

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

ЧЕРНОВА ІРИНА СТЕПАНІВНА



УДК 681.516.75:004.8:519.8:632.08:65.011

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ
ВИРОБНИЦТВОМ ЕНТОМОФАГІВ**

05.13.07 «Автоматизація процесів керування»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2020

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Національному університеті біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Лисенко Віталій Пилипович,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
завідувач кафедри автоматичних
та робототехнічних систем
імені академіка І. І. Мартиненка

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Балюта Сергій Миколайович,
Національний університет
харчових технологій,
завідувач кафедри електропостачання
і енергоменеджменту

доктор технічних наук, професор
Волков Віктор Едуардович,
Одеський національний університет
імені І. І. Мечникова,
професор кафедри теоретичної механіки

Захист відбудеться «21» квітня 2020 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.07 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розіслано «19» березня 2020 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



А. В. Петренко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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. Дисертація 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 вирішувалися 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*), котра 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 методичку оцінювання процесів ентомологічних виробництв, яку впроваджено в Товаристві з обмеженою відповідальністю «Науково-виробничий центр» Агробіотехнологія» (м. Кам'янка Черкаської області).

Особистий внесок здобувача. Дисертація 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 симпозіумі «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.

Обсяг та структура дисертації. Дисертацію викладено на 186 сторінках. Робота складається з анотацій, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Дисертація містить 31 таблицю, 104 рисунки та 3 схеми. Список використаних джерел налічує 169 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано вибір теми дослідження; визначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; мету та завдання дослідження; об'єкт, предмет і методи дослідження; наукову новизну отриманих результатів та їх практичне значення; відображено дані про особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертації та кількість публікацій.

У першому розділі «**Аналіз виробництва ентомофагів**» висвітлено основні сучасні напрями досліджень щодо виробництва ентомофагів; формалізовано процеси виробництва ентомофагів; визначено основні підходи до забезпечення якості ентомологічної продукції; проведено енергетичну характеристику виробництва ентомофагів.

Сучасні напрями 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: постадійного контролю параметрів виробництва ентомофагів; обґрунтування і розрахунку об'ємів проживання комах у біотехнологічних системах виробництва ентомологічних препаратів; поліпшення якості корму; контролю якості ентомокультур; збереження мінімального рівня різноманіття і функціональної стійкості штучних популяцій; використання інформаційних хмарних технологій; зменшення собівартості ентомологічної продукції способом сполучення технологічних циклів кількох видів ентомофагів, яких підтримують на одному виду корму.

Виробництво ентомофагів гарантованої якості – це складна динамічна система (рис. 1), котра містить певну кількість підсистем, пов'язаних між собою матеріальними потоками. 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.

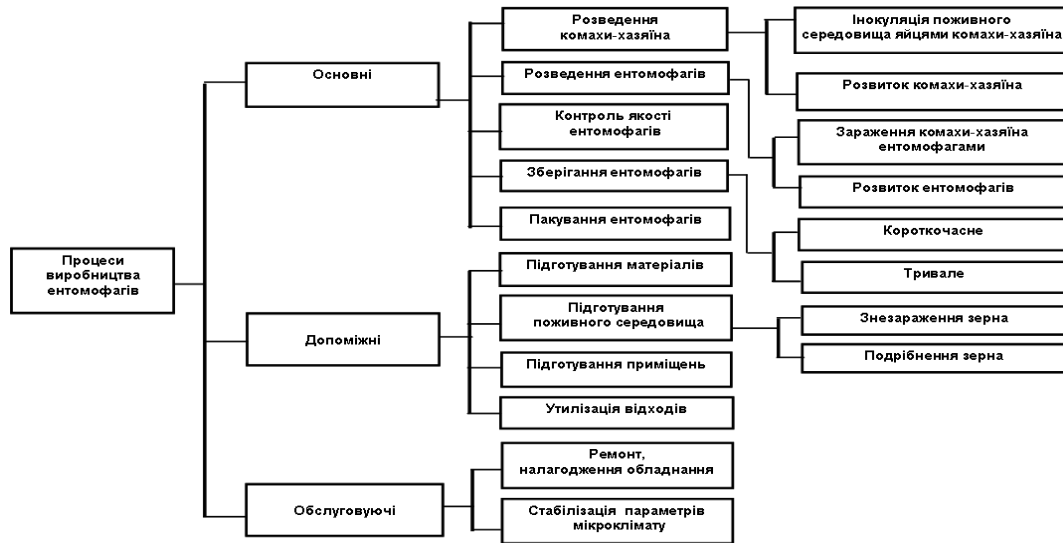


Рис. 1. Структура процесів виробництва ентомофагів

З метою проведення часової та вартісної (за витратами технологічної сировини, матеріалів, обладнання) оцінки процесів виробництва ентомофагів розроблено модель у вигляді орієнтованого графа, в основу якої покладено процесний підхід. У моделі є 14 подій, які визначають завершені етапи виробництва, та 16 процесів, що характеризуються певними ресурсами та певною тривалістю виконання.

Сьогодні одним з перспективних агентів біологічного захисту рослин є ентомофаг бракон (*Habrobracon hebetor*), якість якого в умовах техноценозу як замкненої біотехнічної системи залежить від значної сукупності факторів, безпосередньо пов'язана з технологією виробництва, оцінюється за біологічними показниками та визначається, зокрема, і якістю комахи-хазяїна (рис. 2). При цьому формалізація цих залежностей найчастіше відсутня.



Рис. 2. Структурно-параметричний комплекс оцінки якості ентомофага бракон та його хазяїна млинової вогнівки

За даними сучасних досліджень використання млинової вогнівки (*Ephestia kuehniella*) як комахи-хазяїна при розведенні ентомофага бракон є економічно доцільним і дає можливість отримувати паразита з високою пошуковою здатністю.

З метою систематизації, аналізу та визначення факторів, що забезпечують якість ентомологічної продукції, шляхом використання формальних способів системного аналізу, методу експертних оцінок (ап'юріорного ранжування) та PEST-аналізу розроблено систему забезпечення якості продукції, проведено ап'юріорне ранжування технологічних факторів. Встановлено суттєві фактори забезпечення якості продукції (умови розведення комах, якість стартової популяції та якість корму) і отримано діаграму їх значущості (рис. 3). За даними сучасних досліджень, саме температура повітря має найбільш вагомий вплив на розвиток комах, які є пойкилотермними організмами. Тому підтримання її оптимального значення в зоні розвитку комах є однією з важливих складових при розробленні технічних систем керування якістю ентомологічної продукції.

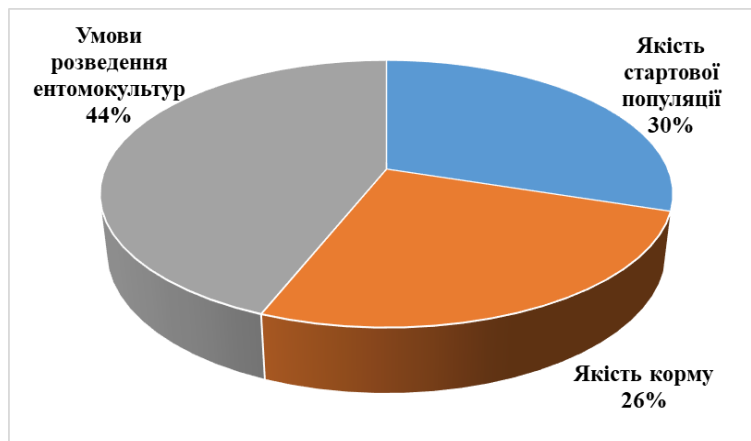


Рис. 3. Діаграма значущості суттєвих технологічних факторів забезпечення якості ентомологічної продукції

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; 4 – підвищена щільність популяції; 5 – невідповідна якість корму (поживного середовища); 6 – порушення технологічного циклу та збурення (припинення електропостачання, часткова втрата працездатності обладнання). Отримано діаграму значущості факторів, що призводять до отримання некондиційної ентомологічної продукції (рис. 4).

Проведено енергетичну характеристику виробництва ентомофага бракон. Експериментально встановлено, що для підтримки температури 26 °С шляхом використання традиційної системи автоматичного керування на основі позиційного алгоритму, у боксі об'ємом 10 м³ при вирощуванні гусениць млинової вогнівки старшого віку з урахуванням природних збурень, витрачається до 12 кВт·год/добу.

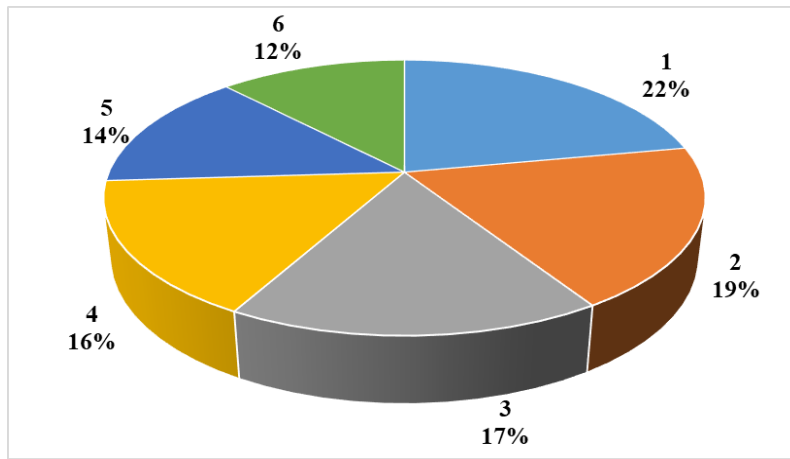


Рис. 4. Діаграма значущості факторів, що призводять до отримання некондиційної ентомологічної продукції

З метою мінімізації сумарних енергетичних витрат реалізація керуючих впливів на виконавчі пристрої повинна враховувати дії збурень та стан біологічної складової.

У другому розділі «Дослідження виробництва ентомофагів як об'єкта автоматизації» виконано параметричну характеристику виробництва ентомофагів, визначено динамічні властивості боксу з комахами, розроблено автоматизовану SCADA підсистему керування виробництвом ентомологічної продукції та проведено експериментальні дослідження процесів лабораторного виробництва млинової вогнівки, комахи-хазяїна ентомофага бракон.

Для представлення техноценозу як середовища для розвитку ентомокультур з одного боку та замкненої біотехнічної системи з другого розроблено описову модель техноценозу (рис. 5), де вхідними параметрами X є: кількість сировини x_1 , матеріалів x_2 , площа для розташування обладнання x_3 , електроенергія x_4 ; параметри призначення Y : пошукова активність y_1 ; маса гусениць y_2 ; відсоток паразитування яєць хазяїна y_3 ; відродження імаго y_4 ; статевий індекс y_5 ; плодючість самок y_6 ; кількість деформованих особин y_7 ; параметри керування U : кількість корму u_1 ; кліматичні умови u_2 ; тривалість розведення потомства вихідної популяції u_3 та її густота u_4 ; некеровані параметри Z : втрата працездатності обладнання z_1 ; його зношуваність z_2 ; зміна напруги електромережі z_3 ; температура зовнішнього середовища z_4 .

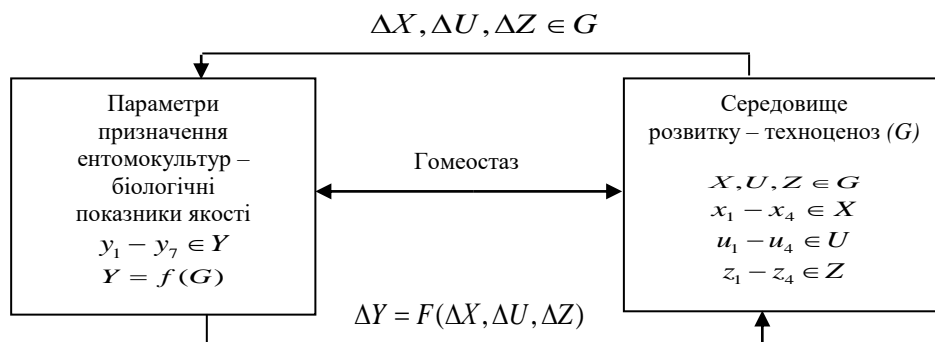


Рис. 5. Описова модель техноценозу

З метою визначення динамічних властивостей боксу з комахами як об'єкта керування, досліджено бокс для вирощування млинової вогнівки (*Ephestia kuehniella*). Формалізовано тепловий режим боксу (тепло від освітлення (люмінесцентних ламп) не враховувалося). Процес змінювання температури повітря боксу θ_{σ} від теплоти нагрівника Q_n потужністю 1000 Вт представлено передатною функцією (експериментально отриманою та розрахунковою) у вигляді аперіодичної ланки першого порядку та ланки чистого запізнення:

$$W(p)^{експ} = \frac{\theta_{\sigma}(p)}{Q_n(p)} = \frac{0,0064}{775p+1} \cdot e^{-180p}, \quad (1)$$

$$W(p)^{розн} = \frac{\theta_{\sigma}(p)}{Q_n(p)} = \frac{0,006}{625p+1} \cdot e^{-180p}, \quad (2)$$

$$\theta_{\sigma}(t)^{розн} = 20,6 + 6 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-180}{625}}\right). \quad (3)$$

Початковими умовами були температура боксу $20,6^{\circ}\text{C}$ при $t_0=0$ с. При цьому використовувався інерційний об'єкт – нагрівник масляного типу «Термолюкс». Середня помилка апроксимації становила 3,74 %, час досягнення сталого значення температури повітря боксу – близько 3000 с.

Для підвищення ефективності виробництва ентомофагів розроблено автоматизовану підсистему керування зі SCADA програмою OWEN PROCESS MANAGER (рис. 6) на базі персонального комп'ютера, вимірника-регулятора ТРМ202 ОВЕН, автоматичного перетворювача інтерфейсу USB/RS-485, датчиків температури та відносної вологості повітря та проведено її експериментальні дослідження в боксі для вирощування млинової вогнівки.

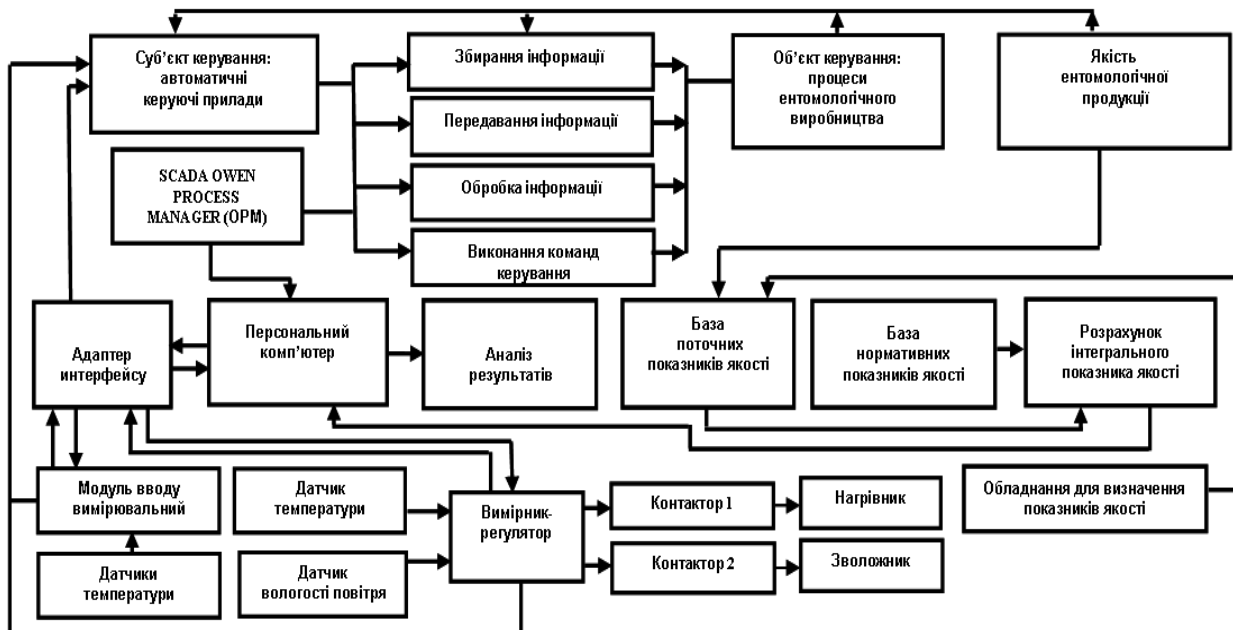


Рис. 6. Структурна схема автоматизованої підсистеми керування виробництвом ентомологічної продукції зі SCADA програмою

Температура повітря боксу у процесі функціонування підсистеми в режимі реального часу при уставці $25,5^{\circ}\text{C}$, зоні нечутливості регулятора

$\pm 0,5$ °C, температурі повітря навколишнього середовища 10 °C та зовнішнього приміщення (що межує з боксом) 19,6 °C змінювалася в діапазоні 24,9–26,4 °C із періодом коливань 720–810 с.

При цьому було використано позиційний алгоритм керування і тепловентилятор типу ST-НТ 7645К. Розроблена підсистема дозволяє в автоматичному режимі в режимі реального часу керувати температурою та відносною вологістю повітря боксу з комахами, контролювати температуру поживного середовища комахи-хазяїна; в автоматизованому – керувати кількістю та якістю продукції, витратами електроенергії. При цьому вважалося, що об'єкт характеризувався зосередженістю абіотичних параметрів.

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. 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 день коливалось від 26,2 до 29,2 °C. Так, за результатами експериментальних досліджень, у період інтенсивного розвитку гусениць (з 20 по 31 день) млинової вогнівки спостерігалось підвищення температури зерна до 36,6 °C. Якщо за різними причинами не відбулося інтенсивне зараження зерна, то технологічний процес може бути зупинений для недопущення отримання некондиційної продукції. Це дозволить не витрачати енергію на виробництво некондиційної продукції.

Результати досліджень автоматизованої підсистеми свідчать про високу коливальність температури повітря боксу (від 1,5 до 2,3 °C залежно від типу нагрівника). Для підвищення точності керування температурою повітря вирішено вдосконалити традиційну підсистему керування із двопозиційним регулятором шляхом використання сучасних технологій штучного інтелекту.

У третьому розділі **«Розроблення інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів»** проведено огляд сучасних досліджень щодо створення інтелектуальних систем керування; науково обґрунтовано розроблення інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів; виконано комп'ютерне моделювання гібридної і традиційної підсистем керування температурою повітря боксу для вирощування млинової вогнівки у виробництві ентомофага бракон; розроблено метод, а на його основі алгоритм керування для енергоефективного виробництва ентомофагів; інформаційну модель керування процесом вирощування гусениць млинової вогнівки; інформаційну модель інтелектуальної системи.

Нині дослідження щодо розроблення та створення інтелектуальних систем як в Україні, так і у світі (в тому числі за умови використання SCADA-систем) стосуються розроблення систем керування на основі експертних систем нечіткого висновку, когнітивного аналізу, гібридних інтелектуальних систем. Цьому питанню присвячено праці таких вчених, як В. П. Лисенко,

А. П. Ладанюк, Ю. П. Кондратенко, В. Г. Мироненко, О. В. Лубенцова, В. В. Ігнат'єв, А. Н. Аверкін, Г. В. Горєлова, В. Kosko, М. León та ін. Перевагами інтелектуальних систем керування, на відміну від традиційних, є можливість прийняття рішень в умовах невизначеності, зменшення енерговитрат, формалізації слабо структурованих систем.

Основними етапами побудови інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів є формалізація цілей виробництва та послідовності їх досягнення; визначення структури системи, критеріїв ефективності; розроблення гібридної інтелектуальної підсистеми керування температурою повітря боксу та інтелектуальної підсистеми підтримки прийняття рішень. Головним питанням при цьому є розроблення продукційних правил бази знань.

Структура інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів (рис. 7) є дворівневою комп'ютерно-інтегрованою.

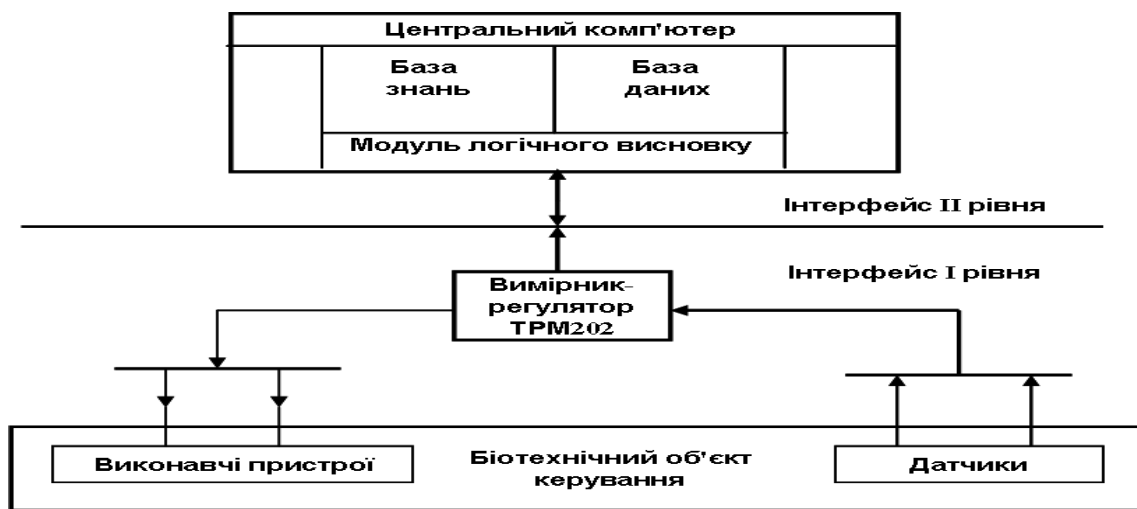


Рис. 7. Структура інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів

Нижній рівень представлено автоматизованою підсистемою керування зі SCADA програмою, яка містить інтерфейс I рівня – автоматичний перетворювач інтерфейсу USB/RS-485; верхній – інтелектуальною підсистемою підтримки прийняття рішень, що містить інтерфейс II рівня (інтерфейс користувача MATLAB), базу знань і базу даних модуля логічного висновку. На нижньому рівні 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) комахи-хазяїна; завдання виду поживного середовища комахи-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 корегуватися 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.

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 системи на нижньому рівні визначено мінімізацію помилки регулювання температурою повітря боксу за модульним інтегральним критерієм I :

$$I = \frac{1}{t_k - t_p} \int_{t_p}^{t_k} |e(t)| dt \rightarrow \min, \quad (4)$$

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

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

$$\Pi(t) = (D(t) - E(t) - V - P) \rightarrow \max, \quad (5)$$

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.

Запропоновано мінімізувати помилку регулювання температурою повітря боксу за рахунок вдосконалення традиційної підсистеми з двопозиційним регулятором шляхом створення гібридної інтелектуальної підсистеми.

Для перевірки адекватності роботи гібридної підсистеми в режимі реального часу в Simulink/MATLAB розроблено структурну модель (рис. 8) гібридної і традиційної підсистем керування температурою повітря боксу та проведено комп'ютерне моделювання.

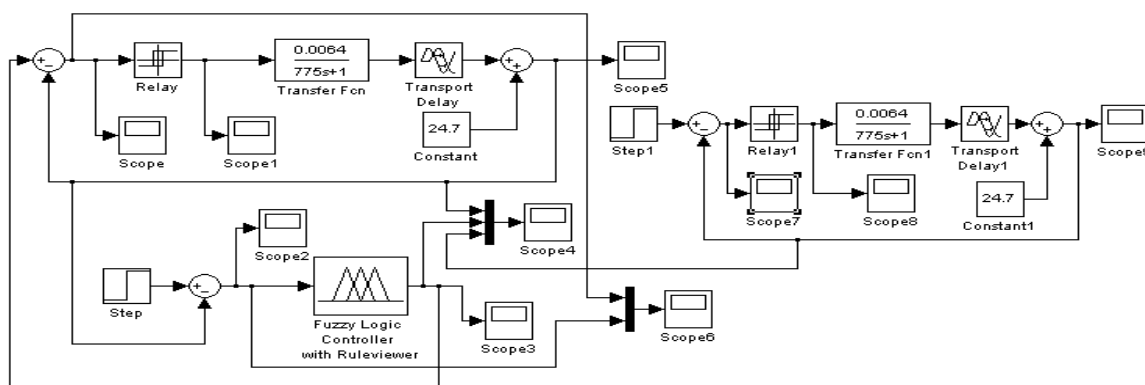


Рис. 8. Структурна модель гібридної і традиційної підсистем керування температурою повітря боксу

За результатами комп'ютерного моделювання амплітуда коливань відносно уставки 25,5 °С при регулюванні традиційною підсистемою становить 2,1 °С, гібридною – 1,6 °С. Різниця амплітуд становить 0,5 °С.

Процес формування продукційних правил бази знань інтелектуальної системи відбувається на основі зв'язку: показників якості ентомологічної продукції з абіотичними і технологічними параметрами виробництва; прибутку з параметрами виробництва, загальними витратами поживного середовища та витратами на його інокуляцію, витратами електроенергії, кількістю та якістю продукції; помилки регулювання температурою повітря боксу та уставки регулятора.

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. Так, прибуток $\Pi(t)$ виробництва гусениць млинової вогнівки для напрацьовування ентомофага бракон визначається низкою параметрів:

$$\Pi(t) = \langle \theta, \varphi, V, P, \theta_1, D(t), E(t) \rangle, \quad (6)$$

$$D(t) = k(t) \cdot Я(t) \cdot N \cdot w_k, \quad (7)$$

$$E(t) = e \cdot w_e, \quad (8)$$

$$V = n \cdot N \cdot w_n, \quad (9)$$

$$P = \rho \cdot N \cdot w_\rho, \quad (10)$$

де θ_1 – температура навколишнього середовища, °С; $D(t)$ – дохід від реалізації ентомопродукції, грн; N – кількість кювет, шт.; w_k – вартість 1 кг гусениць, грн; e – витрати електроенергії, кВт·год; w_e – вартість 1 кВт·год, грн; n – кількість поживного середовища, кг/кювету; w_n – вартість 1 кг зерна, грн; ρ – кількість яєць млинової вогнівки, внесених в зерно, г яєць/кювету; w_ρ – вартість 1 г яєць, грн; t – тривалість циклу вирощування гусениць, днів.

У четвертому розділі «**Реалізація інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів**» досліджено гібридну інтелектуальну підсистему керування температурою повітря боксу з комахами в режимі реального часу; практично реалізовано метод, а на його основі алгоритм енергоефективного виробництва ентомофагів; розроблено інформаційне забезпечення інтелектуальної системи; формалізовано слабо структуровані завдання у виробництві ентомофагів; визначено головні напрями використання інтелектуальних інформаційних технологій у виробництві ентомофагів.

З метою підвищення точності підтримання технологічних вимог виробництва ентомофагів досліджено гібридну підсистему керування температурою повітря боксу з комахами в режимі реального часу. Функціонування гібридної підсистеми відбувалося на основі роботи традиційної підсистеми керування температурою повітря боксу з комахами (рис. 9) та згенерованої гібридної мережі.

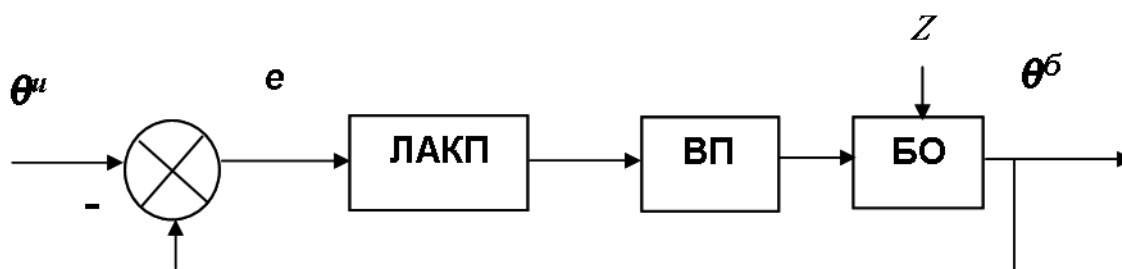
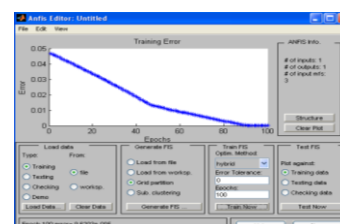
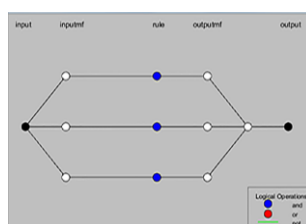
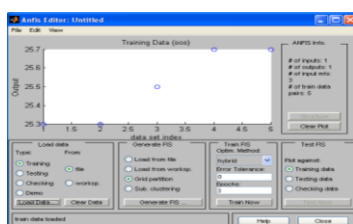


Рис. 9. Структурна схема традиційної підсистеми керування: e – помилка регулювання; Z – збурення; ЛАКП – локальний автоматичний керуючий пристрій; ВП – виконавчий пристрій; БО (біотехнічний об’єкт) – бокс з комахами та датчиком температури; e – помилка регулювання; θ^u – уставка температури; θ^{bp} – поточне значення температури повітря боксу

Основними етапами побудови гібридної підсистеми в режимі реального часу ϵ : формування за результатами досліджень традиційної підсистеми (див. рис. 9) вибірки (рис. 10, а); її завантаження в ANFIS-редактор (рис. 10, б); визначення структури гібридної мережі (рис. 10, в), її навчання (рис. 10, г); тестування; розроблення структурної моделі гібридної підсистеми (рис. 11); встановлення зв’язку OPC Toolbox, OPC-сервера OWEN.RS485 і Fuzzy Logic Toolbox MATLAB.

-0.7 25.3
-0.3 25.3
0 25.5
0.3 25.7
0.7 25.7



а)

б)

в)

г)

Рис. 10. Навчальна вибірка (а), ANFIS-редактор MATLAB (б), структура гібридної мережі (в) та результати навчання вибірки для 100 епох (г)

Для забезпечення керування температурою повітря боксу в режимі реального часу через зв’язку Simulink/MATLAB з OPC-сервером OWEN.RS485 в модель (рис. 11) додано блоки OPC Configuration, OPC Read и OPC Write.

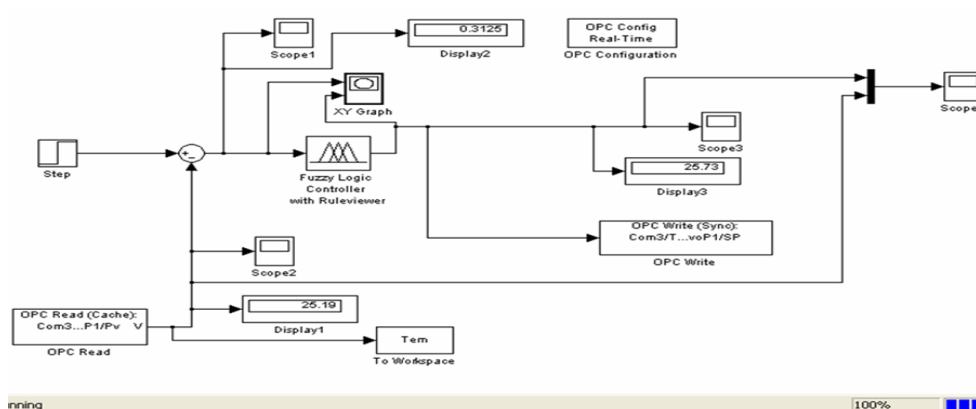


Рис. 11. Структурна модель гібридної підсистеми в режимі реального часу

За результатом функціонування гібридної підсистеми в режимі реального часу (рис. 12) при уставці $25,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, зоні нечутливості регулятора $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, за температури навколишнього середовища $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, зовнішнього приміщення $19,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ амплітуда коливань відносно уставки $25,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ становить $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при регулюванні традиційною – $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), що погоджується з результатами комп'ютерного моделювання.

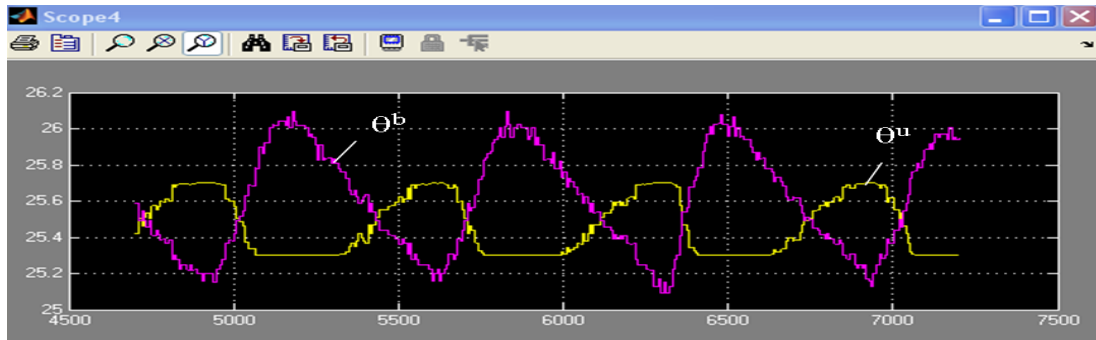


Рис. 12. Динаміка змінювання температури повітря боксу θ^b і уставки температури θ^u при роботі гібридної підсистеми в реальному часі

Отже, експериментально встановлено, що гібридна підсистема на 20 % покращує якість керування за модульним інтегральним критерієм (4) порівняно із традиційною підсистемою, зменшує амплітуду коливань температури повітря боксу відносно уставки, до 33 % скорочує витрати електроенергії в умовах збурень, підтримує оптимальні умови розвитку ентомокультур. При цьому точність керування температурою та відповідно витрати електроенергії залежать від сформованої навчальної вибірки та збурень, що діють в конкретний час.

За допомогою експертних підсистем нечіткого висновку (рис. 13) типу Мамдані на базі Fuzzy Logic Toolbox MATLAB із використанням результатів експериментальних досліджень процесів вирощування гусениць млинової вогнівки у виробництві ентомофага бракон реалізовано метод керування для енергоефективного виробництва ентомофагів.

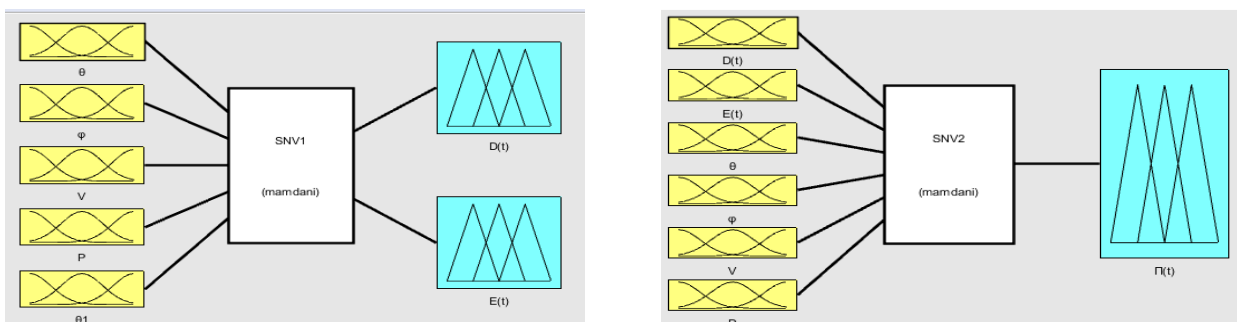


Рис. 13. Функціональні схеми експертних підсистем в MATLAB

Визначено, що при $D(t)=(2254-2924)$ грн, $E(t)=131$ грн, $\theta=26,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi=70\%$, $V=500$ грн, $P=1020$ грн за цикл вирощування $t=30$ діб прибуток $\Pi(t)$ буде максимальним – 1440 грн – за умови мінімізації енерговитрат; при цьому середня похибка апроксимації становила 6,62 % (в межі допустимих значень).

Для підвищення ефективності виробництва, визначення якості ентомокультур в умовах неповної вхідної інформації розроблено інформаційне забезпечення, яке реалізовано базою даних показників якості ентомокультур, параметрів техноценозу (Microsoft Office Access) та інтелектуальною підсистемою 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 за допомогою інтелектуальної системи.

Для спрощення наочного уявлення про структуру інформаційних потоків при визначенні стратегій керування виробництвом формалізовано слабо структуровані залежності якості виробництва ентомофага бракон від виду поживного середовища комахи-хазяїна у вигляді нечіткої когнітивної карти (рис. 14) за результатами досліджень фахівців Інженерно-технологічного інституту «Біотехніка» НААН. Вхідними концептами карти є вид поживного середовища млинової вогнівки: AX_1 – борошно пшеничне; BX_1 – борошно пшеничне (70 %) + подрібнена соя (30 %); CX_1 – подрібнений ячмінь (90 %) + борошно пшеничне (10 %); DX_1 – подрібнений ячмінь; EX_1 – подрібнена кукурудза. Вихідними – якість виробництва ентомофага бракон за X_2 – середньою виживаністю личинок бракона, %; X_3 – зараженістю гусениць млинової вогнівки паразитом, %; X_4 – середньою масою гусениць старшого віку, мг; X_5 – кількістю самок бракона, %; X_6 – середнім значенням чистої репродукції самок бракона, екз.

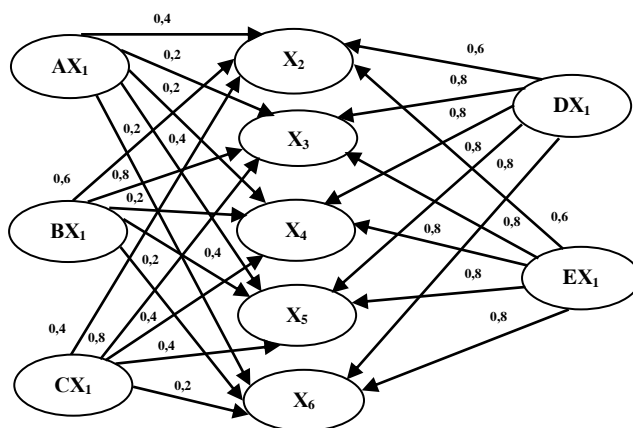


Рис. 14. Нечітка когнітивна карта

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. Аналіз карти показав, що найкращий вплив на якість виробництва ентомофага бракон мають подрібнені кукурудза та ячмінь – когнітивний консонанс є найвищим (3,8) у концептів EX_1 та DX_1 , що погоджується з результатами експериментів.

З метою формування стратегій керування якістю ентомологічної продукції в умовах неповноти інформації формалізовано визначення якості системою нечіткого висновку типу Мамдані. Так, за результатами експериментальних досліджень встановлено масу гусениць млинової вогнівки старшого віку (23,5 мг) в умовах неповної інформації щодо впливу сукупності абіотичних параметрів (температури повітря 27,4 °С, відносної вологості повітря 60 %) і технологічних параметрів (кількості внесених в поживне середовище яєць млинової вогнівки 350 мг яєць/кювету і висоти шару поживного середовища 20 мм). При цьому середня помилка апроксимації склала 2,4 % (в межі допустимих значень).

З позиції теорії керування виробництво ентомофагів може бути віднесено до біотехнічних систем ергатичного типу, що є системою «людина – машина».

Розроблено структуру дій (рис. 15) 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.

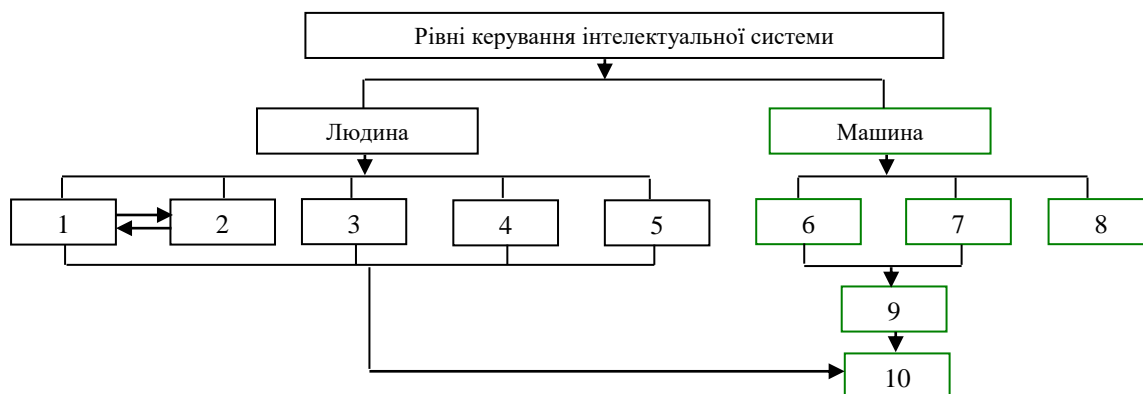


Рис. 15. Структура дій щодо керування виробництвом ентомофагів: 1 – розроблення бази знань інтелектуальної підсистеми підтримки прийняття рішень; 2 – розроблення бази даних показників якості, параметрів техноценозу; 3 – оцінка енергетичних витрат; 4 – оцінка кількості та якості ентомологічної продукції; 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

З метою отримання ентомологічної продукції гарантованої якості, доцільним є визначення стану процесів формування продукції впродовж технологічного циклу (від інокуляції зерна до отримання гусениць старшого віку). Таким чином, головними напрямками використання інтелектуальних інформаційних технологій у виробництві ентомофагів є: прийняття рішень стосовно забезпечення якості ентомокультур із врахуванням впливу сукупності факторів; автоматизація слабо структурованих завдань; формування стратегій керування виробництвом на основі інформації про показники якості ентомокультур; системне конструювання засобів автоматизації.

У п'ятому розділі «Економічна оцінка ефективності впровадження інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів» проведено розрахунок показників ефективності впровадження інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*), визначено найбільш ефективні стратегії керування при збільшенні кількості боксів для розведення млинової вогнівки (*Ephestia kuehniella*), структуровано фактори підвищення ефективності виробництва.

Для оцінки ефективності впровадження інтелектуальної системи керування в умовах лабораторного виробництва проведено розрахунок коефіцієнта рентабельності основних засобів *ROFA*, коефіцієнта економічної ефективності капітальних вкладень і терміну повної окупності системи.

Коефіцієнт рентабельності основних засобів визначається чистим прибутком та вартістю основних фондів (без врахування вартості програмного забезпечення MATLAB), коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень – річним економічним ефектом, експлуатаційними витратами на впровадження, експлуатацію та обслуговування системи. Термін повної окупності системи в умовах лабораторного виробництва ентомофагів становить 2,2 роки.

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. 16). Встановлено, що максимізація доходу та мінімізація загальних витрат електроенергії за умови максимізації якості продукції є найбільш ефективними стратегіями керування.

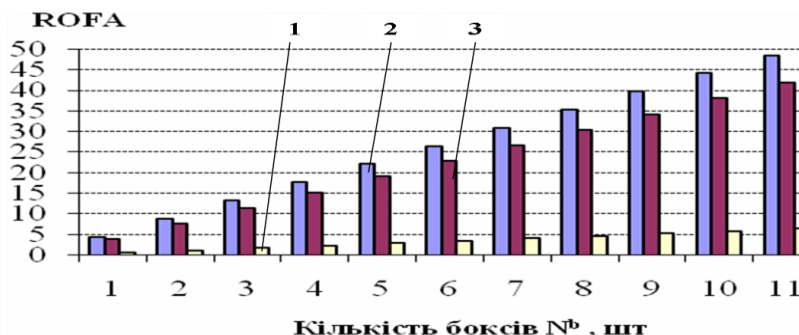


Рис. 16. Коефіцієнт рентабельності основних засобів *ROFA* залежно від кількості боксів: 1 – максимізація кількості продукції; 2 – максимізація доходу; 3 – мінімізація загальних витрат електроенергії за умови максимізації якості продукції

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

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 отримано 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 комахи-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 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. 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. 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. Биотехнологічні 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. Биотехнологічні 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. ІХ 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).*

АНОТАЦІЯ

Чернова І. С. Інтелектуальна система керування виробництвом ентомофагів. – 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.

Дисертацію присвячено вирішенню наукового завдання, яке полягає у розробленні інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів, враховуючи особливості біологічної складової процесу виробництва в умовах невизначеності.

У дисертації вперше розроблено метод керування для енергоефективного виробництва ентомофагів в умовах невизначеності, гібридну інтелектуальну підсистему керування температурою повітря боксу для вирощування комах; формалізовано слабо структуровані завдання у виробництві ентомофагів,

визначення якості ентомологічної продукції системою нечіткого висновку; досліджено інформаційні потоки виробництва ентомофагів, алгоритми їх обробки та зберігання в структурованому вигляді.

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 розроблення 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 виробництвом ентомофагів в умовах лабораторного виробництва.

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

АННОТАЦІЯ

Чернова І. С. Інтелектуальна система управління виробництвом ентомофагів. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 «Автоматизация процессов управления». Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины. Киев, 2020.

Цель диссертации – повышение эффективности производства энтомологической продукции путем создания нечеткой системы управления на основе использования интеллектуального анализа данных.

Для достижения поставленной цели необходимым было решение таких заданий: определить основные подходы к обеспечению качества энтомологической продукции; исследовать производство энтомофагов как объект автоматизации; проанализировать информационные потоки, методы и алгоритмы их обработки, необходимые для автоматизации производства энтомофагов в условиях неопределенности; разработать метод, а на его основе алгоритм управления для энергоэффективного производства энтомофагов; разработать интеллектуальную систему управления производством энтомофагов; оценить эффективность внедрения интеллектуальной системы управления производством энтомофагов.

Для выполнения работы использованы основные положения теории автоматического управления; системный анализ; нечеткая логика; когнитивный анализ; экспертное оценивание; ситуационное управление; регрессионный анализ; гомеостатический подход; экономический анализ; экспериментальные исследования, которые проводились в условиях лабораторного производства.

В результате диссертационного исследования решено важное научное задание, которое состоит в разработке интеллектуальной системы управления производством энтомофагов, учитывая особенности биологической составляющей процесса производства в условиях неопределенности.

Определены основные подходы к обеспечению качества энтомологической продукции – системный, экспертный и стратегического планирования. Установлено, что условия разведения насекомых, качество стартовой популяции и качество корма являются существенными технологическими факторами, которые обеспечивают качество энтомологической продукции. Определены факторы, которые приводят к получению некондиционной продукции, и проведена их количественная оценка.

Исследовано производство энтомофагов как объект автоматизации: разработана математическая модель процесса изменения температуры воздуха бокса с насекомыми от управляющего воздействия – теплоты нагревателя – в виде апериодического звена и звена чистого запаздывания; разработана автоматизированная подсистема управления производством энтомофагов со SCADA программой и проведены ее экспериментальные исследования. Эта подсистема позволяет в автоматическом режиме в реальном времени управлять температурой и относительной влажностью воздуха бокса с насекомыми, контролировать температуру питательной среды насекомого-хозяина; в автоматизированном – управлять количеством и качеством энтомологической продукции, затратами электроэнергии на обеспечение необходимых абиотических параметров.

В диссертации впервые: разработаны метод управления для энергоэффективного производства энтомофагов в условиях неопределенности, который объединяет оценку: абиотических параметров постадийного развития энтомокультур; энергетических затрат, связанных с обеспечением необходимых абиотических параметров в условиях возмущения; дохода, который зависит от количества и качества энтомологической продукции; прибыли; гибридная интеллектуальная подсистема управления температурой воздуха бокса для выращивания насекомых, которая по сравнению с традиционной подсистемой управления температурой воздуха на основе позиционного алгоритма уменьшает амплитуду колебаний температуры относительно уставки, сокращает затраты электроэнергии в условиях возмущений, поддерживает оптимальные условия развития энтомокультур; формализованы слабо структурированные задания в производстве энтомофагов, определение качества энтомологической продукции; исследованы информационные потоки производства энтомофагов, алгоритмы их обработки и хранения в структурированном виде: для этого разработаны: модель производства энтомофагов в виде ориентированного графа; структурно-параметрические комплексы оценки качества энтомофагов бракон (*Habrobracon hebetor*) и трихограмма (*Trichogramma*); информационная модель управления процессом производства гусениц мельничной огневки (*Ephestia kuehniella*), насекомого-хозяина энтомофага бракон; информационная модель

интеллектуальной системы управления производством энтомофагов; структурная модель расчета дохода, общих затрат электроэнергии и прибыли производства мельничной огневки; экспертные подсистемы нечеткого вывода; гибридная сеть для формирования управляющих воздействий при производстве энтомофага бракон; алгоритм оптимизации производства энтомофагов по критерию качества на основе использования нечеткой логики и функции желательности Харрингтона; метод оптимального управления производством энтомофагов на базе иерархического дерева логического вывода и теории нечеткой логики; алгоритм управления для энергоэффективного производства энтомофагов; регрессионные модели качества энтомологической продукции; информационно-аналитическая подсистема биологических показателей качества энтомофагов и их аналогов; общий алгоритм функционирования интеллектуальной системы управления производством энтомофагов; структура действий по управлению производством энтомофагов с помощью интеллектуальной системы.

Разработана интеллектуальная система управления производством энтомофага бракон, которая в автоматическом режиме формирует управляющие воздействия на процессы развития энтомокультур, в автоматизированном – реализует стратегии управления прибылью производства. Проведена оценка эффективности внедрения интеллектуальной системы в условиях лабораторного производства энтомофагов.

Ключевые слова: интеллектуальная система управления, производство энтомофагов, продукция, качество, нечеткая логика, гибридная сеть, когнитивный анализ, эффективность, функция желательности Харрингтона.

ANNOTATION

Chernova I. S. Intelligent Control System for the Production of Entomophages. – 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 dissertation is devoted to the solution of the scientific task, which consists in the development of the intelligent system for managing the production of entomophages, taking into account the peculiarities of the biological component of the production process under conditions of uncertainty.

In the dissertation for the first time: developed a control method has been for energy efficient entomophage cultivation under uncertainty; a hybrid intelligent control subsystem for temperature of air box for cultivation insects; formalized loosely structured tasks in entomophage production, determination of quality of entomological products by fuzzy inference system; investigated information flows of entomophagy production, algorithms for their processing and storage in a structured form are.

An intelligent control system for the production of entomophage *Habrobracon hebetor* is developed, which automatically generates control actions on the

development 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). System construction tools were SCADA OWEN PROCESS MANAGER, Simulink/MATLAB, ANFIS-Editor, OPC Toolbox MATLAB, OPC-Server OWEN.RS485 and Fuzzy Logic Toolbox MATLAB. The efficiency of implementation of the intelligent entomophage production control system has been evaluated in the conditions of laboratory production.

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