	MC	Corn			HMG	

Так, П1: якщо $X1$ = «Низька температура» і $X2$ = «Низька вологість», то $Y1$ = «Низька кількість імаго» і $Y2$ = «Низька кількість гусениць» і $Y4$ = «Нормальна кількість самок»;

П2: якщо $X1 = \text{«Низька температура»}$ і $X2 = \text{«Середня вологість»}$, то $Y1 = \text{«Середня кількість імаго»}$ і $Y2 = \text{«Низька кількість гусениць»}$ і $Y4 = \text{«Нормальна кількість самок»}$;

П3: якщо $X1 = \text{«Низька температура»}$ і $X2 = \text{«Висока вологість»}$, то $Y1 = \text{«Середня кількість імаго»}$ і $Y2 = \text{«Низька кількість гусениць»}$ і $Y4 = \text{«Кількість самок вища за нормальну»}$;

П4: якщо $X1 = \text{«Середня температура»}$ і $X2 = \text{«Низька вологість»}$, то $Y1 = \text{«Низька кількість імаго»}$ і $Y2 = \text{«Висока кількість гусениць»}$ і $Y4 = \text{«Кількість самок вища за нормальну»}$;

П5: якщо $X1 = \text{«Середня температура»}$ і $X2 = \text{«Середня вологість»}$, то $Y1 = \text{«Висока кількість імаго»}$ і $Y2 = \text{«Висока кількість гусениць»}$ і $Y4 = \text{«Кількість самок вища за нормальну»}$;

П6: якщо $X1 = \text{«Середня температура»}$ і $X2 = \text{«Висока вологість»}$, то $Y1 = \text{«Висока кількість імаго»}$ і $Y2 = \text{«Висока кількість гусениць»}$ і $Y4 = \text{«Висока кількість самок»}$;

П7: якщо $X1 = \text{«Висока температура»}$ і $X2 = \text{«Низька вологість»}$, то $Y1 = \text{«Низька кількість імаго»}$ і $Y2 = \text{«Висока кількість гусениць»}$ і $Y4 = \text{«Нормальна кількість самок»}$;

П8: якщо $X1 = \text{«Висока температура»}$ і $X2 = \text{«Середня вологість»}$, то $Y1 = \text{«Висока кількість імаго»}$ і $Y2 = \text{«Висока кількість гусениць»}$ і $Y4 = \text{«Кількість самок вища за нормальну»}$;

П9: якщо $X1 = \text{«Низька температура»}$ і $X2 = \text{«Висока вологість»}$, то $Y1 = \text{«Висока кількість імаго»}$ і $Y2 = \text{«Висока кількість гусениць»}$ і $Y4 = \text{«Кількість самок вища за нормальну»}$;

П10: якщо $X1 = \text{«Середня температура»}$ і $X2 = \text{«Низька вологість»}$ і $X3 = \text{«Низький шар»}$ і $X4 = \text{«Низька кількість яєць»}$ і $X5 = \text{«Корм кукурудза»}$, то $Y3 = \text{«Висока маса гусениць»}$;

П11: якщо $X1 = \text{«Середня температура»}$ і $X2 = \text{«Низька вологість»}$ і $X3 = \text{«Низький шар»}$ і $X4 = \text{«Середня кількість яєць»}$ і $X5 = \text{«Корм ячмінь»}$, то $Y3 = \text{«Нормальна маса гусениць»}$;

П12: якщо $X1 = \text{«Середня температура»}$ і $X2 = \text{«Середня вологість»}$ і $X3 = \text{«Низький шар»}$ і $X4 = \text{«Середня кількість яєць»}$ і $X5 = \text{«Корм ячмінь»}$, то $Y3 = \text{«Нормальна маса гусениць»}$;

П13: якщо $X1 = \text{«Середня температура»}$ і $X2 = \text{«Середня вологість»}$ і $X3 = \text{«Низький шар»}$ і $X4 = \text{«Висока кількість яєць»}$ і $X5 = \text{«Корм ячмінь»}$, то $Y3 = \text{«Низька маса гусениць»}$;

П14: якщо $X1 = \text{«Середня температура»}$ і $X2 = \text{«Середня вологість»}$ і $X3 = \text{«Високий шар»}$ і $X4 = \text{«Середня кількість яєць»}$ і $X5 = \text{«Корм ячмінь»}$, то $Y3 = \text{«Нормальна маса гусениць»}$;

П15: якщо $X1 = \text{«Середня температура»}$ і $X2 = \text{«Середня вологість»}$ і $X3 = \text{«Високий шар»}$ і $X4 = \text{«Висока кількість яєць»}$ і $X5 = \text{«Корм ячмінь»}$, то $Y3 = \text{«Низька маса гусениць»}$;

П16: якщо $X1 = \text{«Висока температура»}$ і $X2 = \text{«Висока вологість»}$ і $X3 = \text{«Низький шар»}$ і $X4 = \text{«Середня кількість яєць»}$ і $X5 = \text{«Корм кукурудза»}$, то $Y3 = \text{«Висока маса гусениць»}$.

Математичний опис алгоритму нечіткого висновку типу Мамдані [126, 137] для нечіткої підсистеми прийняття рішень передбачає визначення чітких значень Y_{10} , Y_{20} , Y_{30} , Y_{40} , використовуючи при цьому базу знань (табл. 4.9) і чіткі значення X_{10} , X_{20} , X_{30} , X_{40} .

Базу знань Мамдані складають правила, в яких нечіткими множинами задаються і антецеденти – if-частини, і консеквенти – then-частини [141]. Нечітку базу знань Мамдані (у відповідності з інформацією, наведеною у табл. 4.9) про залежність між входами $X1$, $X2$, $X3$, $X4$ та виходами $Y1$, $Y2$, $Y3$, $Y4$ можливо записати таким чином [141]:

$$\text{If}(X1 = \tilde{a}_{1j} \text{ and } X2 = \tilde{a}_{2j}) \text{ then } (Y1 = \tilde{d}_{1j} \text{ and } Y2 = \tilde{d}_{2j} \text{ and } Y4 = \tilde{d}_{4j}), \quad (4.37)$$

де \tilde{a}_{1j} , \tilde{a}_{2j} – нечіткі терми LT і LV, якими оцінено фактори $X1$ та $X2$ в j -му (першому) правилі ($j = \overline{1, m}$, m – кількість правил; в даному випадку 16 правил); \tilde{d}_{1j} , \tilde{d}_{2j} , \tilde{d}_{4j} – консеквенти j -го правила (першого), які задано нечіткими термами LCI, LCG, LCS.

Математичний опис алгоритму нечіткого висновку типу Мамдані для нечіткої підсистеми прийняття рішень складається з наступних дій [137]:

1. Нечіткість: знаходять ступені істинності для передумов кожного правила: $LT(X_{1(0)})$, $MT(X_{1(0)})$, $HT(X_{1(0)})$, $LV(X_{2(0)})$, $MV(X_{2(0)})$, $HV(X_{2(0)})$, $LSh(X_{3(0)})$, $HSh(X_{3(0)})$, $LC(X_{4(0)})$, $MC(X_{4(0)})$, $HC(X_{4(0)})$, $Corn(X_{5(0)})$, $Bar(X_{5(0)})$.

2. Нечіткий висновок: визначаються рівні відсікання для передумов кожного з правил (із використанням операції мінімуму):

$$\alpha_1 = LT(X_{1(0)}) \wedge LV(X_{2(0)}) = \min\{LT(X_{1(0)}), LV(X_{2(0)})\}, \quad (4.38)$$

$$\alpha_2 = LT(X_{1(0)}) \wedge MV(X_{2(0)}), \quad (4.39)$$

$$\alpha_3 = LT(X_{1(0)}) \wedge HV(X_{2(0)}), \quad (4.40)$$

$$\alpha_4 = MT(X_{1(0)}) \wedge LV(X_{2(0)}), \quad (4.41)$$

$$\alpha_5 = MT(X_{1(0)}) \wedge MV(X_{2(0)}), \quad (4.42)$$

$$\alpha_6 = MT(X_{1(0)}) \wedge HV(X_{2(0)}), \quad (4.43)$$

$$\alpha_7 = HT(X_{1(0)}) \wedge LV(X_{2(0)}), \quad (4.44)$$

$$\alpha_8 = HT(X_{1(0)}) \wedge MV(X_{2(0)}), \quad (4.45)$$

$$\alpha_9 = HT(X_{1(0)}) \wedge HV(X_{2(0)}), \quad (4.46)$$

$$\alpha_{10} = MT(X_{1(0)}) \wedge LV(X_{2(0)}) \wedge LSh(X_{3(0)}) \wedge LC(X_{4(0)}) \wedge Corn(X_{5(0)}), \quad (4.47)$$

$$\alpha_{11} = MT(X_{1(0)}) \wedge LV(X_{2(0)}) \wedge LSh(X_{3(0)}) \wedge MC(X_{4(0)}) \wedge Bar(X_{5(0)}), \quad (4.48)$$

$$\alpha_{12} = MT(X_{1(0)}) \wedge MV(X_{2(0)}) \wedge LSh(X_{3(0)}) \wedge MC(X_{4(0)}) \wedge Bar(X_{5(0)}), \quad (4.49)$$

$$\alpha_{13} = MT(X_{1(0)}) \wedge MV(X_{2(0)}) \wedge LSh(X_{3(0)}) \wedge HC(X_{4(0)}) \wedge Bar(X_{5(0)}), \quad (4.50)$$

$$\alpha_{14} = MT(X_{1(0)}) \wedge MV(X_{2(0)}) \wedge HSh(X_{3(0)}) \wedge MC(X_{4(0)}) \wedge Bar(X_{5(0)}), \quad (4.51)$$

$$\alpha_{15} = MT(X_{1(0)}) \wedge MV(X_{2(0)}) \wedge HSh(X_{3(0)}) \wedge HC(X_{4(0)}) \wedge Bar(X_{5(0)}), \quad (4.52)$$

$$\alpha_{16} = HT(X_{1(0)}) \wedge HV(X_{2(0)}) \wedge LSh(X_{3(0)}) \wedge MC(X_{4(0)}) \wedge Corn(X_{5(0)}). \quad (4.53)$$

3. Потім знаходять усічені функції приналежності:

$$LCI'(Y1) = (\alpha_1 \wedge LCI(Y1)), \quad (4.54)$$

$$LCG'(Y2) = (\alpha_1 \wedge LCG(Y2)), \quad (4.55)$$

$$LCS'(Y4) = (\alpha_1 \wedge LCS(Y4)), \quad (4.56)$$

$$MCI'(Y1) = (\alpha_2 \wedge MCI(Y1)), \quad (4.57)$$

$$LCG'(Y2) = (\alpha_2 \wedge LCG(Y2)), \quad (4.58)$$

$$LCS'(Y4) = (\alpha_2 \wedge LCS(Y4)), \quad (4.59)$$

$$MCI'(Y1) = (\alpha_3 \wedge MCI(Y1)), \quad (4.60)$$

$$LCG'(Y2) = (\alpha_3 \wedge LCG(Y2)), \quad (4.61)$$

$$MCS'(Y4) = (\alpha_3 \wedge MCS(Y4)), \quad (4.62)$$

$$LCI'(Y1) = (\alpha_4 \wedge LCI(Y1)), \quad (4.63)$$

$$HCG'(Y2) = (\alpha_4 \wedge HCG(Y2)), \quad (4.64)$$

$$MCS'(Y4) = (\alpha_4 \wedge MCS(Y4)), \quad (4.65)$$

$$HCI'(Y1) = (\alpha_5 \wedge HCI(Y1)), \quad (4.66)$$

$$HCG'(Y2) = (\alpha_5 \wedge HCG(Y2)), \quad (4.67)$$

$$MCS'(Y4) = (\alpha_5 \wedge MCS(Y4)), \quad (4.68)$$

$$HCI'(Y1) = (\alpha_6 \wedge HCI(Y1)), \quad (4.69)$$

$$HCG'(Y2) = (\alpha_6 \wedge HCG(Y2)), \quad (4.70)$$

$$HCS'(Y4) = (\alpha_6 \wedge HCS(Y4)), \quad (4.71)$$

$$LCI'(Y1) = (\alpha_7 \wedge LCI(Y1)), \quad (4.72)$$

$$HCG'(Y2) = (\alpha_7 \wedge HCG(Y2)), \quad (4.73)$$

$$LCS'(Y4) = (\alpha_7 \wedge LCS(Y4)), \quad (4.74)$$

$$HCI'(Y1) = (\alpha_8 \wedge HCI(Y1)), \quad (4.75)$$

$$HCG'(Y2) = (\alpha_8 \wedge HCG(Y2)), \quad (4.76)$$

$$MCS'(Y4) = (\alpha_8 \wedge MCS(Y4)), \quad (4.77)$$

$$HCI'(Y1) = (\alpha_9 \wedge HCI(Y1)), \quad (4.78)$$

$$HCG'(Y2) = (\alpha_9 \wedge HCG(Y2)), \quad (4.79)$$

$$MCS'(Y4) = (\alpha_9 \wedge MCS(Y4)), \quad (4.80)$$

$$HMG'(Y3) = (\alpha_{10} \wedge HMG(Y3)), \quad (4.81)$$

$$MMG'(Y3) = (\alpha_{11} \wedge MMG(Y3)), \quad (4.82)$$

$$MMG'(Y3) = (\alpha_{12} \wedge MMG(Y3)), \quad (4.83)$$

$$LMG'(Y3) = (\alpha_{13} \wedge LMG(Y3)), \quad (4.84)$$

$$MMG'(Y3) = (\alpha_{14} \wedge MMG(Y3)), \quad (4.85)$$

$$LMG'(Y3) = (\alpha_{15} \wedge LMG(Y3)), \quad (4.86)$$

$$HMG'(Y3) = (\alpha_{16} \wedge HMG(Y3)). \quad (4.87)$$

4. Композиція проводиться із використанням операції \max – здійснюється об'єднання знайдених усічених функцій:

$$\begin{aligned} \mu_{\Sigma}(Y1) = & (\alpha_1 \wedge LCI(Y1)) \vee (\alpha_2 \wedge MCI(Y1)) \vee (\alpha_3 \wedge MCI(Y1)) \vee (\alpha_4 \wedge LCI(Y1)) \\ & \vee (\alpha_5 \wedge HCI(Y1)) \vee (\alpha_6 \wedge HCI(Y1)) \vee (\alpha_7 \wedge (LCI(Y1)) \vee (\alpha_8 \wedge (HCI(Y1)) \vee (\alpha_9 \wedge (HCI(Y1))) \end{aligned} \quad (4.88)$$

$$\begin{aligned} \mu_{\Sigma}(Y2) = & (\alpha_1 \wedge LCG(Y2)) \vee (\alpha_2 \wedge LCG(Y2)) \vee (\alpha_3 \wedge LCG(Y2)) \vee (\alpha_4 \wedge HCG(Y2)) \\ & \vee (\alpha_5 \wedge HCG(Y2)) \vee (\alpha_6 \wedge HCG(Y2)) \vee (\alpha_7 \wedge (HCG(Y2)) \vee (\alpha_8 \wedge (HCG(Y2)) \vee (\alpha_9 \wedge \\ & (HCG(Y2)) \vee (\alpha_{14} \wedge HCG(Y2)) \end{aligned} \quad (4.89)$$

$$\begin{aligned} \mu_{\Sigma}(Y3) = & (\alpha_{10} \wedge HMG(Y3)) \vee (\alpha_{11} \wedge MMG(Y3)) \vee (\alpha_{12} \wedge MMG(Y3)) \vee (\alpha_{13} \wedge LMG(Y3)) \\ & \vee (\alpha_{14} \wedge MMG(Y3)) \vee (\alpha_{15} \wedge LMG(Y3)) \vee (\alpha_{16} \wedge HMG(Y3)) \end{aligned} \quad (4.90)$$

$$\begin{aligned} \mu_{\Sigma}(Y4) = & (\alpha_1 \wedge LCS(Y4)) \vee (\alpha_2 \wedge LCS(Y4)) \vee (\alpha_3 \wedge MCS(Y4)) \vee (\alpha_4 \wedge MCS(Y4)) \\ & \vee (\alpha_5 \wedge MCS(Y4)) \vee (\alpha_6 \wedge HCS(Y4)) \vee (\alpha_7 \wedge LCS(Y4)) \vee (\alpha_8 \wedge MCS(Y4)) \vee (\alpha_9 \wedge MCS(Y4)) \end{aligned} \quad (4.91)$$

5. Приведення до чіткості проводиться, зокрема, центроїдним методом:

$$Y_{1(0)} = \frac{\int_{\Omega} Y1 \mu_{\Sigma}(Y1) dY1}{\int_{\Omega} \mu_{\Sigma}(Y1) dY1}, \quad (4.92)$$

$$Y_{2(0)} = \frac{\int_{\Omega} Y2 \mu_{\Sigma}(Y2) dY2}{\int_{\Omega} \mu_{\Sigma}(Y2) dY2}, \quad (4.93)$$

$$Y_{3(0)} = \frac{\int_{\Omega} Y3 \mu_{\Sigma}(Y3) dY3}{\int_{\Omega} \mu_{\Sigma}(Y3) dY3}, \quad (4.94)$$

$$Y_{4(0)} = \frac{\int Y_4 \mu_{\Sigma}(Y_4) dY_4}{\int \mu_{\Sigma}(Y_4) dY_4} \quad (4.95)$$

Середня помилка апроксимації між експериментальними значеннями показників якості виробництва ентомофага бракон та за результатами нечіткого висновку розраховується таким чином [84]:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m \left| \frac{Y_i^e - Y_i^n}{Y_i^e} \right| \cdot 100 \% , \quad (4.96)$$

де n – кількість вимірювань;

m – кількість показників якості виробництва ентомофага бракон;

Y_i^e – експериментальні значення показників;

Y_i^n – значення показників якості виробництва ентомофага бракон за результатами нечіткого висновку.

Середня помилка апроксимації знаходиться в межах допустимих значень (не перевищує 8-10 % [84]) і складає: за Y_1 – 3,6 %, Y_2 – 4,6 %, Y_3 – 3,7 %, Y_4 – 1,3 %.

На рис. 4.35, рис. 4.36 наведено поверхні нечіткого висновку, які дозволяють візуально простежити залежності показників якості від факторів впливу.

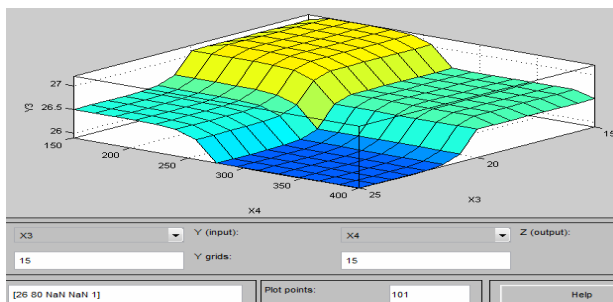


Рис. 4.35. Залежність середньої маси гусениць млинової вогнівки від висоти шару поживного середовища та кількості яєць, внесених в нього, при температурі 26 °С та відносній вологості повітря 80 % за нечітким висновком

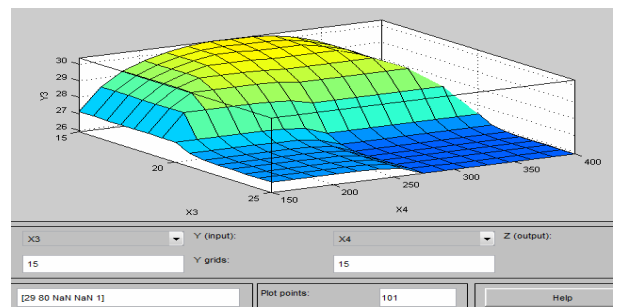


Рис. 4.36. Залежність середньої маси гусениць млинової вогнівки від висоти шару поживного середовища та кількості яєць, внесених в нього, при температурі 29 °С та відносній вологості повітря 80 % за нечітким висновком

Аналіз поверхонь показує, що при змінюванні кількості яєць у діапазоні (150-400) мг/кювету, висоти шару зерна кукурудзи в діапазоні (15-25) мм при середній температурі 26 °С та високій вологості повітря (80 %) середня маса гусениць млинової вогнівки буде нормальною (рис. 4.35), а при високій температурі (29 °С) і таких же параметрах – високою (рис. 4.36).

За результатами досліджень, проведених фахівцями ІТІ «Біотехніка», для формування керуючих впливів при виробництві ентомофага бракон із використанням ANFIS-редактора MATLAB розроблено гібридну мережу (рис. 4.37) [142], яка на базі експериментальних залежностей кількості заражених паразитом гусениць млинової вогнівки від температури та відносної вологості повітря в зоні розведення ентомокультур автоматично створила базу знань та поверхню нечіткого логічного висновку (рис. 4.38).

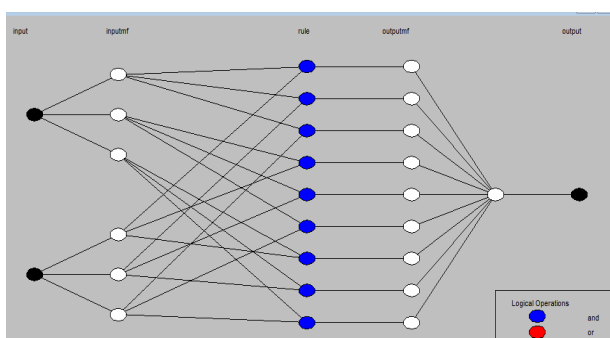


Рис. 4.37. Згенерована гібридна мережа [142]

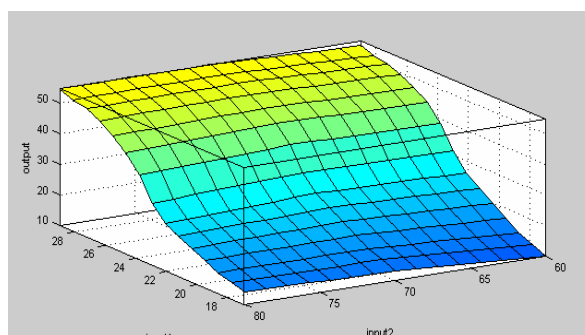


Рис. 4.38. Поверхня нечіткого висновку гібридної мережі [142]

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 %) [34, 142]. Середня помилка апроксимації між результатами експерименту та використання гібридної мережі становить 7,3 % (в межах допустимих значень) [84, 142].

Розроблено алгоритм оптимізації виробництва ентомофагів за критерієм якості (рис. 4.39) на основі використання нечіткої логіки і функції бажаності Харрінгтона на прикладі ентомологічного препарату бракон [140, 143]. Вихідними даними для оптимізації були значення біологічних показників

якості (P_1 - кількість самок, %; P_2 - кількість імаго, отриманих з однієї самки, шт.; P_3 - кількість заражених гусениць млинової вогнівки, %) за результатами експериментальних досліджень, проведених фахівцями ІТІ «Біотехніка» НААН при різних параметрах техноценозу (температури та відносної вологості повітря в зоні вирощування комах) [143].

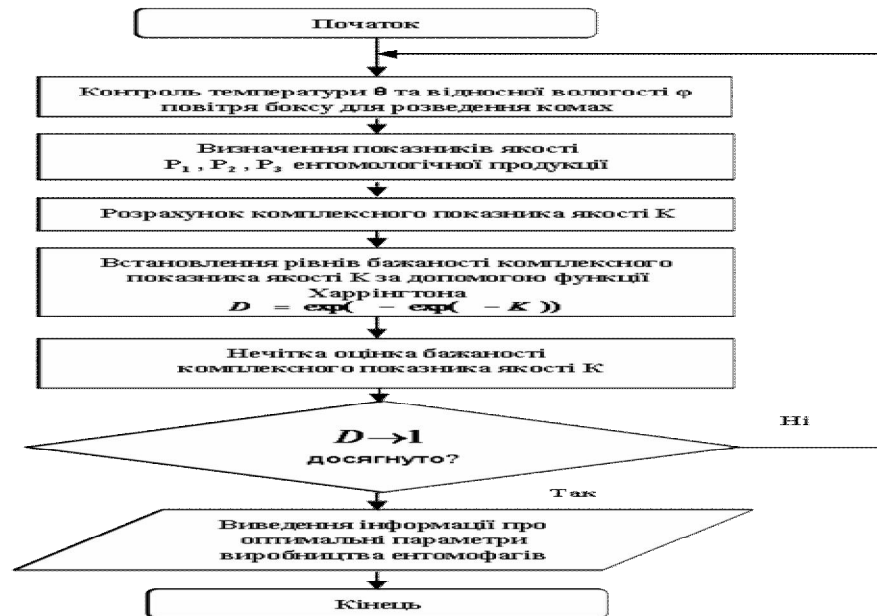


Рис. 4.39. Алгоритм оптимізації виробництва ентомофагів

Комплексний показник якості ентомокультур через неоднорідність біологічних показників розраховується за виразом [143, 144]:

$$K = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \frac{P_j}{P_j^{\delta}}}, \quad (4.97)$$

де P_j – абсолютне значення j -го показника якості ентомокультур;

P_j^{δ} – його базове значення;

n – кількість показників.

Базові значення показників якості бракона становлять: P_1^{δ} – не менше 45 %, P_2^{δ} – не менше 20 шт., P_3^{δ} – не менше 40 % [34].

Для встановлення відповідності між значеннями комплексних показників якості ентомофага бракон при різних значеннях параметрів техноценозу та їх бажаністю використано функцію Харрінгтона D [145]:

$$D = \exp(-\exp(-K)). \quad (4.98)$$

Критерієм оптимізації виробництва ентомофагів є наближеність бажаності D комплексного показника якості до лінгвістичної оцінки «дуже добра» у відповідності зі шкалою бажаності Харрінгтона (табл. 4.10).

Таблиця 4.10

Стандартні відмітки за шкалою бажаності Е. Харрінгтона [146]

Бажаність	Відмітки на шкалі бажаності
Дуже добра	1,00-0,80
Добра	0,80-0,63
Задовільна	0,63-0,37
Погана	0,37-0,20
Дуже погана	0,20-0,00

У табл. 4.11 наведено рівні бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон в залежності від ступеню наближеності біологічних показників якості до базових значень при різних параметрах техноценозу.

Таблиця 4.11

Рівні бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон [143]

P_1^6 %	P_2^6 шт.	P_3^6 %	P_1 – кількість самок бракона, %	P_2 – кіль- кість імаго бракона з однієї сам- ки, шт.	P_3 – кількість заражених гусениць млинової вогнівки, %	θ – тем- пература повітря, °C	φ – відносна вологість повітря, %	K – комплекс- ний показник якості ентомофага бракон	Експери- ментальна бажаність D	Лінгвіс- тична оцінка D
Не мен- ше 45	Не мен- ше 20	Не мен- ше 40	49	10	12	17	60	0,55	0,56	Погана
			52	3	14	17	70	0,39	0,51	Погана
			50	8	15	17	80	0,55	0,56	Погана
			50	11	15	20	60	0,61	0,58	Погана
			55	16	19	20	70	0,77	0,63	Погана
			51	15	18	20	80	0,73	0,62	Погана
			50	21	32	23	60	0,98	0,69	Задовільна
			50	28	32	23	70	1,08	0,71	Задовільна
			52	28	30	23	80	1,07	0,71	Задовільна
			51	24	51	26	60	1,20	0,74	Добра
			51	32	52	26	70	1,33	0,77	Дуже добра
			55	33	51	26	80	1,37	0,78	Дуже добра
			49	21	51	29	60	1,13	0,72	Добра
			53	33	53	29	70	1,37	0,78	Дуже добра
			51	35	53	29	80	1,38	0,78	Дуже добра

Як видно з табл. 4.11, експериментальні дослідження проводились при обмежених значеннях температури повітря: так, відсутні дані щодо якості ентомокультур при температурі 18 °C, 19 °C, 21 °C, 22 °C, 27 °C, 28 °C (не

завжди є можливість провести експериментальну оцінку ступеня впливу факторів). Особливість біологічного об'єкта бракон полягає в його різній поведінці під дією значної кількості факторів впливу (абіотичних, біотичних, технологічних) [143].

Для нечіткої оцінки бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон було використано пакет розширення Fuzzy Logic Toolbox Matlab і систему нечіткого висновку типу Мамдані. В табл. 4.12 наведено дані для створення бази знань. За результатами визначення рівнів бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон створено нечітку базу знань (рис. 4.40).

Таблиця 4.12

Дані для створення бази знань [143]

Вхідні та вихідні змінні	Діапазон змінювання вхідних та вихідних змінних	Терм-множини	Лінгвістична оцінка	Тип і параметри функції належності
T, °C	17-29	T1	Низька температура	Gaussmf [2,038; 17]
		T2	Середня температура	Gaussmf [2,038; 23]
		T3	Висока температура	Gaussmf [2,038; 29]
W, %	60-80	W1	Низька вологість	Gaussmf [3,397; 60]
		W2	Середня вологість	Gaussmf [3,397; 70]
		W3	Висока вологість	Gaussmf [3,397; 80]
D	0,51-0,78	D1	Погана бажаність	Trimf [0,54; 0,63; 0,72]
		D2	Задовільна бажаність	Trimf [0,62; 0,71; 0,8]
		D3	Добра бажаність	Trimf [0,65; 0,74; 0,83]
		D4	Дуже добра бажаність	Trimf [0,69; 0,78; 0,87]

```

1. If (T is T1) and (W is W1) then (D is D1) (1)
2. If (T is T1) and (W is W2) then (D is D1) (1)
3. If (T is T1) and (W is W3) then (D is D1) (1)
4. If (T is T2) and (W is W1) then (D is D2) (1)
5. If (T is T2) and (W is W2) then (D is D2) (1)
6. If (T is T2) and (W is W3) then (D is D2) (1)
7. If (T is T2) and (W is W1) then (D is D3) (1)
8. If (T is T2) and (W is W2) then (D is D4) (1)
9. If (T is T2) and (W is W3) then (D is D4) (1)
10. If (T is T3) and (W is W1) then (D is D3) (1)
11. If (T is T3) and (W is W2) then (D is D4) (1)
12. If (T is T3) and (W is W3) then (D is D4) (1)

```

Рис. 4.40. Вигляд редактора правил нечіткої системи оцінки бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон [143]

Правила бази знань (рис. 4.40) формалізовано таким чином:

П1: якщо $T \in$ «Низька температура» і $W \in$ «Низька вологість», то $D \in$ «Погана бажаність»;

П2: якщо $T \in$ «Низька температура» і $W \in$ «Середня вологість», то $D \in$ «Погана бажаність»;

П3: якщо $T \in$ «Низька температура» і $W \in$ «Висока вологість», то $D \in$ «Погана бажаність»;

П4: якщо $T \in$ «Середня температура» і $W \in$ «Низька вологість», то $D \in$ «Задовільна бажаність»;

П5: якщо $T \in$ «Середня температура» і $W \in$ «Середня вологість», то $D \in$ «Задовільна бажаність»;

П6: якщо $T \in$ «Середня температура» і $W \in$ «Висока вологість», то $D \in$ «Задовільна бажаність»;

П7: якщо $T \in$ «Середня температура» і $W \in$ «Низька вологість», то $D \in$ «Добра бажаність»;

П8: якщо $T \in$ «Середня температура» і $W \in$ «Середня вологість», то $D \in$ «Дуже добра бажаність»;

П9: якщо $T \in$ «Середня температура» і $W \in$ «Висока вологість», то $D \in$ «Дуже добра бажаність»;

П10: якщо $T \in$ «Висока температура» і $W \in$ «Низька вологість», то $D \in$ «Добра бажаність»;

П11: якщо $T \in$ «Висока температура» і $W \in$ «Середня вологість», то $D \in$ «Дуже добра бажаність»;

П12: якщо $T \in$ «Висока температура» і $W \in$ «Висока вологість», то $D \in$ «Дуже добра бажаність».

Критерієм оптимізації виробництва ентомофагів є наближеність бажаності комплексного показника якості до лінгвістичної оцінки «дуже добра». Отримано поверхню нечіткого висновку (рис. 4.41) стосовно бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон – ентомологічній продукції з показником якості «дуже добре» відповідають такі

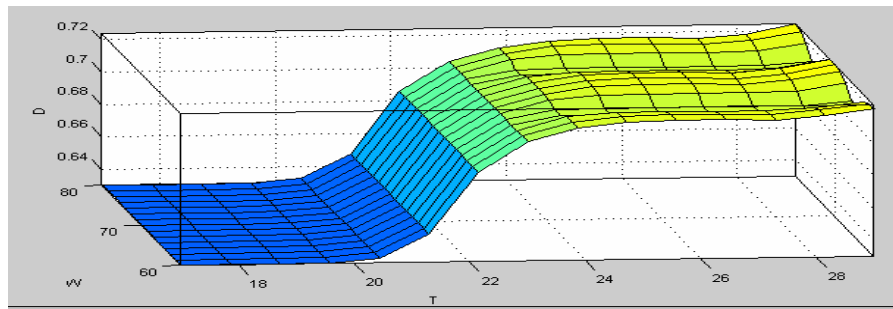


Рис. 4.41. Поверхня нечіткого висновку стосовно бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон [143]

параметри мікроклімату: температура повітря (26-29) °C та відносна вологість повітря (70-80) % [143]. Середня помилка апроксимації знаходиться в допустимих межах (6,7 %).

Розроблено метод оптимального керування виробництвом ентомофагів із використанням ієрархічного дерева логічного висновку і теорії нечіткої логіки [111]. Критерієм оптимізації було визначено максимізацію комплексного показника якості ентомокультур. На рис. 4.42 наведено класифікацію факторів, що впливають на комплексний показник якості млинової вогнівки (*Ephesia kuehniella*), комахи-хазяїна ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*), у вигляді ієрархічного дерева логічного висновку [43, 111, 126, 147].

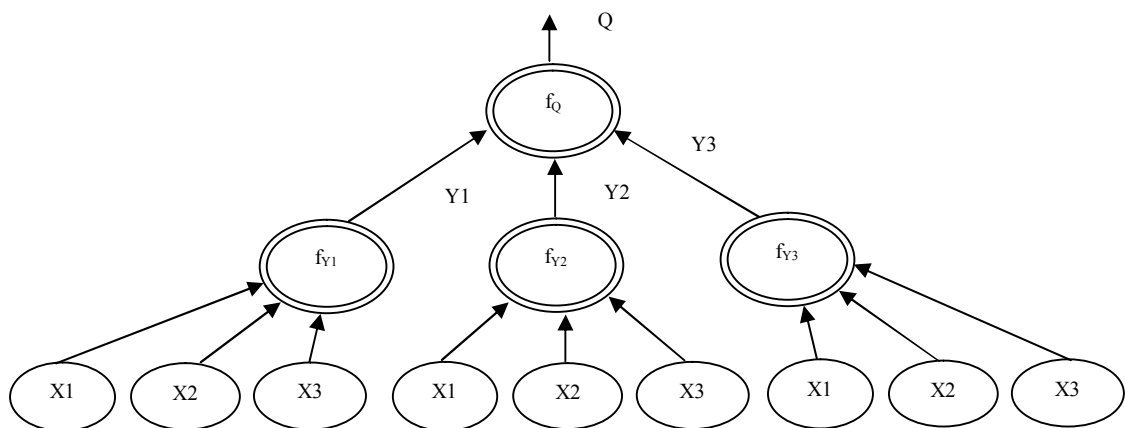


Рис. 4.42. Класифікація факторів, що впливають на комплексний показник якості млинової вогнівки [43, 111, 126, 147]

Елементами дерева є: 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, °C; нетермінальні вершини f_Q , f_{Y1} , f_{Y2} , f_{Y3} – 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) [111].

Згортки факторів впливу на біологічні показники якості f_{Y1} , f_{Y2} , f_{Y3} уявляють собою розроблені рівняння множинної регресії [43]:

$$Y_1 = 43183,3 + 15,66 \cdot X_1 - 146,8 \cdot X_2 - 1373,3 \cdot X_3, \quad (4.99)$$

$$Y_2 = -47,6 - 0,03 \cdot X_1 + 2,63 \cdot X_3, \quad (4.100)$$

$$Y_3 = 82,8 - 0,03 \cdot X_1 - 1,9 \cdot X_3. \quad (4.101)$$

Для визначення згортки f_Q створено експертну підсистему із використанням Fuzzy Logic Toolbox for MATLAB і системи нечіткого висновку Мамдані. У табл. 4.13 наведено дані для створення бази знань експертної підсистеми оцінки якості млинової вогнівки [111].

Таблиця 4.13

Дані для створення бази знань експертної підсистеми оцінки якості млинової вогнівки [111]

Змінні	Діапазон змінювання	Терм-множини	Лінгвістична оцінка	Тип і параметри функцій приналежності
X_1 , мг яєць/ кювету	200-400	AX1	Нормальна кількість яєць	Gaussmf [33,97; 200]
		CX1	Висока кількість яєць	Gaussmf [33,97; 400]
X_2 , 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]
X_3 , °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]

Продукційні правила бази знань експертної підсистеми (рис. 4.43)

можливо записати таким чином:

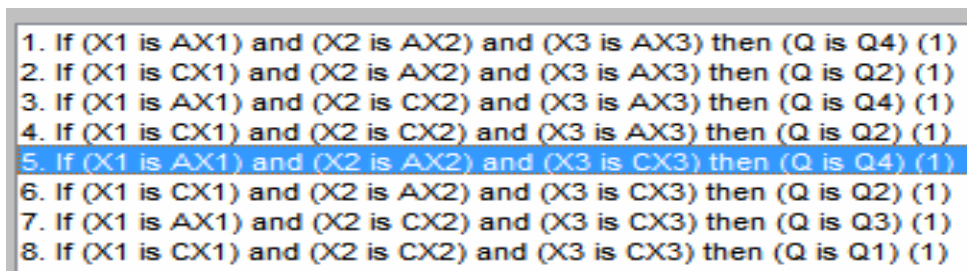


Рис. 4.43. Вигляд редактора продукційних правил бази знань експертної підсистеми [111]

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»;

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

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

7: якщо X1 є «Нормальна кількість яєць» і X2 є «Верхня межа висоти шару поживного середовища» і X3 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».

У таблиці 4.14 наведено результати оцінки якості млинової вогнівки.

Таблиця 4.14

Результати оцінки якості млинової вогнівки [111]

X_1 , мг яєць/ кювету	X_2 , мм	X_3 , °C	Q за нечітким висновком	Q за даними 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. 4.44 показано поверхню нечіткого висновку експертної підсистеми. Таким чином, 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 °C і 28 °C; кількість яєць, внесених в поживне середовище, – 200 мг яєць/кювету; висота шару поживного середовища – 15мм, а також при температурі повітря 26,8 °C; кількості яєць – 200 мг яєць/кювету; висоті шару поживного середовища – 25 мм.

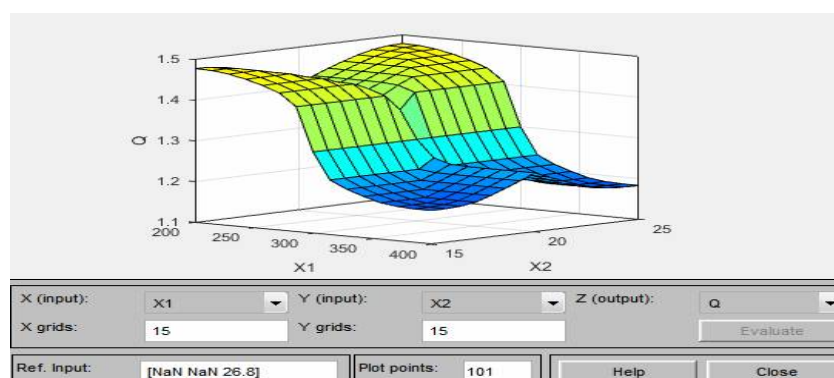


Рис. 4.44. Поверхня нечіткого висновку щодо комплексного показника якості млинової вогнівки [111]

Отже, алгоритм керування виробництвом ентомофагів складається з: контролю біологічних показників ентомокультур за дією сукупності параметрів техноценозу; обчислення комплексних показників якості ентомокультур; пошуку параметрів техноценозу, що забезпечують максимізацію комплексного показника якості ентомокультур [111].

Із використанням MS-Excel виконано моделювання залежності відроджуваності гусениць млинової вогнівки з яєць від параметрів техноценозу (температури та відносної вологості повітря) [33] із використанням аналітичного методу та методу регресійного аналізу. Матеріалами для роботи були результати експериментальних досліджень, проведених науковцями Інженерно-технологічного Інституту «Біотехніка».

Залежність відроджуваності гусениць млинової вогнівки з яєць від температури θ при вологості повітря 70 % ($23^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 30^{\circ}\text{C}$) (рис. 4.45) описується рівнянням [33]:

$$Y = -923,0421 + 72,2882 \cdot \theta - 1,2797 \cdot \theta^2. \quad (4.102)$$

Середня похибка апроксимації становила 1,41%, коефіцієнт детермінації – 0,986.

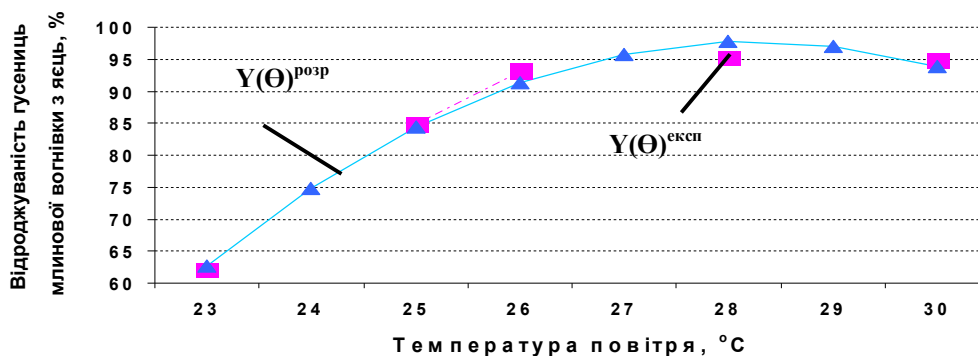


Рис. 4.45. Залежність відроджуваності гусениць млинової вогнівки з яєць від температури за відносної вологості повітря 70 % [33]

Залежність відроджуваності гусениць млинової вогнівки з яєць від вологості повітря φ при температурі 26°C ($60\% \leq \varphi \leq 80\%$) (рис. 4.46) описується рівнянням [33]:

$$Y_1 = -392,73 + 12,7397 \cdot \varphi - 0,0837 \cdot \varphi^2. \quad (4.103)$$

Середня похибка апроксимації становила 0,18 %, коефіцієнт детермінації – 0,9996.

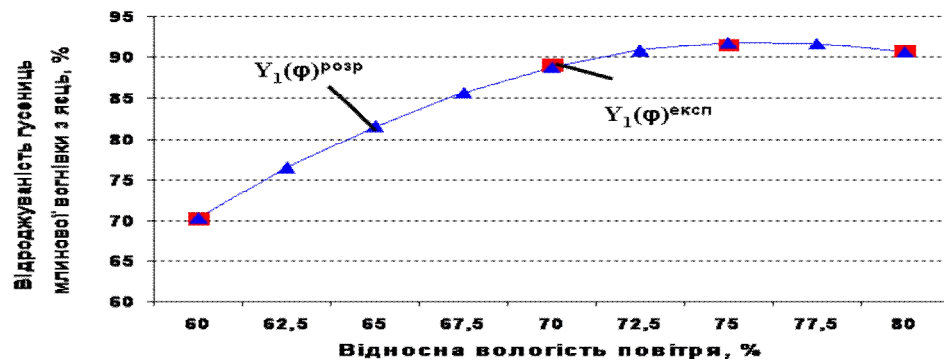


Рис. 4.46. Залежність відроджуваності гусениць млинової вогнівки з яєць від вологості повітря за температури 26 °C [33]

Залежність відроджуваності гусениць млинової вогнівки з яєць від температури θ і відносної вологості повітря φ ($23^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 30^{\circ}\text{C}$, $60\% \leq \varphi \leq 80\%$) (рис. 4.47) описується рівнянням [33]:

$$Y_2 = -1230,3155 + 62,3744 \cdot \theta - 1,1053 \cdot \theta^2 + 11,7441 \cdot \varphi - 0,0769 \cdot \varphi^2. \quad (4.104)$$

Середня похибка апроксимації становила 3,7 %; коефіцієнт детермінації – 0,941.

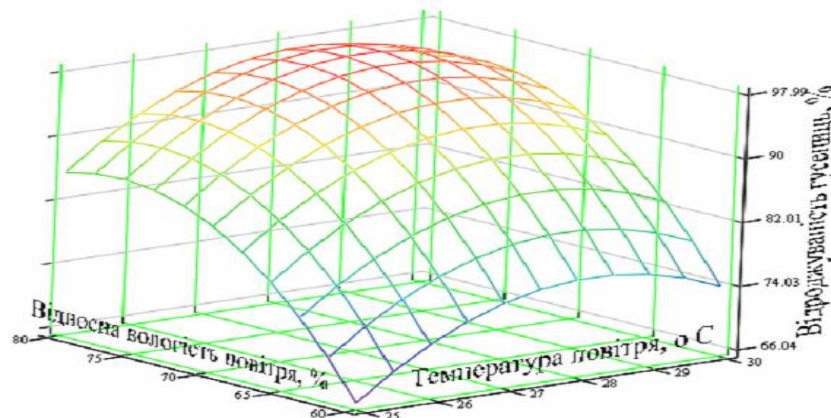


Рис. 4.47. Залежність відроджуваності гусениць млинової вогнівки з яєць від температури і відносної вологості повітря [33]

З метою створення інструменту керування якістю ентомофагів за параметрами техноценозу, сталістю ентомофагів до параметрів техноценозу та ступенем коливання біологічних показників якості розроблено інформаційно-аналітичну підсистему біологічних показників якості ентомофагів та їх

аналогів (рис. 4.48) [75], в основу якої покладено системний аналіз [148] та кібернетичний підхід [149].

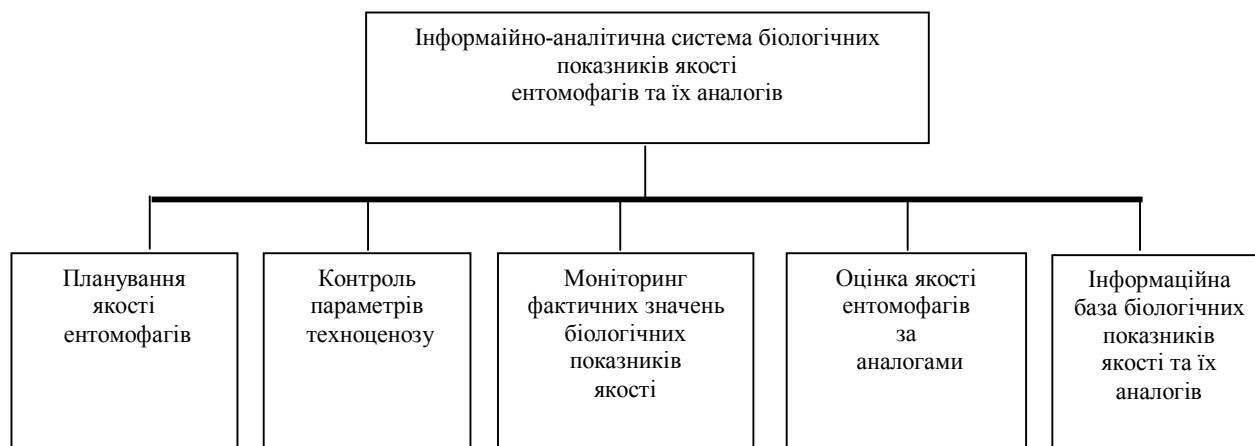


Рис. 4.48. Структура інформаційно-аналітичної підсистеми біологічних показників якості ентофагів та їх аналогів [75]

Планування якості ентомофагів здійснюється за значеннями загальних та цільових показників якості [38]. Контроль параметрів техноценозу відбувається за температурою та відотною вологістю повітря в зоні розвитку комах; температурою поживного середовища комахи-хазяїна; висотою шару поживного середовища комахи-хазяїна та кількістю внесених в нього яєць комахи-хазяїна; видом поживного середовища. Оцінка якості за аналогами має прогнозований характер та здійснюється із використанням програмного забезпечення MS-Excel за допомогою [75]: експериментальних математичних моделей залежності біологічних показників якості ентомокультур від параметрів техноценозу у вигляді рівнянь регресії [33, 43]; коефіцієнтів стабільності гомеостазу, які характеризують сталість ентомокультур до змінення параметрів техноценозу [3]; коефіцієнтів варіації, які є мірою відносного розкиду показників [150].

Алгоритм керування якістю ентомофагів містить [75, 86]:

1. Визначення показників якості ентомологічної продукції за результатами технологічних циклів за дією параметрів техноценозу.
2. Розрахунок розмаху показників якості за формулою [150]:

$$R = X_{i \max} - X_{i \min} , \quad (4.105)$$

де $X_{i \max}, X_{i \min}$ – максимальні та мінімальні значення i -х показників.

3. Розрахунок середнього значення \bar{X}_i показників.

4. Розрахунок середньоквадратичного відхилення показників δ за формулою:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2} , \quad (4.106)$$

де n – кількість показників.

5. Обчислення коефіцієнту варіації за розмахом за формулою [150]:

$$V_r = \frac{R}{\bar{X}_i} \cdot 100 \% . \quad (4.107)$$

6. Обчислення коефіцієнту варіації за середньоквадратичним відношенням за формулою [150]:

$$V_\delta = \frac{\delta}{\bar{X}_i} \cdot 100 \% . \quad (4.108)$$

7. Підтримку таких параметрів техноценозу, за якими значення коефіцієнтів варіації будуть мінімальними, а коефіцієнт стабільності гомеостазу $K_r(t)$ буде наближатись до 100 % [75].

8. Визначення провідних факторів впливу на якість за значеннями стандартизованих коефіцієнтів регресії, які розраховуються шляхом множення коефіцієнту регресії на стандартне відхилення відповідного фактора та поділу отриманого добутку на стандартне відхилення відповідного показника якості [89].

4.4.1. Формалізація слабо-структурованих завдань у виробництві ентомофагів

В теперішній час набуває широкого розвитку когнітивний підхід до моделювання і управління слабо-структурованих систем, направлений на розробку формальних моделей і методів, що підтримують інтелектуальний процес вирішення проблем [151].

Метою когнітивного моделювання слабкоструктурованих систем є з'ясування механізму функціонування системи (механізму явищ і процесів, що відбуваються в системі), прогнозування розвитку системи, управління нею, визначення можливостей її пристосування до зовнішнього середовища [152]. Методологія когнітивного моделювання була запропонована Р. Аксельродом [153]. Вона ґрунтується на моделюванні суб'єктивних уявлень експертів про ситуації та містить: методологію структуризації ситуації; модель представлення знань експерта; методи аналізу ситуацій [153].

На сьогодні когнітивний підхід активно розвивається у дослідженнях складних технічних систем [154, 155, 156], з питань управління енергоефективністю [157], інтелектуальних систем прийняття рішень [158]. Його використання в процесах контролю якості ентомофагів є перспективним і передбачає створення когнітивних карт [140, 159, 160] і моделей [160, 161].

У процесах підготовки та прийняття рішень при керуванні виробництвом ентомофагів виникають питання щодо автоматизації слабо-структурованих завдань, таких як вплив виду поживного середовища комах-хазяїна та висоти його шару на якість ентомологічної продукції. Для вирішення цих питань розроблено нечіткі когнітивні карти [159, 160].

Поняття нечіткої когнітивної карти було запропоновано Б. Коско в 1986 році та використовується в моделюванні причинних взаємозв'язків, визначених між поняттями деякої області [162, 163].

Нечітка когнітивна карта (НKK) має вигляд орієнтованого зваженого графа та уявляє собою сукупність множин [159, 164]:

$$HKK = \{X_i, P_{i,j}, V_{i,j}\}, \quad (4.109)$$

де $\{X_i\}$ – множина концептів;

$\{P_{i,j}\}$ – множина зв'язків між концептами;

$\{V_{i,j}\}$ – множина ваг зв'язків між концептами.

За даними експериментальних досліджень, проведених в ІТІ «Біотехніка» НААН України [5], розроблено нечітку когнітивну карту (рис. 4.49), що моделює вплив виду поживного середовища млинової вогнівки

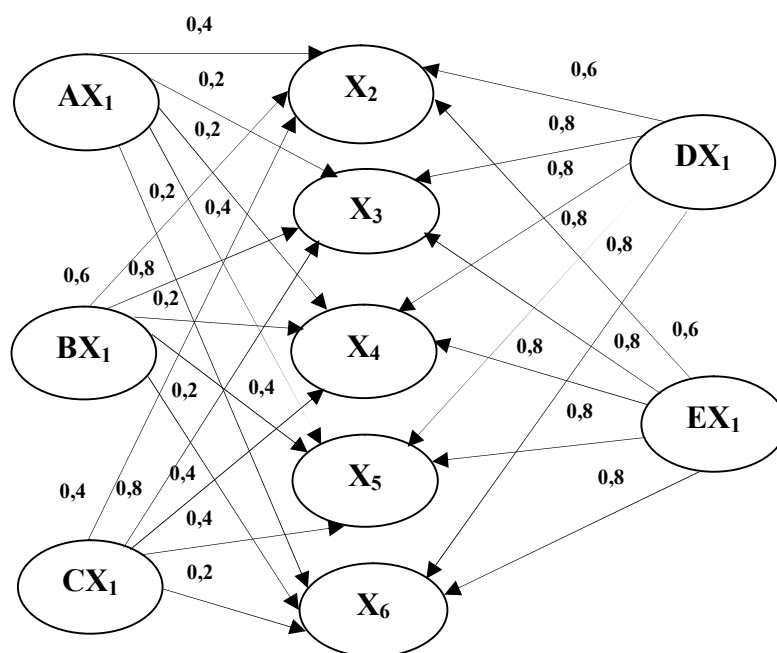


Рис. 4.49. Нечітка когнітивна карта для контролю виробництва ентомофага бракон [159]

(*Ephestia kuehniella*) на якість виробництва ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*) [159].

Вхідними концептами є: вид поживного середовища AX_1 , BX_1 , CX_1 , DX_1 , EX_1 , вихідними – X_2 (середня виживаність личинок бракона, %), X_3 (зараженість гусениць млинової вогнівки паразитом, %), X_4 (середня маса гусениць млинової вогнівки старшого віку, мг), X_5 (кількість самок бракона, %), X_6 (середнє значення чистої репродукції самок бракона, екз.) [140, 159]. Експертну оцінку ступеню впливу між кожною парою концептів формалізовано у відповідності з лінгвістичною оцінкою: низька – 0,2; нормальна – 0,4; вища за нормальну – 0,6; висока – 0,8 (табл. 4.15). В табл. 4.16 наведено дані для побудови нечіткої когнітивної карти.

**Експертна оцінка ступеню впливу між кожною парою концептів
нечіткої когнітивної карти**

Вхідні концепти	Вихідні концепти				
	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
AX ₁	0,40	0,20	0,20	0,40	0,20
BX ₁	0,60	0,80	0,20	0,40	0,20
CX ₁	0,40	0,80	0,40	0,40	0,20
DX ₁	0,60	0,80	0,80	0,80	0,80
EX ₁	0,60	0,80	0,80	0,80	0,80

Таблиця 4.16

Дані для побудови нечіткої когнітивної карти [140, 159]

Вхідні та вихідні концепти	Діапазон змінювання концептів	Терм-множини	Лінгвістична оцінка	Тип і параметри функції належності
X ₁	0-1	AX ₁	Борошно пшеничне	Gaussmf [0,02; 0,1]
		BX ₁	Борошно пшеничне (70%) + подрібнена соя (30 %)	Gaussmf [0,02; 0,3]
		CX ₁	Подрібнений ячмінь (90 %) + борошно пшеничне (10%)	Gaussmf [0,02; 0,5]
		DX ₁	Подрібнений ячмінь	Gaussmf [0,02; 0,7]
		EX ₁	Подрібнена кукурудза	Gaussmf [0,02; 1]
X ₂ , %	70-76	AX ₂	Нормальна виживаність личинок бракона	Gaussmf 1,019; 70]
		BX ₂	Вища за нормальну виживаність личинок бракона	Gaussmf [1,019; 76]
X ₃ , %	27-72	AX ₃	Низька зараженість гусениць млинової вогнівки	Gaussmf [7,644; 27]
		BX ₃	Висока зараженість гусениць млинової вогнівки	Gaussmf [7,644; 72]
X ₄ , мг	17-28,9	AX ₄	Низька маса гусениць млинової вогнівки	Gaussmf [2,022; 17]
		BX ₄	Нормальна маса гусениць млинової вогнівки	Gaussmf [2,022; 24,26]
		CX ₄	Висока маса гусениць млинової вогнівки	Gaussmf [2,022; 28,9]
X ₅ , %	50-55	AX ₅	Нормальна кількість самок бракона	Gaussmf [0,8493; 51]
		BX ₅	Висока кількість самок бракона	Gaussmf [0,8493; 55]
X ₆ , екз.	10-28,6	AX ₆	Низька репродукція самок бракона	Gaussmf [0,5; 12]
		BX ₆	Висока репродукція самок бракона	Gaussmf [0,5; 29]

На рис. 4.50, рис. 4.51, рис. 4.52 наведено відповідно функціональну схему нечіткої когнітивної карти, вигляд програми перегляду правил (Rule Viewer) та редактора правил (Rule Editor) в середовищі MATLAB.

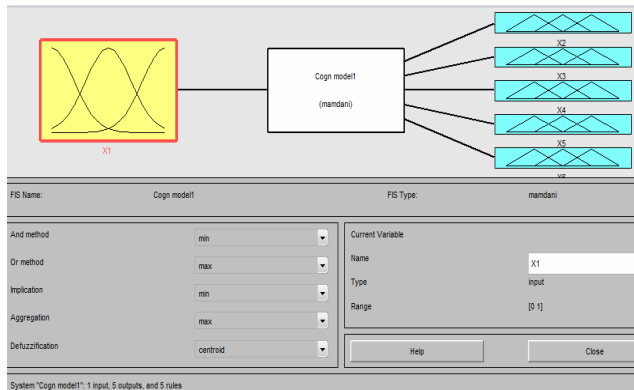


Рис. 4.50. Функціональна схема нечіткої когнітивної карти в середовищі MATLAB

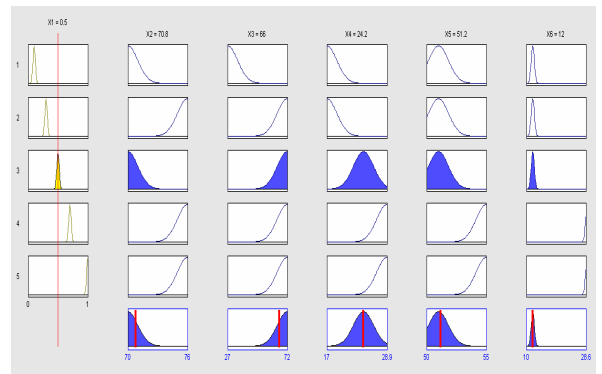


Рис. 4.51. Вигляд програми перегляду правил (Rule Viewer) в середовищі MATLAB

```

1. If (X1 is AX1) then (X2 is AX2)(X3 is AX3)(X4 is AX4)(X5 is AX5)(X6 is AX6) (1)
2. If (X1 is BX1) then (X2 is BX2)(X3 is BX3)(X4 is AX4)(X5 is AX5)(X6 is AX6) (1)
3. If (X1 is CX1) then (X2 is AX2)(X3 is BX3)(X4 is BX4)(X5 is AX5)(X6 is AX6) (1)
4. If (X1 is DX1) then (X2 is BX2)(X3 is BX3)(X4 is CX4)(X5 is BX5)(X6 is BX6) (1)
5. If (X1 is EX1) then (X2 is BX2)(X3 is BX3)(X4 is CX4)(X5 is BX5)(X6 is BX6) (1)

```

Рис. 4.52. Редактор правил (Rule Editor) нечіткої когнітивної карти в середовищі MATLAB [140]

Продукційні правила бази знань мають вигляд:

П1: якщо X1 є «Борошно пшеничне», то X2 є «Нормальна виживаність личинок бракона», X3 є «Низька зараженість гусениць млинової вогнівки», X4 є «Низька маса гусениць млинової вогнівки», X5 є «Нормальна кількість самок бракона», X6 є «Низька репродукція самок бракона»;

П2: якщо X1 є «Борошно пшеничне (70%) + подрібнена соя (30 %)», то X2 є «Вища за нормальну виживаність личинок бракона», X3 є «Висока зараженість гусениць млинової вогнівки», X4 є «Низька маса гусениць млинової вогнівки», X5 є «Нормальна кількість самок бракона», X6 є «Низька репродукція самок бракона»;

П3: якщо X1 є «Подрібнений ячмінь (90 %) + борошно пшеничне (10%)», то X2 є «Нормальна виживаність личинок бракона», X3 є «Висока зараженість гусениць млинової вогнівки», X4 є «Нормальна маса гусениць

млинової вогнівки», X_5 є «Нормальна кількість самок бракона», X_6 є «Низька репродукція самок бракона»;

П4: якщо X_1 є «Подрібнений ячмінь», то X_2 є «Вища за нормальну виживаність личинок бракона», X_3 є «Висока зараженість гусениць млинової вогнівки», X_4 є «Висока маса гусениць млинової вогнівки», X_5 є «Висока кількість самок бракона», X_6 є «Висока репродукція самок бракона»;

П5: якщо X_1 є «Подрібнена кукурудза», то X_2 є «Вища за нормальну виживаність личинок бракона», X_3 є «Висока зараженість гусениць млинової вогнівки», X_4 є «Висока маса гусениць млинової вогнівки», X_5 є «Висока кількість самок бракона», X_6 є «Висока репродукція самок бракона» .

Порівнюючи дані тестування нечіткої когнітивної карти ($X_{2н}$, $X_{3н}$, $X_{4н}$, $X_{5н}$, $X_{6н}$) та результати експериментів ($X_{2е}$, $X_{3е}$, $X_{4е}$, $X_{5е}$, $X_{6е}$) (табл. 4.17) визначено, що середня помилка апроксимації склала: за X_2 – 2,45 %, X_3 – 8,58 %, X_4 – 4,75 %, X_5 – 1,78 %, X_6 – 8,26 % (в межі допустимих значень [84]).

Таблиця 4.17

Дані тестування нечіткої когнітивної карти ($X_{2н}$, $X_{3н}$, $X_{4н}$, $X_{5н}$, $X_{6н}$) та результати експериментів ($X_{2е}$, $X_{3е}$, $X_{4е}$, $X_{5е}$, $X_{6е}$) [5]

X_1	$X_{2е}$	$X_{2н}$	$X_{3е}$	$X_{3н}$	$X_{4е}$	$X_{4н}$	$X_{5е}$	$X_{5н}$	$X_{6е}$	$X_{6н}$
AX_1	70	70,8	27	33	16,6	18,6	51	51,2	11,1	12
BX_1	73	75,2	69	66	18,9	18,6	50	51,2	10,4	12
CX_1	70	70,8	62	66	24,8	24,2	51	51,2	12,2	12
DX_1	71	75,2	65	66	27,9	27,3	52	54,3	24,6	28,4
EX_1	76	75,2	72	66	28,9	27,3	55	54,3	28,6	28,4

Для візуалізації в інтерактивному режимі залежностей вихідних концептів (рис. 4.53 а, б) від вхідних використано пакет розширення Fuzzy Logic Toolbox Matlab і систему нечіткого висновку типу Мамдані.

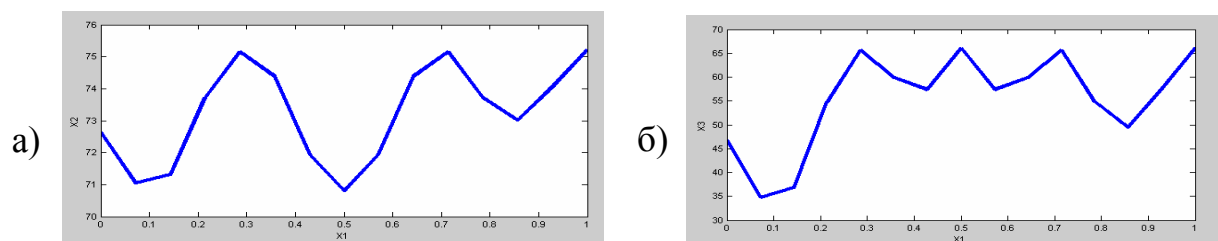


Рис. 4.53. Залежності виживаності личинок бракона X_2 (а) та зараженості гусениць млинової вогнівки X_3 паразитом (б) від виду поживного середовища за нечітким висновком

Аналіз карти за когнітивними консонансом та дисонансом [165] (рис. 4.54, рис. 4.55) показав, що найкращий вплив на якість виробництва ентомофага бракон мають подрібнена кукурудза та подрібнений ячмінь – когнітивний консонанс є найвищим відповідно у концептів EX_1 та DX_1 (3,8), що погоджується з результатами експериментів [5]. Найбільший розкид (когнітивний дисонанс) має концепт X_3 (зараженість гусениць млинової вогнівки паразитом) – 3,4 (рис. 4.55), що також погоджується з даними експериментів [5]. Перевагою карти є можливість формалізації чисельно невимірних факторів.

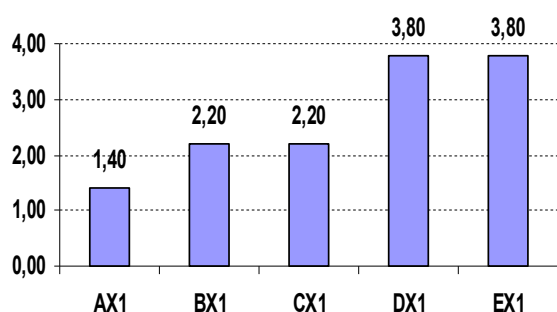


Рис. 4.54. Когнітивний консонанс нечіткої когнітивної карти

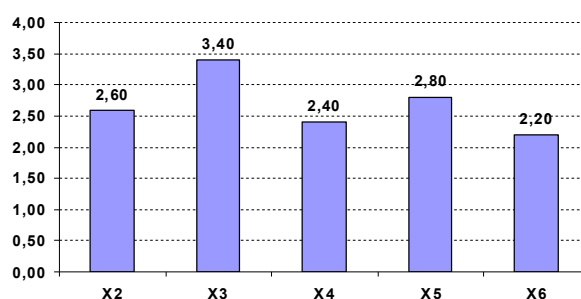


Рис. 4.55. Когнітивний дисонанс нечіткої когнітивної карти

Для підвищення точності нечіткої модель навчають, тобто ітераційно змінюють її параметри для мінімізації відхилення результатів нечіткого логічного висновку від експериментальних даних [166].

За результатами експериментальних досліджень, проведених фахівцями ІТІ «Біотехніка» НААН України [36], для контролю впливу висоти шару поживного середовища H млинової вогнівки на її показники якості – кількість гусениць з 1 кг поживного середовища (Y_1); середню масу гусениць, мг (Y_2) та середню масу гусениць старшого віку, мг (Y_3) – розроблено нечітку когнітивну карту у вигляді зваженого орієнтованого графа, структуру якої наведено на рис. 4.56 [160].

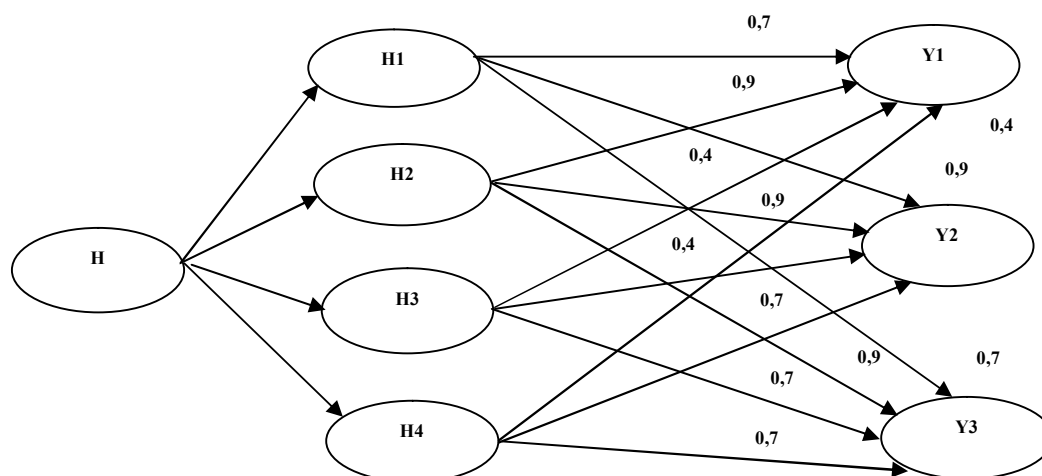


Рис. 4.56. Нечітка когнітивна карта для контролю впливу висоти шару поживного середовища млинової вогнівки на її показники якості [160]

Експертна оцінка ступеню впливу висоти шару поживного середовища млинової вогнівки Н (вхідних концептів – терм-множин Н1, Н2, Н3, Н4) на показники її якості (вихідні концепти Y1, Y2, Y3) формалізована таким чином: 0,4 – слабкий; 0,7 – сильний; 0,9 – дуже сильний [160].

Когнітивний консонанс КК [160, 165] за кожним з вхідних концептів (рис. 4.57) розраховується як модуль суми експертних оцінок між $H1 \rightarrow Y1$, $H1 \rightarrow Y2$, $H1 \rightarrow Y3$ (КК для Н1); $H2 \rightarrow Y1$, $H2 \rightarrow Y2$, $H2 \rightarrow Y3$ (КК для Н2); $H3 \rightarrow Y1$, $H3 \rightarrow Y2$, $H3 \rightarrow Y3$ (КК для Н3); $H4 \rightarrow Y1$, $H4 \rightarrow Y2$, $H4 \rightarrow Y3$ (КК для Н4) та показує, який з них має найбільший вплив на показники якості млинової вогнівки.

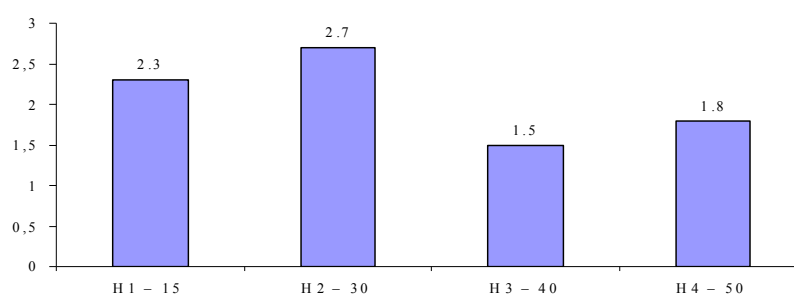


Рис. 4.57. Когнітивний консонанс нечіткої когнітивної карти [160]

За результатами розрахунків визначено, що консонанс є максимальним (2,7) для концепту Н2 - середня межа висоти шару поживного середовища (30 мм), що погоджується із результатами досліджень, приведеними в [36].

Базу знань нечіткої когнітивної карти показано на рис. 4.58:

1. If (H is H1) then (Y1 is Y12)(Y2 is Y23)(Y3 is Y31) (1)
2. If (H is H2) then (Y1 is Y13)(Y2 is Y24)(Y3 is Y32) (1)
3. If (H is H3) then (Y1 is Y11)(Y2 is Y21)(Y3 is Y31) (1)
4. If (H is H4) then (Y1 is Y11)(Y2 is Y22)(Y3 is Y31) (1)

Рис. 4.58. Вигляд редактора правил (Rule Editor) нечіткої когнітивної карти [160]

Продукційні правила бази знань мають вигляд [160]:

П1: якщо Н є «Нижня межа висоти шару поживного середовища», то Y1 є «Стандартна кількість гусениць», Y2 є «Висока маса гусениць», Y3 є «Стандартна маса гусениць старшого віку»;

П2: якщо Н є «Середня межа висоти шару поживного середовища», то Y1 є «Вища за стандартну кількість гусениць», Y2 є «Вища за високу масу гусениць», Y3 є «Вища за стандартну масу гусениць старшого віку»;

П3: якщо Н є «Вища за середню межу висоти шару поживного середовища», то Y1 є «Низька кількість гусениць», Y2 є «Низька маса гусениць», Y3 є «Стандартна маса гусениць старшого віку»;

П4: якщо Н є «Верхня межа висоти шару поживного середовища», то Y1 є «Низька кількість гусениць», Y2 є «Стандартна маса гусениць», Y3 є «Стандартна маса гусениць старшого віку».

Середня похибка апроксимації за Y1, Y2, Y3 склала відповідно 1,78 %, 2,32 % та 1,68 % [160] (в межах допустимих значень [84]). За результатом нечіткого висновку формалізовано (рис. 4.59) залежність середньої маси гусениць млинової вогнівки від висоти шару поживного середовища, яка погоджується з результатами досліджень [36].

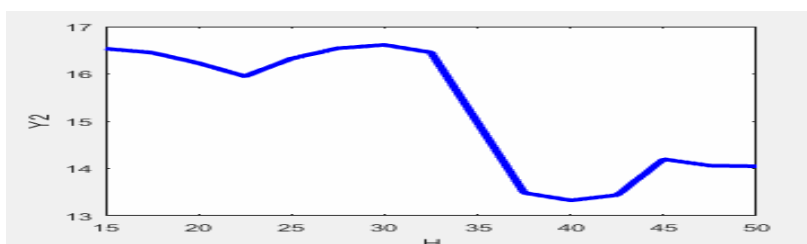


Рис. 4.59. Залежність середньої маси гусениць млинової вогнівки від висоти шару поживного середовища

Застосування когнітивного аналізу для оцінки якості ентомокультур при виробництві ентомофагів дозволяє формалізувати складні залежності показників якості від параметрів техноценозу, з достатньою точністю прогнозувати кінцевий результат в умовах неповноти вхідної інформації.

З метою спрощення наочного уявлення про структуру інформаційних потоків у виробництві ентомофагів, використовуючи когнітивний підхід до моделювання складних систем [154, 158] та результати наукових досліджень [33, 36, 68, 167], розроблено когнітивну модель виробництва ентомофага бракон у вигляді подій (рис. 4.60), когнітивну модель виробництва млинової вогнівки (рис. 4.61) [160] та когнітивну модель контролю якості ентомологічної продукції (рис. 4.62) [161].

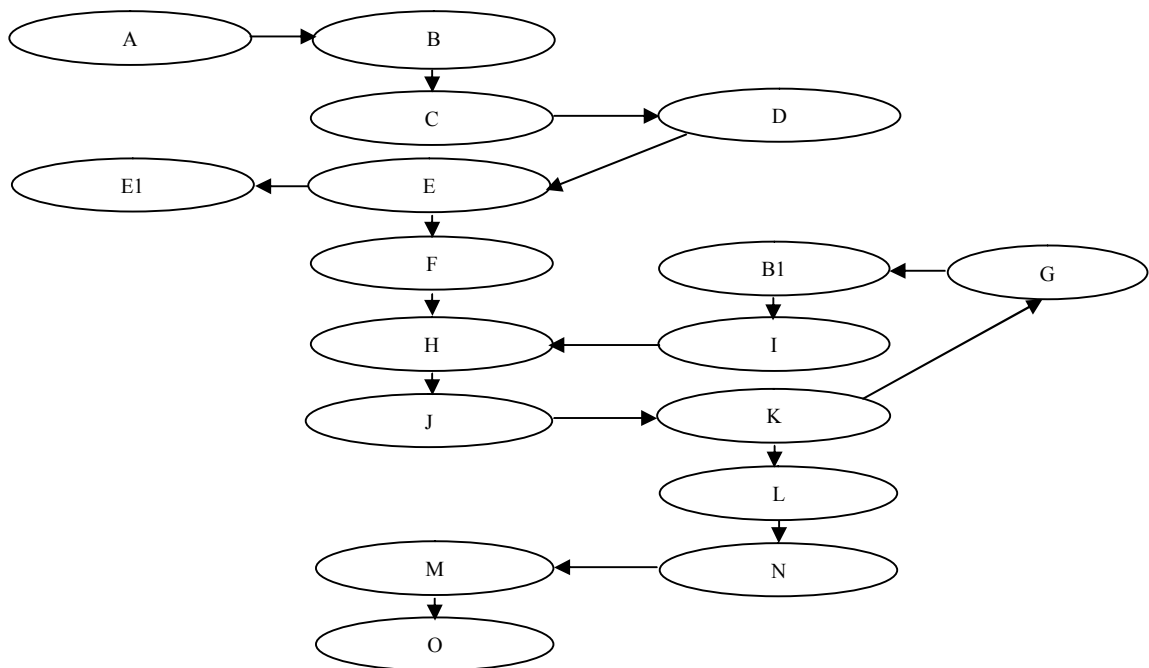


Рис. 4.60. Когнітивна модель виробництва ентомофага бракон у вигляді подій:

A – підготовчі роботи; B – перевірка стартової культури бракона; C – підготовка поживного середовища комахи-хазяїна (млинової вогнівки); D – інокуляція поживного середовища яйцями млинової вогнівки; E – вирощування гусениць млинової вогнівки; E1 – оцінка якості ентомологічної продукції за біологічними показниками (кількістю гусениць, масою гусениць і масою гусениць старшого віку); F – відгін гусениць з поживного середовища; B1 – збирання імаго бракона для зараження; I – підготовка імаго бракона для зараження; G – вирощування бракона до стадії імаго; H – зараження гусениць браконом; J – оцінка якості зараження гусениць млинової вогнівки браконом; K – вирощування бракона до стадії лялечки; L – оцінка якості ентомологічної продукції; N – накопичення продукції; M – формування товарної продукції; O – утилізація відходів

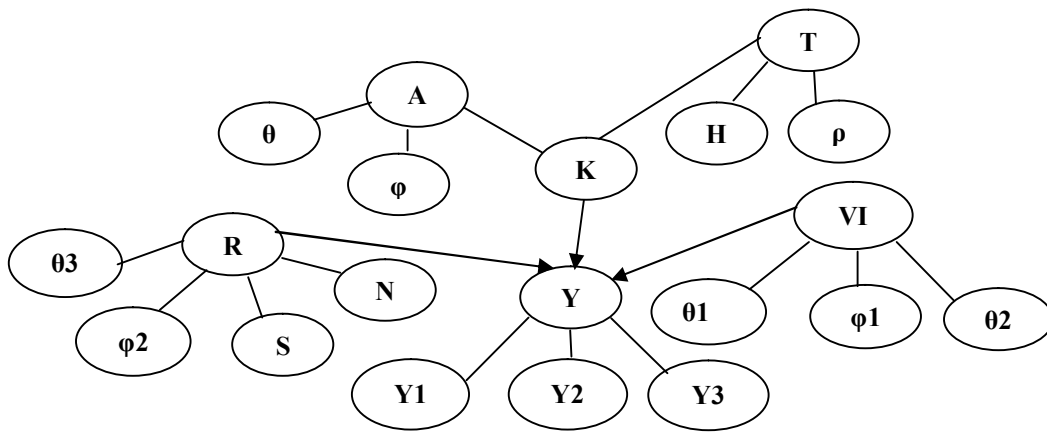


Рис. 4.61. Когнітивна модель виробництва млинової вогнівки [160]:

К – керуюча вершина; Y – цільова вершина (якість ентомологічної продукції); VI – вершина-індикатор; R – збурююча вершина; A, T – абіотичні і технологічні параметри техноценозу; θ , ϕ – температура та відносна вологість повітря боксу для розведення ентомокультур; H, ρ – висота поживного середовища та кількість яєць млинової вогнівки, внесених в поживне середовище; Y1, Y2, Y3 – біологічні показники якості (кількість гусениць, маса гусениць і маса гусениць старшого віку); θ_3 , ϕ_2 – температура та відносна вологість повітря зовнішнього середовища; S – спрацьованість обладнання; N – припинення електропостачання; θ_1 , ϕ_1 , θ_2 – температура та відносна вологість повітря боксу, температура поживного середовища

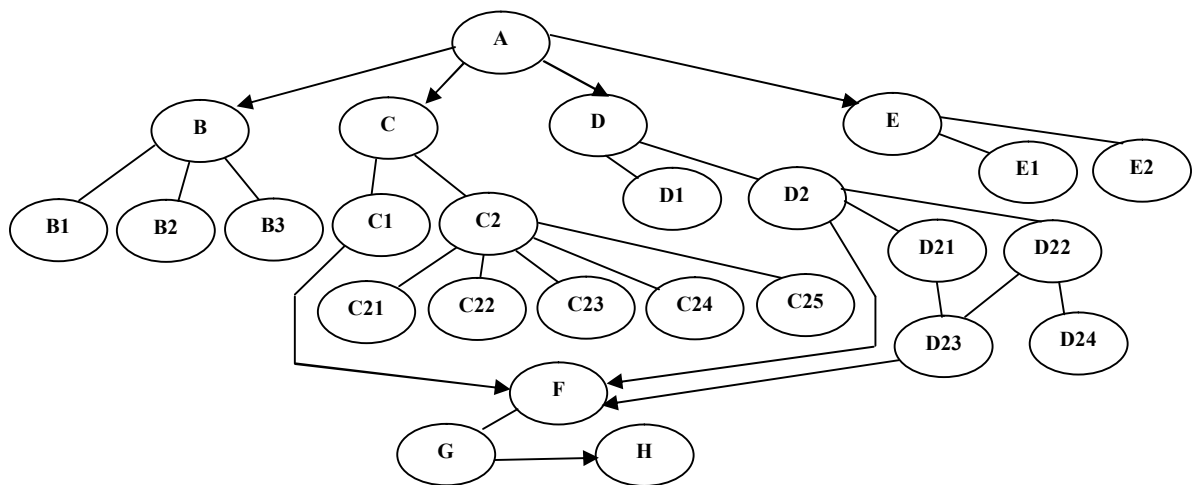


Рис. 4.62. Когнітивна модель контролю якості ентомологічної продукції [161]:

A – цільова вершина (контроль якості ентомологічної продукції); B, C, D, E – вершини-індикатори; F, G, H – інтелектуальні вершини (створення бази даних, бази знань, формування стратегій керування); B1, B2, B3 – контроль якості поживного середовища; C1 – вибірковий контроль, C2 – ранжування факторів браку, C21 – порушення циклу, C22 – невідповідність кліматичних параметрів, C23 – тривале культивування потомства вихідної популяції, C24 – підвищена щільність популяції, C25 – низька якість маточної культури; D1 – спостереження за виконанням технологічного процесу, D2 – контроль кліматичних параметрів, D21 – автоматизований контроль температури та відносної вологості повітря, D22 – автоматизований контроль температури поживного середовища, D23 – створення бази даних параметрів техноценозу, D24 – прийняття рішень щодо процесів розвитку ентомокультур в поживному середовищі; E1 – контроль якості маточної культури, E2 – контроль якості масової культури

4.5. Загальний алгоритм функціонування інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів

На рис. 4.63 наведено блок-схему загального алгоритму функціонування інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів, згідно якої проводиться:

- 1) контроль температури θ та відносної вологості повітря ϕ боксу для вирощування ентомокультур; 2) контроль температури навколишнього середовища θ^n , поживного середовища θ^{ps} комахи-хазяїна, зовнішнього приміщення (що межує з боксом для вирощування комах) $\theta_{зов}$; 3) контроль загальних витрат поживного середовища V , загальних витрат P на інокуляцію поживного середовища яйцями комахи-хазяїна, виду поживного середовища W ; 4) контроль кількості $k(t)$ та якості $Я(t)$ ентомологічної продукції; 5) розрахунок коефіцієнтів стабільності гомеостазу K_r , варіації показників якості ентомокультур за розкидом V_r та середньоквадратичним відношенням V_δ за результатами певних технологічних циклів; 6) перевірка ступеню наближеності коефіцієнтів стабільності гомеостазу K_r до 100 %; при виконанні умови відбувається перехід до дії у блоці 8, за умови невиконання – перехід до дії у блоці 7; 7) зміна керуючої дії (абіотичних і технологічних параметрів виробництва із врахуванням збурень); 8) побудова діаграми значущості коефіцієнтів стабільності гомеостазу за показниками якості; 9) перевірка ступеню мінімізації коефіцієнтів варіації показників якості ентомокультур; при виконанні умови відбувається перехід до дії у блоці 10, за умови невиконання – перехід до дії у блоці 7; 10) виведення інформації про параметри техноценозу, що забезпечують максимізацію коефіцієнтів стабільності гомеостазу та мінімізацію коефіцієнтів варіації показників якості; 11) регресійний аналіз залежності показників якості ентомокультур від параметрів техноценозу; 12) розрахунок стандартизованих коефіцієнтів регресії; 13) виведення інформації щодо провідних факторів впливу на якість; 14) розрахунок комплексних показників якості ентомологічної продукції Q , K ; 15) нечітка оцінка бажаності

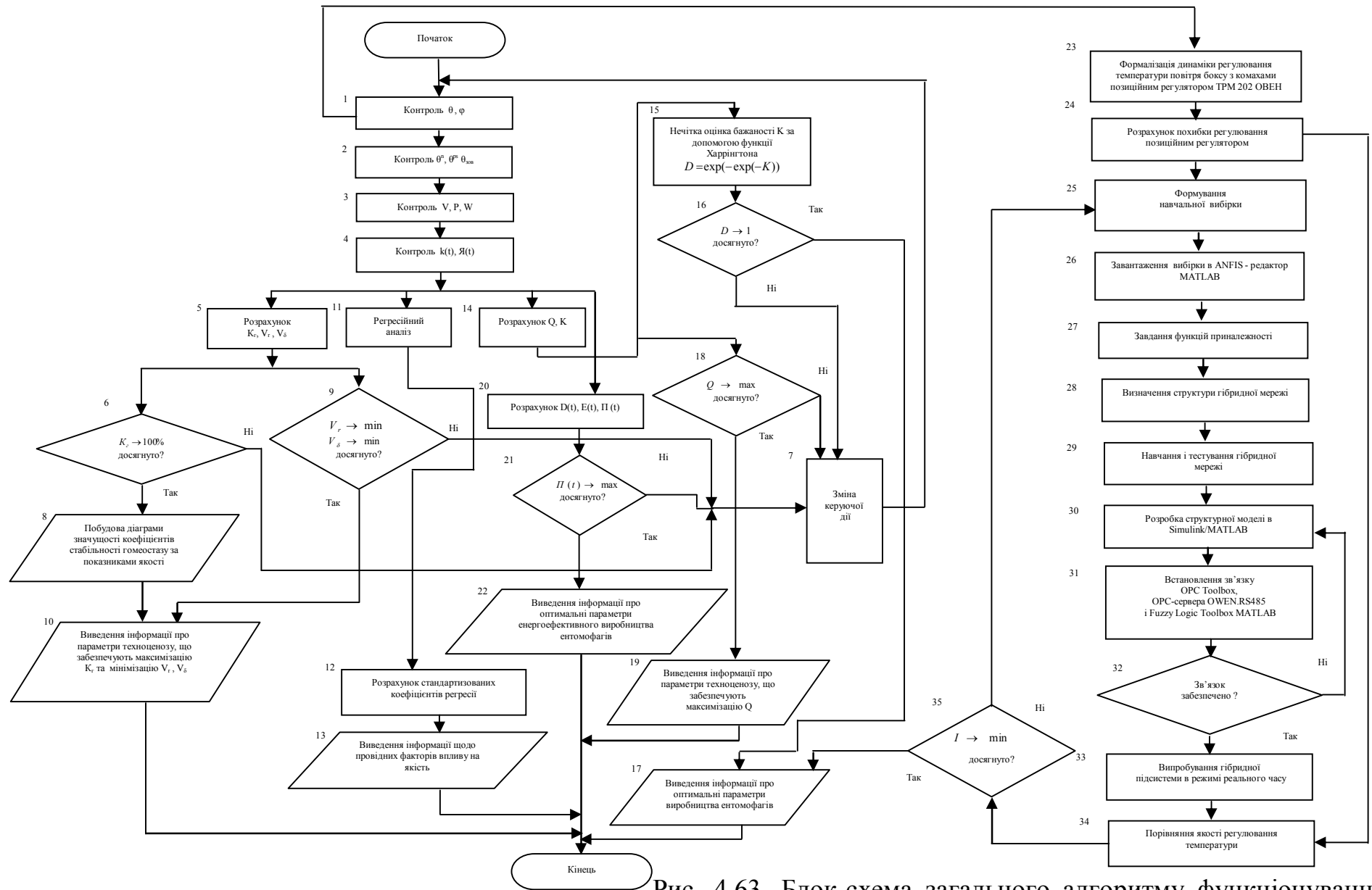


Рис. 4.63. Блок-схема загального алгоритму функціонування інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів

комплексних показників якості K за допомогою функції Харрінгтона; 16) перевірка ступеню наближеності бажаності K до оцінки «дуже добра»; при виконанні умови відбувається перехід до дії у блоці 17, за умови невиконання – перехід на дію в блоці 7; 17) виведення інформації про оптимальні параметри виробництва ентомофагів; 18) перевірка ступеню максимізації комплексного показника якості; при виконанні умови відбувається перехід до дії у блоці 19, за умови невиконання – перехід на дію в блоці 7; 19) виведення інформації про параметри техноценозу, що забезпечують максимізацію комплексного показника якості Q ентомокультур; 20) розрахунок доходу $D(t)$, загальних витрат електроенергії $E(t)$ та прибутку $\Pi(t)$; 21) перевірка ступеню досягнення критерію максимізації прибутку виробництва за умови мінімізації загальних витрат електроенергії; при виконанні відбувається перехід до дії у блоці 22, за умови невиконання – перехід на дію в блоці 7; 22) виведення інформації про оптимальні параметри енергоефективного вирощування ентомофагів; 23) формалізація динаміки регулювання температури повітря боксу з комахами позиційним регулятором TPM 202 OWEN; 24) розрахунок похибки регулювання температури позиційним регулятором; 25) формування навчальної вибірки; 26) завантаження вибірки в ANFIS - редактор MATLAB; 27) завдання функцій приналежності; 28) визначення структури гібридної мережі; 29) навчання і тестування гібридної мережі; 30) розробка структурної моделі в Simulink/MATLAB; 31) встановлення зв'язку OPC Toolbox, OPC-сервера OWEN.RS485 і Fuzzy Logic Toolbox MATLAB; 32) перевірка забезпечення зв'язку; при виконанні відбувається перехід до дії у блоці 33, за умови невиконання – перехід на дію в блоці 30; 33) випробування гібридної підсистеми в режимі реального часу; 34) порівняння якості регулювання температури; 35) перевірка ступеню досягнення критерію мінімізації похибки регулювання температури повітря боксу; при виконанні відбувається перехід до дії у блоці 17, за умови невиконання – перехід на дію в блоці 25.

З позиції теорії керування виробництво ентомофагів може бути віднесено до біотехнічних систем ергатичного типу, що представляють собою системи «людина - машина», де людина виконує функції оператора [27].

Розроблено структуру дій (рис. 4.64) щодо керування виробництвом ентомофагів за допомогою інтелектуальної системи, яка деталізує роботу на різних рівнях керування, зокрема, за ступенем участі людини та машини в реалізації керуючих впливів у процесах: розвитку ентомокультур, обробки інформації щодо впливу абіотичних і технологічних параметрів на кількість та якість ентомопродукції, оцінювання витрат електроенергії за умови дії природних збурень та прибутку виробництва.

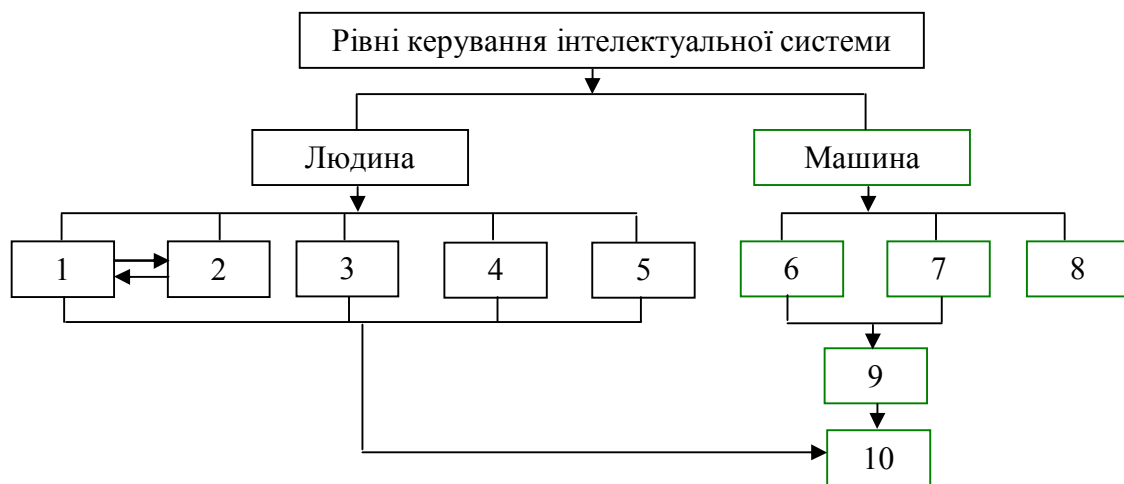


Рис. 4.64. Структура дій щодо керування виробництвом ентомофагів

- 1 – розробка бази знань інтелектуальної підсистеми підтримки прийняття рішень
- 2 – розробка бази даних показників якості, параметрів техноценозу
- 3 – оцінка енергетичних витрат
- 4 – оцінка кількості та якості ентомологічної продукції
- 5 – завдання технологічних параметрів виробництва
- 6 – керування температурою та відносною вологістю повітря боксу із використанням традиційної підсистеми зі SCADA-програмою
- 7 – керування температурою повітря боксу із використанням гібридної підсистеми
- 8 – контроль температури поживного середовища
- 9 – керування кількістю та якістю ентомологічної продукції
- 10 – керування прибутком виробництва

4.6. Висновки до розділу 4

Точність керування температурою за допомогою гібридної підсистеми керування та відповідно витрати електроенергії залежать від сформованої навчальної вибірки та збурень, що діють в конкретний проміжок часу.

Інформаційне забезпечення інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів дозволяє реалізовувати в умовах невизначеності процес керування якістю виробництва ентомофагів за сукупною дією абіотичних і технологічних факторів, підвищити інформативність та економічну ефективність виробництва. Так, структура дій щодо керування виробництвом ентомофагів за допомогою інтелектуальної системи деталізує шляхи реалізації керування на рівні як людини, так і машини.

Реалізовано інтелектуальну систему керування виробництвом ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*), яка враховує особливості біологічної складової процесу виробництва в умовах невизначеності.

Встановлено головні напрями використання інтелектуальних інформаційних технологій у виробництві ентомофагів – прийняття рішень стосовно забезпечення якості ентомокультур із врахуванням впливу сукупності факторів; автоматизація слабо-структурованих завдань; формування стратегій керування виробництвом на основі інформації про біологічні показники якості ентомокультур; системне конструювання засобів автоматизації.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ ЕНТОМОФАГІВ

5.1. Розрахунок показників ефективності впровадження інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів

Інтелектуальна система керування виробництвом ентомофага бракон пройшла випробування і впроваджена в науково-дослідному відділі промислової ентомології Інженерно-технологічного інституту «Біотехніка» НААН. Проведено розрахунок показників ефективності впровадження інтелектуальної системи за коефіцієнтом рентабельності основних засобів $ROFA$ [168] (без врахування вартості програмного забезпечення MATLAB), коефіцієнтом економічної ефективності капітальних вкладень e_{kb} і терміном повної окупності системи T_{ok} [169]. Водночас показниками ефективності утримання біооб'єкта є: вартість електроенергії на технологічні процеси і прибуток від реалізації алгоритму керування [168]. Ефективність впровадження системи за коефіцієнтом рентабельності основних засобів передбачає визначення ефективних стратегій керування. Коефіцієнт рентабельності основних засобів розраховується за формулою [168]:

$$ROFA = \frac{CHP}{VOF} \cdot 100\%, \quad (5.1)$$

де CHP – чистий прибуток, грн;

VOF – вартість основних фондів, грн.

Із використанням результатів експериментальних досліджень процесів вирощування гусениць млинової вогнівки (табл. 4.3) при виробництві ентомофага бракон [118] визначено основні показники виробничого впровадження інтелектуальної системи керування та стратегії керування (табл. 5.1) [138, 168].

Таблиця 5.1

Основні показники виробничого впровадження інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофага бракон та стратегії керування [118, 138, 168]

Показники виробничого впровадження	Стратегії керування		
	Максимізація доходу (2924,44 грн)	Мінімізація загальних витрат електроенергії (131,04 грн) за умови максимізації якості продукції (0,028 г)	Максимізація кількості продукції (8980 шт./кювету)
Прибуток (за 30 діб), грн	1440,64	1243,14	190,74
Кількість ентомопродукції за 30 діб, шт. гусениць/60 кювет	513600	433200	538800
Вартість системи керування, грн	32700	32700	32700

В табл. 5.2 приведено результати розрахунку прибутку за стратегіями керування при збільшенні масштабів виробництва ентомофагів – боксів для розведення млинової вогнівки.

Таблиця 5.2

Прибуток за стратегіями керування при збільшенні масштабів виробництва ентомофагів

Кількість боксів	Прибуток за стратегіями керування, грн.		
	Максимізація доходу $D(t)$	Мінімізація загальних витрат електроенергії $E(t)$ за умови максимізації якості продукції $Y(t)$	Максимізація кількості продукції $k(t)$
1	1440,64	1243,14	190,74
2	2881,28	2486,28	381,48
3	4321,92	3729,42	572,22
4	5762,56	4972,56	762,96
5	7203,2	6215,7	953,7
6	8643,84	7458,84	1144,44
7	10084,48	8701,98	1335,18
8	11525,12	9945,12	1525,92
9	12965,76	11188,26	1716,66
10	14406,4	12431,4	1907,4
11	15847,04	13674,54	2098,14

В табл. 5.3 наведено результати розрахунку коефіцієнта рентабельності основних засобів (ROFA) за стратегіями керування при збільшенні кількості боксів N^b для розведення млинової вогнівки.

Таблиця 5.3

Коефіцієнт рентабельності основних засобів (ROFA) при збільшенні боксів для розведення млинової вогнівки

Кількість боксів	ROFA		
	Максимізація доходу	Мінімізація загальних витрат електроенергії за умови максимізації якості продукції	Максимізація кількості продукції
1	4,41	3,80	0,58
2	8,81	7,60	1,17
3	13,22	11,40	1,75
4	17,62	15,21	2,33
5	22,03	19,01	2,92
6	26,43	22,81	3,50
7	30,84	26,61	4,08
8	35,25	30,41	4,67
9	39,65	34,21	5,25
10	44,06	38,02	5,83
11	48,46	41,82	6,42

З метою визначення ефективних стратегій керування виробництвом ентомофагів проведено розрахунок коефіцієнта рентабельності основних засобів *ROFA* при збільшенні кількості боксів N^b для розведення млинової вогнівки (рис. 5.1) [138]. Встановлено, що максимізація доходу та мінімізація загальних витрат електроенергії за умови максимізації якості продукції є найбільш ефективними стратегіями керування.

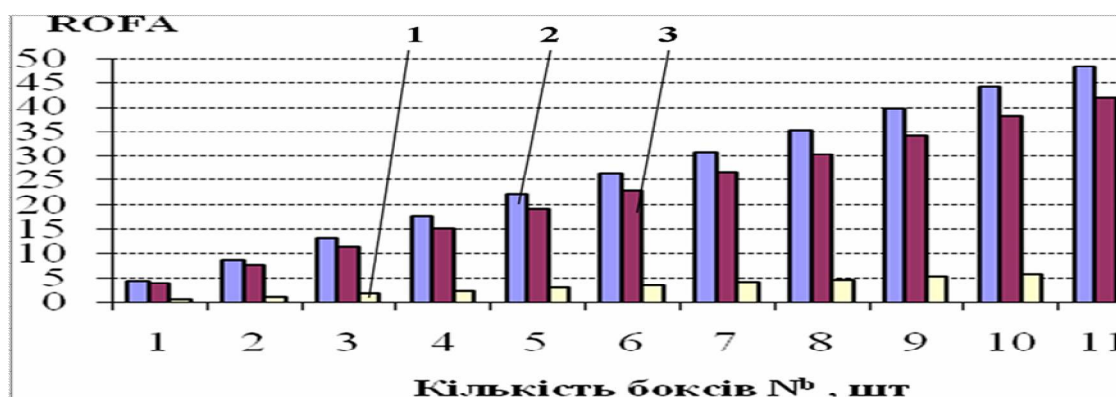


Рис. 5.1. Коефіцієнт рентабельності основних засобів *ROFA* залежно від кількості боксів для розведення млинової вогнівки: 1 – максимізація кількості продукції; 2 – максимізація доходу; 3 – мінімізація загальних витрат електроенергії за умови максимізації якості продукції [138]

Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень e_{kb} на впровадження системи розраховується таким чином [169]:

$$e_{kb} = (E_p / (K_b + E_b)) = (17520 / (32700 + 5886)) = 0,45, \quad (5.2)$$

де E_p – річний економічний ефект (можливо досягти за рахунок очікуваного максимального прибутку виробництва гусениць млинової вогнівки (1440 грн) за 1 технологічний цикл (30 діб) за умови мінімізації загальних енерговитрат (131 грн [118]);

K_b – капітальні витрати на створення системи;

E_b – експлуатаційні витрати на впровадження, експлуатацію та обслуговування системи (із розрахунку 1,5% на місяць витрати на рік розраховуються як добуток капітальних витрат і констант 0,015 та 12 [169]).

Тоді термін повної окупності системи в умовах лабораторного виробництва ентомофагів T_{ok} становить [169]:

$$T_{ok} = \frac{1}{e_{kb}} = \frac{1}{0,45} = 2,2 \text{ роки.} \quad (5.3)$$

При впровадженні інтелектуальної системи керування в умовах промислового виробництва ентомофагів доцільним є використання контролерів нечіткої логіки.

Підвищення ефективності лабораторного виробництва ентомофагів відбувається за рахунок:

– скорочення часу обробки інформації на 70 % завдяки автоматизації процесів керування абіотичними параметрами постадійного розвитку комах. Так, на ручну обробку інформації необхідно витратити 15 чол.·год., при використанні системи керування – 4,5 чол.·год. Абсолютний показник економічної ефективності становить 10,5 чол.·год.;

– спостереження в режимі реального часу за температурою поживного середовища, що дозволяє оцінювати інтенсивність процесів розвитку ентомокультур та не витрачати електроенергію на виробництво некондиційної продукції;

- автоматизації складного виробничого процесу при функціонуванні гібридної підсистеми керування температурою повітря боксу з комахами, що дозволяє зменшити вплив суб'єктивного фактору;

- покращення на 20 % якості керування температурою повітря боксу гібридною інтелектуальною підсистемою за модульним інтегральним критерієм порівняно з традиційною підсистемою керування на основі двопозиційного регулятора TRM202 ОВЕН;

- зменшення до 40 % амплітуди коливань температури повітря боксу відносно уставки при керуванні на основі гібридної підсистеми;

- скорочення витрат електроенергії до 33 % в умовах збурень за рахунок використання гібридної інтелектуальної підсистеми;

- формування стратегій керування якістю ентомологічної продукції в умовах неповноти інформації, що дозволяє збільшити економічну ефективність виробництва ентомофага та його хазяїна на 20 % (у процесі прийняття рішень є можливість паралельної обробки великої кількості правил бази знань, при цьому може бути декілька цільових функцій порівняно з традиційним регресійним аналізом. Так, для оцінки кількості та якості гусениць млинової вогнівки за дією сукупності факторів впливу при використанні регресійного аналізу необхідно витратити 1 год на добу, нечіткої логіки – 0,8 год на добу);

- використання когнітивного аналізу, що дало можливість з достатньою точністю формалізувати слабо-структуровані завдання та систематизувати знання щодо взаємодії різнорідних параметрів у виробництві ентомофага бракон;

- формування керуючих впливів при виробництві ентомофага бракон із використанням здатної до самонавчання гібридної мережі;

- визначення в умовах неповної вхідної інформації максимального значення прибутку виробництва ентомологічної продукції за умови мінімізації енерговитрат із похибкою апроксимації в межі допустимих значень.

5.2. Висновки до розділу 5

Проведено розрахунок показників ефективності впровадження інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофага бракон за коефіцієнтом рентабельності основних засобів *ROFA*, коефіцієнтом економічної ефективності капітальних вкладень і терміном повної окупності системи.

Визначено, що максимізація доходу та мінімізація загальних витрат електроенергії за умови максимізації якості продукції є найбільш ефективними стратегіями керування при збільшенні кількості боксів для розведення комах. Термін повної окупності інтелектуальної системи в умовах лабораторного виробництва ентомофагів складає 2,2 роки.

Структуровано фактори підвищення ефективності лабораторного виробництва ентомофагів у процесі функціонування інтелектуальної системи керування.

ВИСНОВКИ

У результаті дисертаційного дослідження вирішено важливе наукове завдання, яке полягає у розробленні інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів, враховуючи особливості біологічної складової процесу виробництва в умовах невизначеності. Внаслідок проведення теоретичних та експериментальних досліджень отримані такі наукові та практичні результати.

1. Основними підходами до забезпечення якості ентомологічної продукції є системний, експертний та стратегічного планування. Отримано кількісну оцінку часток впливу суттєвих технологічних факторів забезпечення якості: умови розведення (44 %), якість стартової популяції (30 %), якість корму (26 %). Визначено фактори, що призводять до отримання некондиційної ентомологічної продукції: основний вплив мають тривале культивування потомства вихідної популяції (22 %) та кліматичні умови (19 %).

2. Досліджено бокс для вирощування млинової вогнівки (*Ephestia kuehniella*). Розроблено математичну модель процесу змінювання температури повітря боксу від теплоти нагрівника потужністю 1000 Вт у вигляді аперіодичної ланки з постійною часу 625 с, коефіцієнтом підсилення 0,006 °C/Вт та ланки чистого запізнювання із запізненням у 180 с; автоматизовану підсистему керування виробництвом ентомофагів зі SCADA програмою та проведено її експериментальні дослідження.

3. Вперше розроблено метод керування для енергоефективного виробництва ентомофагів в умовах невизначеності, котрий на основі інформації про температуру та відносну вологість повітря боксу для розведення комах, загальні витрати поживного середовища, витрати на інокуляцію поживного середовища яйцями комах-хазяїна за результатами використання нечіткої логіки з урахуванням збурення формує стратегії керування, що максимізують прибуток виробництва за умови мінімізації енерговитрат.

4. Вперше розроблено гібридну інтелектуальну підсистему керування

температурою повітря боксу для вирощування комах, яка на 20 % покращує якість керування порівняно з традиційною підсистемою керування на основі позиційного алгоритму; дозволяє зменшити до 40 % амплітуду коливань температури повітря відносно уставки, скоротити витрати електроенергії до 33 % в умовах збурень, підтримати оптимальні умови розвитку ентомокультур.

5. Для підвищення ефективності виробництва, визначення якості ентомокультур в умовах неповної вхідної інформації за сукупною дією абіотичних і технологічних факторів, формалізації слабо-структурованих завдань розроблено: експертну підсистему нечіткого висновку типу Мамдані щодо якості виробництва ентомофага бракон; гібридну мережу для формування керуючих впливів при виробництві ентомофага бракон; алгоритм оптимізації виробництва ентомофагів за критерієм якості на основі використання нечіткої логіки і функції бажаності Харрінгтона; метод оптимального керування виробництвом ентомофагів; регресійні моделі якості ентомологічної продукції; інформаційно-аналітичну підсистему біологічних показників якості ентомофагів та їх аналогів; загальний алгоритм функціонування інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів; структуру дій щодо керування виробництвом ентомофагів за допомогою інтелектуальної системи; нечіткі когнітивні карти та когнітивні моделі для контролю якості ентомологічної продукції.

6. Розроблено інтелектуальну систему керування виробництвом ентомофага бракон, яка в автоматичному режимі формує керуючі впливи на процеси розвитку ентомокультур, в автоматизованому – реалізує стратегії керування прибутком виробництва, мінімізуючи енерговитрати в умовах невизначеності за рахунок дії природних збурень. Проведено оцінку ефективності впровадження системи в умовах лабораторного виробництва за коефіцієнтами рентабельності основних засобів ROFA, економічної ефективності капітальних вкладень і терміном повної окупності системи. Максимізація доходу та мінімізація загальних витрат електроенергії за умови максимізації якості продукції є найбільш ефективними стратегіями керування при збільшенні кількості боксів для розведення комах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тамарина Н. А. Основы технической энтомологии. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1990. 204 с.
2. Крутякова В. І., Молчанова О. Д., Лімарь І. В., Чернова І. С. Вимоги та умови створення Центру маточних культур комах. Вісник аграрної науки. 2016. № 12. С. 44-46.
3. Лисенко В. П., Бельченко В. М., Чернова І. С. Прогнозування якості ентомокультур. Вісник аграрної науки. 2016. № 5. С. 52-54.
4. 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.
5. Молчанова Е. Д., Лешишак А. В., Шейкина Е. Б. Влияние кормового субстрата для выкармливания гусениц мельничной огневки на биологические показатели бракона. Материалы VI Международной научной конференции «Чтения памяти проф. И.И. Барабаш-Никифорова». Воронеж. 25 марта 2014 г. Изд. дом ВГУ. Воронеж. 2014. С. 105-108.
6. Молчанова Е. Д., Шейкина Е. Б., Городецкий С. А. Оптимизация корма для выращивания мельничной огневки. Защита растений. Минск. 2015. Вып. 39. С. 191-196.
7. Білоусов Ю. В., Сапожнікова М. М., Анісімова Н. М. Вплив виду імагінального корму на демографічні показники штучної популяції звичайної золотоочки. Вісник аграрної науки Південного регіону. Одеса. 2012. Вип.12-13. С. 156-163.
8. Белякова Н. А. Производство энтомофагов для тепличного растениеводства. Защита и карантин растений. 2013. Вып. 5. С. 9-12.
9. Красавина Л. П. Оптимизация процесса разведения *Aphidius colemani* Защита и карантин растений. 2009. № 1. С. 39 - 42.
10. Маркина Т. Ю., Бачинская Я. А., Калинина О. В. Оптимизация пространственной и возрастной структур искусственных популяций

насекомых в условиях техноценозу. Материалы II Международной научной конференции «Биоразнообразие и роль зооценоза в естественных и антропогенных экосистемах». Днепропетровск. 28-31 октября 2003 г. ДНУ, 2003. С. 133 - 135.

11. Маркина Т. Ю. Структурированность искусственных популяций насекомых как основа их функциональной устойчивости. Известия Харьковского энтомологического общества. 2007 (2008). Т. XV. Вып. 1-2. С. 197 - 200.

12. Lenteren J. C. van. Quality Control and Production of Biological Control Agents. Theory and Testing Procedures. Laboratory of Entomology Wageningen University Wageningen The Netherlands. CABI Publishing. 2003. 329 p.

13. Белякова Н. А. Контроль качества энтомофагов на биотехнологических производствах. Материалы Международной научно-практической конференции «Современные технологии и средства защиты растений – платформа для инновационного освоения в АПК России». СПб – Пушкин. 8–12 октября 2018 г. С. 26-27.

14. Grenier S. In vitro rearing of entomophagous insects – Past and future trends: a minireview. Bulletin of Insectology. 2009. V. 62. Iss. 1. P. 1 – 6.

15. Дем'янчук Н. П. Біотехнологічні аспекти виробництва ентомологічного препарату трихограми (HYMENOPTERA, TRICHOGRAMMATIDAE) для біологічного захисту рослин: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: 03.00.20. Київ. 2007. 25 с.

16. Белякова Н. А. Особенности современных технологий массового разведения энтомофагов. Защита и карантин растений, 2010. № 8. С. 18 -20.

17. Бельченко В. М., Шейкин Б. М., Лешишак А. В., Бородавкина Т. В. К вопросу определения объемов обитания энтомокультур в промышленных биотехнологических системах. Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию: сб. науч. труд. Несвиж. 2013. Вып. 37. С. 161 - 167.

18. Thompson S. N. Nutrition and culture of entomophagous insects. Annual Review of Entomology. 1999. V. 44. P. 561-592.

19. Cohen A. C., Nordlund A. D., Smith A. R. Mass rearing of entomophagous insects and predaceous mites: are the bottlenecks biological, engineering, economic, or cultural? *Biocontrol News and Information*. 1999. V. 20. Iss 3. P. 85 - 90.

20. Mangan R., Dirilgen T., Baars J.-R. Responses of adult *Hydrellia lagarosiphon* to a revised diet: implications for life cycle studies and laboratory culturing techniques. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2015. V. 157. Iss. 2. P. 164 - 169.

21. Панова Р. И. Повышение эффективности гидропонного овощеводства путем использования ультразвука в биологической защите растений: автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук: 05.20.02. Челябинск. 2015. 156 с.

22. Богатырев О. Д. Интеграция информационных технологий в технологии массового разведения агентов биологического контроля вредителей сельхозкультур. Материалы Международной научно-практической конференции «Биологическая защита растений - основа стабилизации агроэкосистем» с молодежной стратегической сессией «Кадры, ресурсы, возможности, инновации». Краснодар. 20-22 сентября 2016 г. С. 212-215.

23. Беспалов І. М., Барабаш А. Д., Шейкін Б. М. Технологічне устаткування для реалізації циклів ентомологічних виробництв. Вісник аграрної науки Південного регіону. Сільськогосподарські та біологічні науки. Одеса. 2007. Вип. 8. С. 151-153.

24. Лисенко В. П., Чернова І. С. Електротехнічний комплекс у ентомологічному виробництві. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 242. С. 51-55.

25. Сурмин Ю. П. Теория систем и системный анализ. Учеб. пособие. К., МАУП. 2003. 368 с.

26. Чернышов В. Н., Чернышов А. В. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та. 2008. 96 с.

27. Мустецов Т. М. Нечипоренко А. С. Теорія біотехнічних систем: навчальний посібник. Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна. 2015. 188 с.
28. Чернова І. С. Системний підхід щодо структурування технологічних процесів ентомологічних виробництв. Аграрний вісник Півдня. 2014. № 1. С. 181–189.
29. ДСТУ ISO 9000:2007. Національний стандарт України. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2005, IDT) . Чинний від 2008-10-01. Київ. Держспоживстандарт України 2008. 35 с.
30. Рішняк І. В. Застосування імітаційних моделей для управління ризиками ІТ-проектів. Інформ. системи та мережі. Вид-во Нац. ун-ту "Львів.політехніка". 2010. № 673. С. 171-181.
31. Меняев М. Ф. Содержание организационно-экономической части дипломного проекта (для проектов, связанных с разработкой программного обеспечения): Учеб. пособие. М., Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2002. 24 с.
32. Borzoui E., Naseri B., Mohammadzadeh-Bidarani M. Adaptation of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) to Rearing on *Ephesia kuehniella* (Lepidoptera:Pyralidae) and *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Insect Science, 2016. V. 16. Iss. 1. P. 1 - 7.
33. Лисенко В. П., Чернова І. С. Інформаційне забезпечення контролю якості ентомофагів. Вісник аграрної науки. 2017. № 1. С. 48-51.
34. Масове розведення ентомофага бракона. Тимчасовий технологічний регламент ТТР00495929-021:2013/ІТІ «Біотехніка» НААН. Одеса. 2013. 51 с.
35. Ghimire M. N., Phillips T. W. Oviposition and Reproductive Performance of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) on Six Different Pyralid Host Species. Annals of the Entomological Society of America. 2014. V. 107. Iss. 4. P. 809-817.
36. Молчанова О. Д., Копко І. А. Розведення млинової вогнівки для вирощування ектопаразиту бракон (*Habrobracon hebetor* Say.). Аграрний вісник Півдня. 2014. № 1. С. 131–134.

37. 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.

38. Методичні рекомендації щодо створення системи визначення якості і сертифікації трихограми. ІТІ “Біотехніка” УААН. Одеса. 2009. 10 с.

39. Ходорчук В. Я., Чернова І. С. Основні підходи щодо формалізації оцінки якості ентомокультур. Вісник аграрної науки Південного регіону. 2012. № 12. С. 169 -176.

40. 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.

41. Бельченко В. М., Чернова І. С., Таргоня В. С. Методи розроблення біоінженерних комплексів виробництва ентомокультур. Вісник аграрної науки. 2017. № 9. С. 49-52.

42. Чернова І. С., Лисенко В. П. Використання інтелектуальних алгоритмів для керування виробництвом ентомофагів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Біологічний метод захисту рослин: досягнення і перспективи». Одеса. 1-5 жовтня 2018 року. Інформ. бюлетень СПРС МОББ № 53. 2018. С. 335-341.

43. Чернова И. С. Экспериментальная модель качества мельничной огневки при разведении энтомофага бракон. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Біотехнологічні системи виробництва і застосування засобів біологізації землеробства». Одеса, 3-7 жовтня 2016 року. Інформ. бюл. СПРС МОББ. № 49. 2016. С. 264-269.

44. Злотин А. З. Техническая энтомология. Справ. пособ. К.: Наукова думка. 1989. 183 с.

45. Крутякова В. І., Беспалов І. М., Молчанова О. Д., Лобан Л. Л. Інженерно-технологічні інновації у виробництві ентомологічних та мікробіологічних засобів захисту рослин: монографія. Одеса. 2017. 196 с.

46. Чернова И. С., Бельченко В. М., Молчанова Е. Д. К вопросу моделирования качества энтомокультур. Материалы Международной научной конференции «Защита Растений в Традиционном и Экологическом Земледелии». Кишинев. Республика Молдова. 10-12 декабря 2018 г. С. 335-338.

47. ДСТУ 3230 - 95. Управление качеством и обеспечение качества. Термины и определения: Введ. 1996.07.01. К., Госстандарт Украины. 1996. 27 с.

48. Смолянкин Г. В. Системы обеспечения управления качеством продукции. Российское предпринимательство. 2001. № 12 (24). С. 62-65.

49. Ребрин Ю. И. Управление качеством. Учеб. пособие. Таганрог. ТРТУ. 2004. 174 с.

50. Малышев О. В. Моделирование деятельности организации: от онтологии к технологии. Математичні машини і системи. 2005. № 1. С. 68-78.

51. Ефимов В. В. Улучшение качества проектов и процессов: Учебное пособие. Ульяновск. УлГТУ. 2004. 185 с.

52. Кочегин А. А. Показатели качества технологических процессов и систем. Сбор. трудов XVII Международной научно-практической конференции «Современные техника и технологии». Томск. ТПУ. 2011. Т.3. С. 137-138.

53. Крутякова В. І., Чернова І. С., Молчанова О. Д., Должикова І. В. Основні підходи до забезпечення якості ентомологічної продукції. Техніка і технології АПК. 2015. № 11 (74). С. 30-31.

54. ДСТУ ISO 9004 - 4 - 98. Управление качеством и элементы системы качества. Часть 4. Руководящие указания по улучшению качества: Введ. 1999. 01.01. К., Госстандарт Украины. 1999. 37 с.

55. Силич В. А., Силич М. П. Системный анализ и исследование операций. Учебное пособие. Томск. ТПУ. 2000. 97 с.

56. Арутюнова Д. В. Стратегический менеджмент. Учеб. пособ. Таганрог. ТТИ ЮФУ. 2010. 122 с.

57. Пошаговая инструкция по составлению PEST анализа. URL: <http://powerbranding.ru/biznes-analiz/pest/example/>

58. Дерканосова Н. М., Журавлев А. А., Сорокина И. А. Моделирование и оптимизация технологических процессов пищевых производств. Практикум: учеб. пособие. Воронеж. ВГТА. 2011. 196 с.

59. Воронцова Н. Л. Сравнительная оценка зерновой моли при разведении на различном корме. Массовое разведение насекомых. Кишинев. Штиинца. 1981. С. 16.

60. Бельченко В. М., Чернова И. С. Система управления качеством энтомологической продукции с использованием информационных технологий. Сборник научных трудов «Защита растений». Минск. 2015. Вып. 39. С. 262-267.

61. Lysenko V., Chernova I. Infocommunication Provision for the Production of Entomophages. IEEE International Scientific - Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology PICS&T'2019». Kyiv. October 8-11. 2019. P. 67-70.

62. Недбай А. А., Мерзликина Н. В. Основы кваліметрії [Електронний ресурс]: Красноярск. ИПК СФУ. 2008. 126 с. URL: http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/104/u_course.pdf.

63. Иванова Ю. В., Журухин Г. И., Руткаускас Т. К., Чучкалова Е. И. Прикладная экономика: практикум. Екатеринбург. РГППУ. 2012. 125 с.

64. Арютов Б. А., Важенин А. Н., Пасин А. В. Методы повышения эффективности механизированных производственных процессов по условиям их функционирования в растениеводстве. Академия Естествознания. 2010. URL: <https://www.monographies.ru/ru/book/section?id=2895>

65. Аристов И. В. Повышение эффективности управления качеством. Электронная книга. Воронеж: Воронежский госуниверситет. Инновационный Центр Новых Технологий ВГУ. 2004. 62 с.

66. Чернова І. С. Методологія керування якістю ентомологічної продукції. Аграрний вісник Півдня. 2014. № 1. С. 189–191.

67. Патент на винахід. 34045. Україна. МПК (2006) B02B 1/00, A01K67/00. Бельченко В. М., Саркісян Л. С., Ланцман Л. І. Кондиціонер зерна. Заявка № u200802402; Заявл. 25.02.2008; Опубл. 25.07.2008, Бюл. № 14.

68. 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.

69. Беспалов І. М., Бельченко В. М., Шейкін Б. М. та ін. Кліматична техніка у технологічних процесах промислової ентомології. Аграрний вісник Півдня. Сільськогосподарські науки. Одеса: Інститут сільського господарства Причорномор'я НААН України. 2014. Вип.1. С. 69-74.

70. Технологічний тимчасовий регламент на виробництво яєць зернової молі ТТР-46.00495929-001-2005 / ІТІ "Біотехніка" УААН. Одеса. 2005. 23 с.

71. ДСТУ 4757:2007. Промислова ентомологія. Терміни та визначення понять. Чинн. від 01.01.2009. К., Держспоживстандарт України. 2010. 20 с.

72. Шейкин Б. М., Бельченко В. М., Беспалов И. Н., Шейкина Е. Б. Биотехнологические системы в промышленной энтомологии. Защита растений. Несвиж. 2014. Вып. 38. С. 245-250.

73. Гнатюк В. И. Закон оптимального построения техноценозов: монография. Калининград: КИЦ «Техноценоз». 2014. 204 с.

74. Попов С. М. Гомеостаз в механізмі зворотних зв'язків біологічних, технічних і соціальних систем. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Теорія культури і філософія науки, 2011. № 958 (2). Вип. 45. С. 92 - 101.

75. Чернова І. С. Методичні підходи до керування якістю ентомофагів. Техніка і технології АПК. 2016. № 2 (77). С. 32 – 33.

76. Антонов А. Р. Системная оценка нарушений гомеостаза при критических состояниях. Современные проблемы науки и образования. Новосибирск: НГМУ. 2009. № 6. С. 8.

77. Лисенко В. П., Чернова І. С. Дослідження боксу з комахами як об'єкта автоматизації. Науковий вісник Національного університету

біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК, 2016. Вип. 254. С. 352-360.

78. Грошева Л. П. Принцип составления энергетического (теплового) баланса и тепловые расчеты химико-технологических процессов. В. Новгород: Новгородский государственный университет. 2006. 14 с.

79. Салтыков А. В. Биозкология. Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет. 2000. 88 с.

80. Стрелкова Е. В., Дуктов В. П. Физиология насекомых. Горки: Белорусская сельскохозяйственная академия. 2008. 25 с.

81. Дацишин О. В., Ткачук А. І., Гвоздев О. В., Ялпачик Ф. Ю., Гвоздев В. О. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв. Вінниця: Нова Книга. 2008. 488 с.

82. Еськов Е. К., Тобоев В. А. Конвергентное сходство механизмов терморегуляции у теплокровных животных и консолидированных скоплений насекомых. Наземные экосистемы. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3. С. 169-176.

83. Дядик В. Ф., Байдали С. А., Криницын Н. С. Теория автоматического управления: учеб. Томск: Томский политехнический университет. 2011. 196 с.

84. Шалабанов А. К., Роганов Д. А. Эконометрика. Учебно-методическое пособие. Казань: Академия управления «ТИСБИ». 2008. 203 с.

85. Лысенко В. Ф., Чернова И. С. Формирование требований к энергоэффективным системам управления качеством энтомофагов. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Біотехнологічні системи виробництва і застосування засобів біологізації землеробства». Одеса. 3-7 жовтня 2016 р. Інформ. бюлетень СПРС МОББ № 49. Одеса. С. 155-160.

86. Пат. на корисну модель № 106355 UA, МПК51 A01K 67/00, G07C 3/14. Спосіб керування якістю ентомологічної продукції / В. М. Бельченко, І. С. Чернова; заявник та патентовласник ІТІ «Біотехніка». № u 201509944; заявл. 12.10.2015; опубл. 25.04.2016, Бюл. № 8.

87. Технологічний тимчасовий регламент на виробництво яєць зернової молі ТТР-46.00495929-001-2005 / ІТГ"Біотехніка" УААН. Одеса. 2005. 23 с.

88. Костюченко О. А. Анализ математической модели объема производства продукции и прогнозирование выручки. Концепт. 2014. № 03 (март). URL: <http://e-koncept.ru/2014/14062.htm>.

89. Бараз В. Р. Корреляционно-регрессионный анализ связи показателей коммерческой деятельности с использованием программы Excel: учеб. пособ. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ–УПИ». 2005. 102 с.

90. Кравченко Н. С., Ревинская О. Г. Методы обработки результатов измерений и оценки погрешностей в учебном лабораторном практикуме: учеб. пособ. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск: Изд-во ТПУ. 2011. 88 с.

91. Лисенко В. П., Чернова І. С. Система керування електротехнічним комплексом для виробництва ентомофагів. Енергетика та автоматика. 2018. № 2. С. 45-57. URL:

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/10883/9527>

92. Чернова І. С., Лисенко В. П. До питання контролю якості ентомофагів в техноценозі. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Біологічний метод захисту рослин: досягнення і перспективи». Одеса. 1-5 жовтня 2018 року. Інформ. бюлетень СПРС МОББ. № 53. С. 341-346.

93. Методические указания по промышленному производству трихограммы на биофабриках. М.: ВАСХНИЛ. 1983. 76 с.

94. Савицкая Г. В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: Учеб. пособ. Минск: Новое знание. 2002. 704 с.

95. Янковой Р. В., Харченко Т. С. Шляхи підвищення продуктивності та результативності праці на підприємстві. Економіка: реалії часу. 2013. № 1 (6). С. 23-26. URL: <http://economics.opu.ua/files/archive/2013/n1.html>

96. Лисенко В. П., Головінський Б. Л., Голуб Б. Л., Руденський А. А. Методи і засоби сучасного автоматизованого управління: навчал. посібник. К.: Видавничий центр НАУ. 2007. 62 с.
97. Гутак О. В., Головата Ю. Б., Копистинський Л. О., Семенов Г. Н. Сучасний підхід до побудови систем оптимального керування технологічними комплексами у нафтогазовій галузі промисловості. Нафтогазова енергетика. 2013. № 2 (20). С. 117-127.
98. 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.
99. Шило И. Н., Толочко Н. К., Романюк Н. Н., Нукешев С. О. Интеллектуальные технологии в агропромышленном комплексе. Минск: БГАТУ. 2016. 336 с.
100. Singh H., Sharma N. A Review of Fuzzy Based Expert System in Agriculture. International journal of engineering sciences & research technology. 2014. V. 3(7). P. 912-915.
101. Azaza M., Echaieb K., Fabrizio E., Iqbal A., Mami A. An intelligent system for the climate control and energy savings in agricultural greenhouses. Energy Efficiency. 2016. V. 9. P. 1241–1255.
102. Савчук О. В., Ладанюк А. П. Розробка когнітивної моделі для аналізу функціонування технологічного комплексу молочного заводу. Технологический аудит и резервы производства. 2015. № 4/3 (24). С. 46-50.
103. Игнатьев В. В. Адаптивные гибридные интеллектуальные системы управления. Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. № 12 (113). С. 89-94.
104. Мироненко В. Г. Модель досягнення оптимального стану об'єкту, що обробляється в рослинництві. Матеріали XXIV Міжнародної конференції з автоматичного управління «АВТОМАТИКА-2017». Київ, 13-15 вересня 2017 р.: тези конференції. Київ, 2017. С. 91-92.

105. Djatkov D., Effenberger M., Martinov M. Method for assessing and improving the efficiency of agricultural biogas plants based on fuzzy logic and expert systems. *Applied Energy*. 2014. V. 134: P. 163–175.

106. Горобець В. Г., Троханяк В. І., Антипов Є. О., Богдан Ю. О. Розробка нейро інформаційної системи керування електротехнічним комплексом пташника. *Енергетика і автоматика*, 2017. № 1. С. 1-15. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/8787/8101>

107. Rana D. S., Rani S. Fuzzy Logic Based Control System for Fresh Water Aquaculture: A MATLAB based Simulation Approach. *Serbian journal of electrical engineering*. 2015. V. 12. Iss. 2. 171-182.

108. Лисенко В. П., Решетюк В. М., Штепа В. М. та ін. Програмно-апаратне забезпечення підсистеми моніторингу зовнішніх температури і вологості повітря при енергоефективному керуванні мікрокліматом у теплиці. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. Київ. 2014. № 194. С. 1-8.

109. Патент на изобретение. 2440726. Российская Федерация. МПК A01K61/00 (2006.01). Федченко В. М. Способ контроля развития гидробионтов, например, осетровых рыб в раннем онтогенезе. Заявка № 2009124514/13; Заявл. 26.06.2009; Оpubл. 27.01.2012. Бюл. № 3.

110. Конспект лекцій з дисципліни “Контроль та керування біотехнологічними процесами” /Укладач: Корнієнко І. М. Кам’янське: ДДТУ. 2017. 72 с.

111. Лисенко В. П., Чернова І. С. Інформаційне забезпечення оптимального керування вирощуванням ентомофагів. *Енергетика та автоматика*. 2018. № 1. С. 35-46. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/10588>

112. Дубовой В. М., Сольський О. С. Застосування нечіткої бази знань Мамдані-Заде для просторової інтерполяції щільності популяції. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2013. V. 6. Iss. 3 (66). P. 26-29.

113. Peixoto M. S., Barros L. C., Bassanezi R. C., Fernandes O. A. An approach via fuzzy sets theory for the dynamics of the soybean aphid and its predator. *Biomatematica*. 2015. Iss. 25. P. 185–200.
114. Kumar A., Kumar S. Prediction of Production of Crops using K-mean & Fuzzy Logic. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*. 2015. V. 4. Iss. 8. P. 44-56.
115. Ceballos M. R., Gorricho J. L., Gamboa O. P. et al. Fuzzy System of Irrigation Applied to the Growth of Habanero Pepper (*Capsicum chinense Jacq.*) under Protected Conditions in Yucatan, Mexico. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2015. V. 11 (6).
116. ДСТУ 2155-93. Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів по енергозбереженню. Чинний від 01.01.95. К. : Держстандарт України.
117. Лисенко В., Чернова І. Адаптивна система керування виробництвом ентомофагів. *Automation of Technological and Business Processes*, 2019. V. 11. Iss. 2. P. 10-16.
118. Лисенко В. П., Чернова І. С. Інтелектуальний алгоритм керування для енергоефективного вирощування ентомофагів. *Automation of Technological and Business Processes*, 2018. V. 10. Iss. 3. P. 50–58.
119. Крючкова Л. П., Борисенко І. І. Застосування ситуаційного моделювання в управлінні технічними системами. *Зв'язок*. 2017. № 4. С. 43-47.
120. Стеценко Д. О., Зігунов О. М., Смітюх Я. В. Інтелектуальна обробка даних в системі автоматизованого управління технологічним комплексом брагоректифікації. *Technology audit and production reserves*. 2014. № 2/1(16). С. 49–52.
121. Лубенцова Е. В. Исследование алгоритмов обучения нейронечеткой системы управления биотехнологическим процессом. *Научный журнал КубГАУ*. 2017. № 128 (04). С. 1–11.
122. Мурачев Е. Г., Холодов Г. М., Солопова О. И. Методика построения системы управления технологическим процессом биологической очистки

сточных вод на основе гибридных нейронных сетей. Известия МГТУ «МАМИ». 2009. № 2 (8). С. 231-241.

123. Mrosko M., Miklovičová E. Real-time implementation of predictive control using programmable logic controllers. International Journal of Systems Applications, Engineering & Development. 2012. V. 6. Iss. 1. P. 106-113.

124. 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.

125. Дрозд О. В., Капулин Д. В. Моделирование и исследование автоматизированных систем управления и диспетчеризации технологических процессов. Исследования наукограда. 2013. № 3-4 (6). С. 39-45.

126. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. URL: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php>

127. Ефремов В. В., Маркман Г. З. «Энергосбережение» и «Энергоэффективность»: уточнение понятий, система сбалансированных показателей «Энергоэффективности». Известия Томского политехнического университета. 2007. Т. 311. № 4. С. 146-148.

128. Сухонос М. К. Разработка системы оценки энергоэффективности энергоинфраструктуры предприятия. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2011. № 4. С. 16 – 21.

129. Севастьянов Р. В., Калініна Я. Ю. Енергоефективність промислових підприємств України та бар'єри з її впровадження. Економічний вісник Запорізької державної інженерної академії. 2014. Вип. 7. С. 144-154.

130. Ханик Я. М. Енергозбереження: Навчальний посібник для студентів вузів. 4.1: Термодинаміка. 2009. 206 с.

131. Міняйленко І. В., Позняк Ю. І. Енергоефективність виробництва та її роль у створенні конкурентоспроможної економіки регіонів України. Ефективна економіка. 2014. № 11. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3579>

132. Суходоля О. В. Види та цілі управлінських впливів у сфері енергоефективності. Вісник Нац. академії держ. управління при Президентіві України. 2009. № 2. С. 252-261.

133. Гінзбург М. Д. Нотатки термінолога. Що таке енергоефективність? Ринок інсталяцій., 2008. № 5. С. 54-56.

134. Ярошевський В.П., Осипенко Т. М. Оцінювання енергоефективності технологічних процесів промислових виробництв мікробіологічних препаратів для захисту рослин. Матеріали Міжнародної науково - практичної конференції «Біологічний метод захисту рослин: досягнення і перспективи». Одеса. 1-5 жовтня 2018 р. Інформ. бюлетень СПРС МОББ. № 53. С. 373–380.

135. Зольников В. А. Подходы к описанию иерархических систем. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами». К: НУХТ 2014 р. С. 136-137. URL: <http://nuft.edu.ua/page/view/konferentsii>

136. 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.

137. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. Санкт-Петербург: Питер. 2001. 488 с

138. Лисенко В. П., Чернова І. С. Інтелектуальний аналіз у керуванні виробництвом ентомофагів. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2019. Вип. № 9 (108). Глеваха. 2019. С. 224-230.

139. Пат. 127141 UA, МПК G07C 3/14 (2006.01), G05B 13/04 (2006.01), A01K 67/033 (2006.01). Спосіб керування якістю ентомологічної продукції / Лисенко В. П., Чернова І. С.; заявник і власник Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» Національної академії аграрних наук. – № u201708505; заявл. 19.08.2017; опубліковано 25.07.2018, Бюл. № 14/2018.

140. Lysenko V., Chernova I. Information Provision for Automated Production of Entomophages. 4th International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology PIC S&T`2017», Kharkiv, October 10-13, 2017. IEEE: Conference Proceedings. P. 142-145.

141. Штовба С. Д., Штовба О. В. Нечіткі технології в брендинзі. Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці. 2013. № 2. С. 187-202.

142. Лисенко В. П., Чернова І. С. До питання керування виробництвом ентомофагів. Енергетика та автоматика. 2017. № 3. С. 15-24. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/9325/8398>

143. Лисенко В. П., Чернова І. С. Алгоритм оптимізації виробництва ентомофагів за критерієм якості. Вісник аграрної науки, 2017. № 7. С. 48-53.

144. Азгальдов Г. Г., Райхман Э. П. О квалиметрии. М., Изд-во стандартов. 1973. 172 с.

145. Лисенко В. П., Мірошник В. О., Лендел Т. І. Оптимізація вирощування томатів в теплиці з використанням функції бажаності Харрінгтона. Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. 2015. Т. 7. № 4. С. 33–39.

146. Булгакова И. Н., Морозов А. Н. Использование «функции желательности для формализации комплексного показателя конкурентоспособности промышленного предприятия. Вестник ВГУ. Серия Экономика и управление. 2009. № 2. С. 54-56.

147. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. Винница: Универсум – Винница. 1999. 320 с.

148. Ладанюк А. П. Основи системного аналізу. Вінниця: Нова книга. 2004. 176 с.

149. Зубков В. С. Кибернетический подход как методология улучшения качества и конкурентоспособности продукции. Стандарты и качество. 2004. № 2. С. 64–67.

150. Ильенкова С. Д., Ильенкова Н. Д., Ягудин С. Ю. и др. Управление качеством. Учебник М.: ЮНИТИ. 198 с.

151. 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.

152. Макарова Г. Когнітивне моделювання у прогнозуванні економічного потенціалу підприємства. Вісник КНТЕУ. Київ. 2013. № 4. С. 81-91.

153. Мухачева Н. Н., Попов Д. В. Системно-когнитивный подход к построению онтологических баз знаний информационно-интеллектуальных ресурсов. Вестник РГРТУ. Рязань. 2009. № 4 (Вып. 30). С. 1-8.

154. Рудниченко Н. Д., Вычужанин В. В. Информационная когнитивная модель технологической взаимозависимости сложных технических систем. Informatics and Mathematical Methods in Simulation. 2013.V. 3. Iss. 3. P. 240-247.

155. León M., Rodriguez C., García M. M. et al. Fuzzy Cognitive Maps for Modeling Complex Systems. Mexican International Conference on Artificial Intelligence MICAI 2010: Advances in Artificial Intelligence. Springer, Berlin, Heidelberg. P. 166-174.

156. Михалев А. И., Новикова Е. Ю. Нечетко-когнитивный подход в задаче управления процессом выплавки FeSi. Адаптивні системи автоматичного управління. 2006. № 9 (29). С. 133-139.

157. Маргасов Д. В. Розробка структури інформаційної системи з енерго-ефективності на основі когнітивного моделювання. Управління розвитком складних систем. 2015. Вип. 24. С. 97-105.

158. Горелова Г. В., Хлебникова А. И. Когнитивное моделирование для интеллектуальной системы поддержки принятия решений управления транзитной торговлей. Искусственный интеллект. 2010. № 3. С. 473- 482.

159. Лисенко В. П., Чернова І. С. Нечітка когнітивна карта для контролю якості ентомологічної продукції. Матеріали XXIV Міжнародної конференції з

автоматичного управління «АВТОМАТИКА-2017». Київ, 13-15 вересня 2017 р.: тези конференції. Київ. 2017. С. 81-83.

160. 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. P. 530-534.

161. Лисенко В. П., Чернова І. С. Інтелектуальна обробка інформації при виробництві ентомофагів. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та взаємодії» (IT&I'2018). Київ. 20-21 листопада 2018 р.: тези доповіді. Київ. 2018. С. 196-197.

162. Аверкин А. Н. Абдикеев Н. М. Ефремова Н. А. Использование гибридных интеллектуальных систем для моделирования экономических процессов в когнитивной экономике. Труды IX Международной конференции «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций» (CASC'2011). Москва. 14-16 ноября 2011 г. М.: ИПУ РАН. 2011. С. 307-316.

163. Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps. International Journal of Man-Machine Studies. 1986. V. 24. Iss. 1. P. 65-75.

164. Васильев В. И., Савина И. А., Шарипова И. И. Построение нечетких когнитивных карт для анализа и управления информационными рисками вуза. Уфа: Вестник УГАТУ. 2008. Т. 10. № 2 (27). С. 199-209.

165. Гожий О. П. Побудова динамічних моделей на основі нечітких когнітивних карт для вирішення задач сценарного планування. Вісник ЛДУ БЖД. Львів. 2013. № 7. С. 13-17.

166. Штовба С. Д. Обеспечение точности и прозрачности нечеткой модели Мамдани при обучении по экспериментальным данным. Проблемы управления и информатики. 2007. № 4. С. 1 - 13.

167. Чернова І. С. Основні підходи щодо контролю виробництва ентомологічної продукції. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Природнича наука й освіта: сучасний стан і перспективи

розвитку». Харків, 22-24 вересня 2017 року: тези доповіді. Харків. 2017. С. 54-55.

168. Лисенко В. П. Економічний критерій вибору стратегії керування біотехнологічними об'єктами. Біоресурси і природокористування. 2014. Т. 6. № 3–4. С. 174–179.

169. Купін А. І. Структура прототипу та обґрунтування впровадження інтелектуальної системи керування процесом збагачення залізної руди. Радіоелектроніка, інформатика, управління. 2010. № 1. С. 116–120.

ДОДАТКИ

Додаток А

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Крутякова В. І., **Чернова І. С.**, Молчанова О. Д., Должикова І. В. Основні підходи до забезпечення якості ентомологічної продукції. Техніка і технології АПК. 2015. № 11 (74). С. 30-31. *(Здобувачем розроблено систему забезпечення якості ентомологічної продукції, проведено апріорне ранжування технологічних факторів, отримано кількісну оцінку часток впливу найважливіших технологічних факторів).*
2. Лисенко В. П., Бельченко В. М., **Чернова І. С.** Прогнозування якості ентомокультур. Вісник аграрної науки. 2016. № 5. С. 52-54. *(Здобувачем розроблено описову модель техноценозу, запропоновано використовувати коефіцієнт стабільності гомеостазу як показник стійкості ентомофагів до змін параметрів техноценозу).*
3. Крутякова В. І., Молчанова О. Д., Лімарь І. В., **Чернова І. С.** Вимоги та умови створення Центру маточних культур комах. Вісник аграрної науки. 2016. № 12. С. 44-46. *(Здобувачем визначено основні вимоги до якості ентомофагів).*
4. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Інформаційне забезпечення контролю якості ентомофагів. Вісник аграрної науки. 2017. № 1. С. 48-51. *(Здобувачем розроблено регресійні моделі залежності відроджуваності гусениць млинової вогнівки з яєць від температури і відносної вологості повітря).*
5. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Алгоритм оптимізації виробництва ентомофагів за критерієм якості. Вісник аграрної науки. 2017. № 7. С. 48-53. *(Здобувачем встановлено за допомогою функції Харрінгтона рівні бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон і проведено нечітку оцінку його бажаності; розроблено алгоритм оптимізації виробництва ентомофагів на прикладі ентомологічного препарату бракон).*
6. Бельченко В. М., **Чернова І. С.**, Таргоня В. С. Методи розроблення біоінженерних комплексів виробництва ентомокультур. Вісник аграрної

науки. 2017. № 9. С. 49-52. *(Здобувачем розроблено структурно-параметричний комплекс оцінки якості ентомофага Trichogramma).*

7. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Інтелектуальний аналіз у керуванні виробництвом ентомофагів. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха. 2019. Вип. № 9 (108). С. 224-230. *(Здобувачем розроблено алгоритм енергоефективного виробництва ентомофагів, проведено розрахунок показників ефективності впровадження інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів).*

Статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних:

8. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Дослідження боксу з комахами як об'єкта автоматизації. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 254. С. 352-360. *(Здобувачем розроблено експериментальну та аналітичну перехідні характеристики процесу змінювання температури боксу з комахами від теплоти нагрівника).*

9. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** До питання керування виробництвом ентомофагів. Енергетика та автоматика. 2017. № 3 (33). С. 15-24. Режим доступу до статті: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/9325/8398> *(Здобувачем розроблено гібридну мережу для формування керуючих впливів при виробництві ентомофага бракон).*

10. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Інформаційне забезпечення оптимального керування вирощуванням ентомофагів. Енергетика та автоматика. 2018. № 1 (35). С. 35-46. Режим доступу до статті: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/energiya2018.01.035> *(Здобувачем розроблено метод оптимального керування виробництвом ентомофагів).*

11. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Система керування електротехнічним комплексом для виробництва ентомофагів. Енергетика та автоматика. 2018. №

2 (36). С. 45-57. Режим доступу до статті:

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/energiya2018.02.045>

(Здобувачем проведено експериментальні дослідження автоматизованої системи керування зі SCADA програмою).

12. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Інтелектуальний алгоритм керування для енергоефективного вирощування ентомофагів. Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. 2018. № 10 (3). С. 50–58. *(Здобувачем розроблено метод керування для енергоефективного виробництва ентомофагів, експертні системи нечіткого висновку для оцінки прибутку виробництва ентомокультур на базі проведених експериментальних досліджень).*

13. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Адаптивна система керування виробництвом ентомофагів. Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. 2019. № 11 (2). С. 10–16. *(Здобувачем розроблено гібридну інтелектуальну систему керування температурою повітря боксу для лабораторного виробництва млинової вогнівки та проведено її експериментальні дослідження).*

Стаття у науковому виданні іншої держави

14. Бельченко В. М., **Чернова І. С.** Система управления качеством энтомологической продукции с использованием информационных технологий. Защита растений. 2015. Минск. Вып. 39. С. 262-267. *(Здобувачем розроблено автоматизовану систему керування зі SCADA програмою, алгоритм керування якістю ентомологічної продукції).*

Стаття в іншому науковому виданні України

15. **Чернова І. С.** Методичні підходи до керування якістю ентомофагів. Техніка і технології АПК. 2016. № 2 (77). С. 32-33.

Патенти на корисну модель:

16. Бельченко В. М., **Чернова І. С.** Патент 106355 UA, МПК (2016.01) A01K 67/00, G07C 3/14 (2006.01). Спосіб керування якістю ентомологічної продукції; заявник і власник Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» Національної академії аграрних наук України. № u201509944; заявлено 12.10.2015; опубліковано 25.04.2016. Бюл. № 8/2016. *(Здобувачем розроблено автоматизовану систему керування зі SCADA програмою, алгоритм керування якістю).*

17. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Патент 127141 UA, МПК G07C 3/14 (2006.01), G05B 13/04 (2006.01), A01K 67/033 (2006.01). Спосіб керування якістю ентомологічної продукції; заявник і власник Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» Національної академії аграрних наук України. № u201708505; заявлено 19.08.2017; опубліковано 25.07.2018. Бюл. № 14/2018. *(Здобувачем формалізовано визначення якості ентомологічної продукції).*

Матеріали та тези наукових доповідей:

18. **Чернова І. С.**, Барабаш А. Д. Застосування інформаційних технологій у виробництві ентомологічної продукції. Современное состояние и перспективы инноваций биометода в сельском хозяйстве: Международная конференция, г. Одеса, 9–12 сентября 2013 года: тезисы доклада. С. 124–125. *(Здобувачем проведено детальний аналіз особливостей технологічних процесів виробництва ентомологічної продукції).*

19. Чернова І. С. Методические подходы к анализу процессов энтомологических производств. Защита растений – достижения и перспективы: Международный симпозиум, г. Кишинев, Республика Молдова, 27–28 октября 2015 года: тезисы доклада. 2015. С. 295–297.

20. 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: тези доповіді. С. 155–160. *(Здобувачем проведено експериментальні дослідження автоматизованої системи керування зі SCADA програмою).*

21. Чернова И. С. Экспериментальная модель качества мельничной огневки при разведении энтомофага бракон. Біотехнологічні системи виробництва і застосування засобів біологізації землеробства: Міжнародна науково-практична конференція, м. Одеса, 3–7 жовтня 2016 року: тези доповіді. С. 264–269.

22. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Нечітка когнітивна карта для контролю якості ентомологічної продукції. XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління «Автоматика – 2017», м. Київ, 13–15 вересня 2017 року: тези доповіді. К., 2017. С. 81–83. *(Здобувачем розроблено нечітку когнітивну карту для контролю якості ентомологічної продукції).*

23. Чернова І. С. Основні підходи щодо контролю виробництва ентомологічної продукції. Природнича наука й освіта: сучасний стан і перспективи розвитку: Міжнародна науково-практична конференція, м. Харків, 22–24 вересня 2017 року: тези доповіді. Х., 2017. С. 54–55.

24. Lysenko V., **Chernova I.** Information Provision for Automated Production of Entomophages. Problems of Infocommunications. Science and Technology PIC S&T`2017: 4th International Scientific-Practical Conference, Kharkiv, October 10–13. 2017: Conference Proceedings. Kharkiv. 2017. P. 142–145. *(Здобувачем розроблено інтелектуальну систему прийняття рішень щодо якості ентомологічної продукції).*

25. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Наукові основи контролювання якості ентомологічної продукції. IX з'їзд Українського ентомологічного товариства, м. Харків, 20–23 серпня 2018 року: тези доповіді. Х., 2018. С. 66–67. *(Здобувачем визначено основні підходи щодо створення інтелектуальних технологій керування якістю ентомологічної продукції).*

26. **Чернова І. С.,** Лисенко В. П. Використання інтелектуальних алгоритмів для керування виробництвом ентомофагів. Біологічний метод

захисту рослин: досягнення і перспективи: Міжнародна науково-практична конференція, м. Одеса, 1–5 жовтня 2018 року: тези доповіді. С. 335–341. *(Здобувачем визначено основні підходи щодо використання інтелектуальних алгоритмів для керування виробництвом ентомофага бракон).*

27. **Чернова І. С.,** Лисенко В. П. До питання контролю якості ентомофагів в техноценозі. Біологічний метод захисту рослин: досягнення і перспективи: Міжнародна науково-практична конференція, м. Одеса, 1–5 жовтня 2018 року: тези доповіді. С. 341–346. *(Здобувачем проведено експериментальні дослідження щодо контролю температури поживного середовища млинової вогнівки).*

28. Lysenko V., **Chernova I.** Intelligent Algorithms of Processing of Information in the Production Entomophages. Problems of Infocommunications. Science and Technology PIC S&T-2018: International Scientific-Practical Conference, Kharkiv, October 9–12. 2018: Conference Proceedings. Kharkiv. 2018. P. 530–534. *(Здобувачем розроблено когнітивну модель виробництва млинової вогнівки та нечітку когнітивну карту для контролю якості ентомологічної продукції).*

29. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Інтелектуальна обробка інформації при виробництві ентомофагів. Інформаційні технології та взаємодії (IT&I'2018): V Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 20–21 листопада 2018 року: тези доповіді. К., 2018. С. 196–197. *(Здобувачем розроблено когнітивну модель контролю якості ентомологічної продукції).*

30. **Чернова І. С.,** Бельченко В. М., Молчанова Е. Д. К вопросу моделирования качества энтомокультур. Защита растений в традиционном и экологическом земледелии: Международная научная конференция, г. Кишинев, Республика Молдова, 10–12 декабря 2018 года: тезисы доклада. С. 335–338. *(Здобувачем визначено основні підходи щодо моделювання якості ентомокультур).*

31. Лисенко В. П., **Чернова І. С.** Інтелектуальне керування виробництвом ентомофагів. Глобальні та регіональні проблеми інформатизації

в суспільстві і природокористуванні '2019: VII Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 15–16 травня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 156–158. *(Здобувачем розроблено інтелектуальну систему керування виробництвом ентомофагів).*

32. Lysenko V., **Chernova I.** Infocommunication Provision for the Production of Entomophages. Problems of Infocommunications. Science and Technology PICS&T'2019: IEEE International Scientific Practical Conference, Kyiv, October 8–11. 2019. P. 67–70. *(Здобувачем розроблено інфокомунікаційне забезпечення виробництва ентомофагів).*

Додаток Б
АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

**Акт впровадження
методики оцінювання процесів ентомологічних виробництв**

«25» грудня 2015 р.

Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН України в особі директора **Крутякової Валентини Іванівни** та Товариства з обмеженою відповідальністю «Науково-виробничий центр «Агробіотехнологія» в особі **Юрило Юрія Андрійовича** склали цей акт про те, що розроблена для ТзОВ «НВЦ «Агробіотехнологія» методика оцінювання процесів ентомологічних виробництв є актуальною, вона визначає основні напрямки поглибленого аналізу ентомологічних виробництв.

Результатом впровадження є підвищення ефективності виробництва трихограми на 15 % за рахунок раціональної організації процесів її виробництва з урахуванням системи забезпечення якості процесів, критеріїв оцінки якості процесів, методів контролю якості ентомокультур, шляхів поліпшення якості процесів.

Директор ІТІ «Біотехніка» НААН



В.І.Крутякова

Директор ТзОВ «НВЦ «Агробіотехнологія»



Ю.А.Юрило



Акт
про впровадження результатів науково-дослідної роботи
Інженерно-технологічного інституту «Біотехніка» НААН України

«19» листопада 2018 р.

Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН України в особі директора Крутикової Валентини Іванівни, в.о. заступника директора з наукової роботи Бельченко Володимира Михайловича, в.о. завідувача науково-дослідного відділу промислової ентомології № 1 ПП «Біотехніка» НААН Молчанової Олени Дмитрівни, старш. науков. співробітника відділу № IV Чернової Ірини Степанівни склали цей акт про те, що при виконанні науково-дослідної роботи 10.00.01.04П «Розробити автоматизовану систему контролю якості ентомологічних засобів захисту рослин при їх масовому розведенні» (№ ДР 116U003721) був створений експериментальний зразок автоматизованої енергоефективної системи керування електротехнічним комплексом виробництва млинової вогнівки, який впроваджено в науково-дослідному відділі промислової ентомології № 1 ПП «Біотехніка» НААН при вирощуванні млинової вогнівки, комахи-хазяїна ентомофага бракон. При розробці експериментального зразка були використані наступні результати науково-дослідної роботи 10.00.01.04П:

1. Методичні рекомендації щодо контролю якості ентомологічних засобів захисту рослин при їх масовому розведенні.
2. Спосіб керування якістю ентомологічної продукції, захищений патентом України на корисну модель № 127141, опубл. 25.07.2018 р., бюл. № 14.
3. Експериментальний зразок автоматизованої енергоефективної системи керування електротехнічним комплексом виробництва ентомофагів.

Результатами впровадження є:

- збільшення економічної ефективності виробництва ентомофага та його хазяїна на 20 %;
- скорочення часу обробки інформації на 70 %;
- зберігання інформації структурованому вигляді;
- підвищення точності підтримання температури повітря в боксі для розведення ентомокультур;
- прогнозування якості ентомокультур за дією сукупності факторів в умовах невизначеності (в межі допустимих значень середньої помилки апроксимації – не більше 8-10 %);
- формалізація слабо-структурованих процесів виробництва ентомофага бракон;
- формування стратегій керування витратами електроенергії.

Директор ПП «Біотехніка» НААН,
канд. екон. наук

В. І. Крутикова

В. о. заступника директора з наукової роботи,
канд. техн. наук

В. М. Бельченко

В. о. завідувача відділу № I

О. Д. Молчанова

Стар. науков. співробітник відділу № IV

І. С. Чернова



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

**науково-практичних рекомендацій з розробки інформаційного
забезпечення системи контролю якості ентомофагів
розроблених старшим науковим співробітником Інженерно-
технологічного інституту «Біотехніка» НААН України Черновою І.С.**

Цим актом підтверджується, що створені в Інженерно-технологічному інституті «Біотехніка» НААН України по завданню 10.00.01.04П на 2016 р. «Розробити інформаційне забезпечення системи контролю якості ентомофагів» науково-практичні рекомендації впроваджені у навчальний процес на природничому факультеті Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди та використовуються в таких дисциплінах як «Основи наукових досліджень», «Загальна екологія», «Зоологія безхребетних», що передбачені навчальним планом підготовки бакалаврів за спеціальностями 014 Середня освіта (біологія) та 091 Біологія, а також при підготовці магістрів та докторів філософії за спеціальністю 091 Біологія.

Результати впровадження рекомендацій Чернової І.С. було розглянуто та схвалено Вченою радою природничого факультету ХНПУ імені Г.С. Сковороди (протокол №2 від 27.09.2017).

Декан природничого факультету,
доктор біологічних наук

Т.Ю. Маркіна

ПІДТВЕРДЖУЮ:
Ректор Харківського національного
педагогічного університету імені
Г.С. Сковороди
акад. Прокопенко І.Ф.



09.10.2017

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

науково-практичних рекомендацій зі створення технічного, алгоритмічного забезпечення системи контролю якості ентомофагів розроблених старшим науковим співробітником Інженерно-технологічного інституту «Біотехніка» НААН України Черновою І.С.

Цим актом підтверджується, що створені в Інженерно-технологічному інституті «Біотехніка» НААН України по завданню 10.00.01.04П на 2017 р. «Розробити технічне, алгоритмічне забезпечення системи контролю якості ентомофагів» науково-практичні рекомендації впроваджені у навчальний процес на природничому факультеті Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди та використовуються в таких дисциплінах як «Основи наукових досліджень», «Загальна екологія», «Зоологія безхребетних», що передбачені навчальним планом підготовки бакалаврів за спеціальностями 014 Середня освіта (біологія) та 091 Біологія, а також при підготовці магістрів та докторів філософії за спеціальністю 091 Біологія.

Результати впровадження рекомендацій Чернової І.С. було розглянуто та схвалено Вченою радою природничого факультету ХНПУ імені Г.С. Сковороди (протокол №2 від 27.09.2017).

Декан природничого факультету,
доктор біологічних наук

Т.Ю. Маркіна

ЗАТВЕРДЖУЮ
Ректор ХНПУ імені Г.С. Сковороди
акад. Прокопенко І.Ф.

«06 листопада» 2019



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

науково-практичних рекомендацій з інформаційного та алгоритмічного забезпечення інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів, розроблених старшим науковим співробітником Інженерно-технологічного інституту «Біотехніка» НААН України Черновою І.С.

Цим актом підтверджується, що створені в Інженерно-технологічному інституті «Біотехніка» НААН України за завданням 10.00.01.09П на 2019 р. «Розробка інформаційного та алгоритмічного забезпечення інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів» науково-практичні рекомендації впроваджені у навчальний процес на природничому факультеті Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди та використовуються в таких дисциплінах як «Основи наукових досліджень», «Загальна екологія», «Зоологія безхребетних», що передбачені навчальним планом підготовки бакалаврів за спеціальностями 014 Середня освіта (біологія) та 091 Біологія, а також при підготовці магістрів та докторів філософії за спеціальністю 091 Біологія.

Результати впровадження рекомендацій Чернової І.С. було розглянуто та схвалено Вченою радою природничого факультету ХНПУ імені Г.С. Сковороди (протокол № 2 від 25 вересня 2019 р.).

Декан природничого факультету,
доктор біологічних наук, проф.
Секретар,
кандидат педагогічних наук, доц.

Т.Ю. Маркіна

І.М. Щербак

Додаток В

ПАТЕНТИ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ



