

УДК 004.8: 632.08: 65.011

Інтелектуальний аналіз у керуванні виробництвом ентомофагів

Лисенко В. П.,

д.т.н., проф., Національний університет біоресурсів і природокористування України

Чернова І. С.,

с.н.с., Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН

Анотація

Мета. Підвищення ефективності виробництва ентомофагів завдяки оптимізації управління технологічними процесами з використанням інтелектуального аналізу.

Методи. Для розроблення інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів використано методи системного та економіко-математичного аналізу, нечіткого висновку, експериментальні дослідження в умовах лабораторного виробництва.

Результати. Розроблено інтелектуальну комп'ютерно-інтегровану систему керування лабораторним виробництвом ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*); нижній рівень представлено автоматичною підсистемою керування абіотичними параметрами виробництва ентомологічної продукції зі *SCADA* програмою, верхній – інтелектуальною підсистемою прийняття рішень. Визначено критерії ефективності системи.

Проведено розрахунок показників ефективності впровадження інтелектуальної системи за коефіцієнтом рентабельності основних засобів (*ROFA*), коефіцієнтом економічної ефективності капітальних вкладень і терміном повної окупності системи.

Висновки. Розроблено інтелектуальну систему керування виробництвом ентомофагів, 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 (зміна температури навколишнього середовища). Термін повної окупності системи становить 2,2 року.

Ключові слова: інтелектуальний аналіз, система керування, виробництво ентомофагів, прибуток, ефективність, енерговитрати

UDC 004.8: 632.08: 65.011

Intellectual analysis in the management of the production entomophages

Lysenko V. P.,

doc. tech. Sciences, Prof., National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Chernova I. S.

Senior Researcher, Engineering and Technological Institute "Biotechnica" National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Annotation

Purpose. Improving the efficiency of entomophage production by optimizing the management technological processes using intellectual analysis.

Methods. To develop an intellectual system for managing the production of entomophages, the methods of systemic, economic and mathematical analysis, fuzzy inference, experimental studies in laboratory production have been used.

Results. An intellectual computer-integrated control system for the laboratory production of entomophage *Habrobracon hebetor* is developed; the lower level is represented by the automatic subsystem of control of the abiotic parameters of the

production of entomological products with the *SCADA* program, the upper – an intellectual subsystem of decision-making. The criteria of system efficiency are determined. The calculation of indicators of the effectiveness of the implementation of an intelligent system based 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.

Conclusions. An intellectual control system for the production of entomophages 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). The full payback period of the system is 2.2 years.

Keywords: intellectual analysis, control system, entomophage production, profit, efficiency, energy consumption

УДК 004.8: 632.08: 65.011

Интеллектуальный анализ в управлении производством энтомофагов

Лысенко В. Ф.,

д.т.н., проф., Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Чернова И. С.,

с.н.с., Инженерно-технологический институт «Биотехника» НААН

Аннотация

Цель. Повышение эффективности производства энтомофагов путем оптимизации управления технологическими процессами с использованием интеллектуального анализа.

Методы. Для разработки интеллектуальной системы управления производством энтомофагов использованы методы системного и экономико-математического анализа, нечеткого вывода, экспериментальные исследования в условиях лабораторного производства.

Результаты. Разработана интеллектуальная компьютерно-интегрированная система управления лабораторным производством энтомофага бракон (*Habrobracon hebetor*); нижний уровень представлен автоматической подсистемой управления абиотическими параметрами производства энтомологической продукции со SCADA программой, верхний – интеллектуальной подсистемой принятия решений. Определены критерии эффективности системы. Выполнен расчет показателей эффективности внедрения интеллектуальной системы по коэффициенту рентабельности основных средств (ROFA), коэффициенту экономической эффективности капитальных вложений и срока полной окупаемости системы.

Выводы. Разработана интеллектуальная система управления производством энтомофагов, которая в автоматическом режиме формирует управляющие воздействия на процессы развития энтомокультур, в автоматизированном – реализует стратегии управления прибылью производства, минимизируя энергозатраты в условиях неопределенности за счет действия природных возмущений (изменение температуры окружающей среды). Срок полной окупаемости системы составляет 2,2 года.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ, система управления, производство энтомофагов, прибыль, эффективность, энергозатраты

Тегановка проблеми. На сьогодні біологічний метод захисту рослин є одним із

пріоритетних напрямів розвитку землеробства в Україні. З позиції системного підходу виробництво ентомофагів являє собою динамічну систему з керуванням, що складається з підсистем розведення комах-хазяїна, комах-хижака (паразита) і зберігання комах-хижака (паразита). Водночас важливим чинником ефективності розвитку та управління аграрним виробництвом стають інформаційні ресурси [1]. З точки зору задач управління властивостями виробництва є: наявність значної кількості підсистем, зв'язаних між собою складними структурними та функціональними відносинами; дія збурень, втрата працездатності обладнання, старіння обладнання тощо; невизначеність біологічного об'єкту, яка проявляється в його різній поведінці за дією сукупності факторів впливу; присутність слабоструктурованих процесів.

Комплексне вирішення цього завдання ґрунтується на застосуванні комп'ютерно-інтегрованих інформаційних технологій із використанням інтелектуального аналізу даних, зокрема нечіткої логіки [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження щодо використання інтелектуального аналізу в агропромисловому комплексі як в Україні, так і за її межами стосуються розробки інтелектуальних систем автоматичного управління на основі нечітких експертних систем [3, 4, 5]. У виробництві ентомофагів провідними напрямками використання інтелектуальних інформаційних технологій є прийняття рішень для забезпечення якості ентомокультур; автоматизація слабоструктурованих завдань; формування стратегій керування виробництвом [6].

Мета досліджень. Підвищення ефективності виробництва ентомофагів завдяки оптимізації управління технологічними процесами з використанням інтелектуального аналізу.

Методи досліджень. Для розроблення інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів використано методи системного та економіко-математичного

аналізу, нечіткого висновку, експериментальні дослідження в умовах лабораторного виробництва.

Результати досліджень. Розроблено інтелектуальну комп'ютерно-інтегровану дворівневу систему керування лабораторним виробництвом ентомофага бракон, структуру якої наведено на рисунку 1.

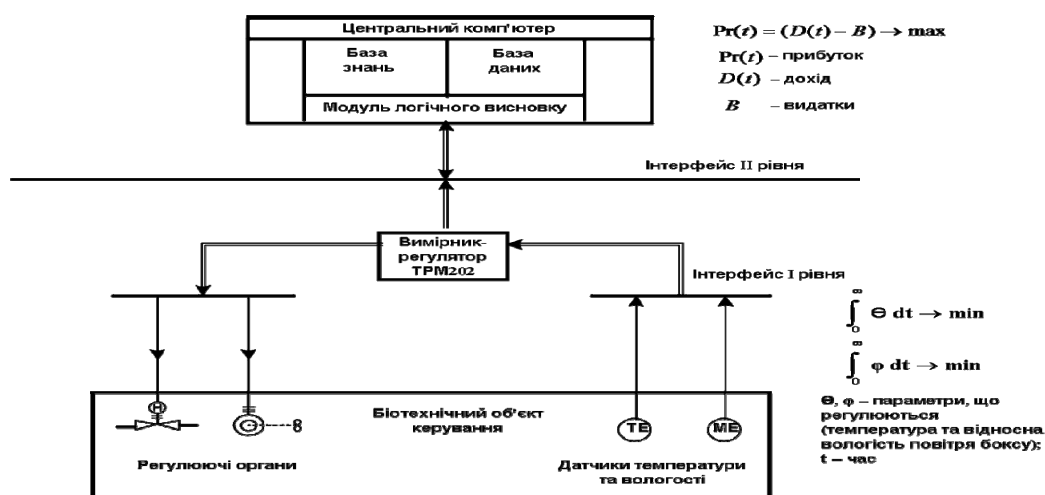


Рис. 1. Структура інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів
 Fig. 1. Structure of the intellectual control system for the production of entomophages

Ентомофаг бракон на сьогодні є одним із кращих природних ворогів шкідників лускокрилих, а млинова вогнівка – найбільш доцільним господарем під час його вирощування, що дозволяє отримувати паразита з високою пошуковою здатністю [7]. Інтелектуальна система складається з автоматичної підсистеми керування абіотичними параметрами виробництва ентомологічної продукції зі SCADA програмою OWEN PROCESS MANAGER (OPM) v. 1.2 [8], адаптера інтерфейсу USB/RS-485 AC-4 OVEN та інтелектуальної підсистеми підтримки прийняття рішень, що містить базу знань і базу даних модуля логічного висновку. Критеріями ефективності системи на нижньому рівні є мінімізація підінтегральної площі параметрів, що регулюються (температури та відносної вологості повітря боксу для розведення комах), і максимізація прибутку виробництва за умови мінімізації енергетичних витрат на верхньому рівні [9].

Так, прибуток $Pr(t)$ виробництва гусениць млинової вогнівки для напрацювання ентомофага бракон визначається низкою параметрів та формалізований у вигляді кортежу [9]:

$$Pr(t) = \langle \theta, \phi, V, P, \theta l, D(t), E(t) \rangle, \quad (1)$$

$$Pr(t) = D(t) - E(t) - V - P, \quad (2)$$

$$D(t) = k(t) \cdot Q(t) \cdot N \cdot w_k, \quad (3)$$

$$E(t) = e \cdot w_e, \quad (4)$$

$$V = n \cdot N \cdot w_n, \quad (5)$$

$$P = \rho \cdot N \cdot w_p, \quad (6)$$

де t – тривалість циклу вирощування гусениць, діб;

θ – температура боксу для розведення комах, °C;

ϕ – відносна вологість боксу, %;

V – загальні витрати поживного середовища (меленого зерна ячменю), грн;

P – загальні витрати на інокуляцію зерна яйцями млинової вогнівки, грн;

θl – температура навколишнього середовища, °C;

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

$E(t)$ – загальні витрати електроенергії на забезпечення заданих температури та відносної вологості повітря боксу, грн;

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

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

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 у зерно, г/кювету;
 w_p – вартість 1 г яєць, грн.

Практичну реалізацію критерію ефективності системи виконано за допомогою експертних систем нечіткого висновку типу Мамдані на базі пакету розширення Fuzzy Logic Toolbox for Matlab. Так, за нечітким висновком встановлено, що при $D(t) = (2254 - 2924)$ грн., $E(t) = 131$ грн., $\theta = 26,8$ °C, $\varphi = 70\%$, $V = 500$ грн, $t = 30$ діб, $P = 1020$ грн прибуток $Pr(t)$ буде максимальним – 1440 грн – за умови мінімізації енерговитрат; при цьому середня похибка апроксимації знаходиться в межах допустимих значень [9].

На рисунку 2 наведено алгоритм енергоефективного вирощування ентомофагів [9], який складається з:

- контролю абіотичних параметрів постадійного розвитку комах – температури та відносної вологості повітря боксу – за допомогою автоматичної підсистеми зі SCADA програмою;
- контролю технологічних параметрів виробництва – загальних витрат поживного середовища та витрат на його інокуляцію яйцями комахи-хазяїна;
- контролю кількості та якості ентомологічної продукції за цикл вирощування;
- розрахунку доходу, загальних витрат електроенергії та прибутку;
- перевірки ступеню досягнення критерію ефективності системи: за умови виконання відбувається виведення інформації про оптимальні параметри енергоефективного вирощування ентомофагів, за умови невиконання – зміна керуючого впливу.

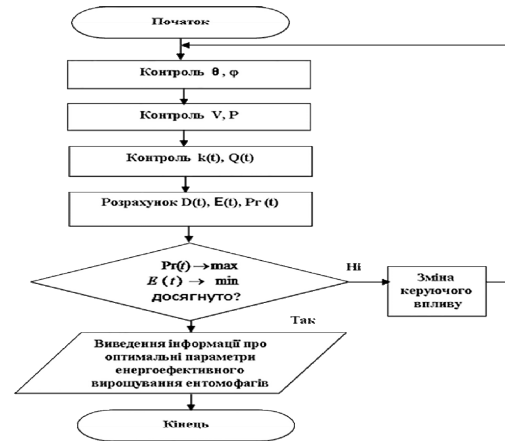


Рис. 2. Алгоритм енергоефективного вирощування ентомофагів
Fig. 2. Algorithm for energy-efficient entomophagous cultivation

Проведено розрахунок показників ефективності впровадження інтелектуальної системи за коефіцієнтом рентабельності основних засобів $ROFA$ [10], коефіцієнтом економічної ефективності капітальних вкладень e_{kb} і терміном повної окупності системи T_{ok} [11]. Водночас показниками ефективності утримання біооб'єкта є: вартість електроенергії на технологічні процеси і прибуток від реалізації алгоритму керування [10].

Ефективність впровадження системи за коефіцієнтом рентабельності основних засобів передбачає визначення ефективних стратегій керування. Коефіцієнт рентабельності основних засобів розраховується за формулою [10]:

$$ROFA = \frac{CHP}{VOF} \cdot 100\%, \quad (7)$$

де CHP – чистий прибуток, грн;
 VOF – вартість основних фондів, грн.

У таблиці наведено основні показники виробничого впровадження та стратегії керування.

Таблиця. Показники виробничого впровадження та стратегії керування [9, 10]
Table. Indicators of production implementation and management strategy [9, 10]

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

На рисунку 3 представлено результати розрахунку коефіцієнта рентабельності основних засобів *ROFA* за стратегіями керування (1, 2, 3) зі збільшенням кількості боксів N^b для розведення млинової вогнівки.

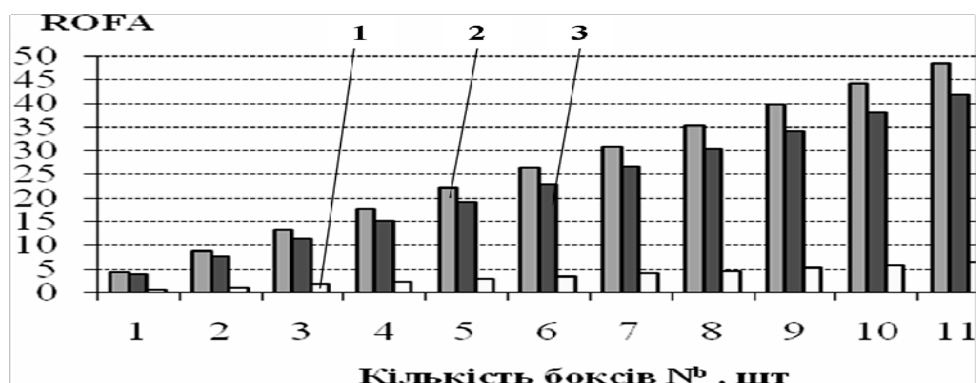


Рис. 3. Коефіцієнт рентабельності основних засобів *ROFA* залежно від кількості боксів для розведення млинової вогнівки:

1 – максимізація кількості продукції; 2 – максимізація доходу;

3 – мінімізація загальних витрат електроенергії за умови максимізації якості продукції

Fig. 3. Coefficient profitability of fixed assets *ROFA* based on the number of boxes for breeding *Ephestia kuehniella*:

1 – maximizing the quantity of products; 2 – maximizing income;

3 – minimization of total electricity consumption provided maximization of product quality

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

Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень e_{kb} на впровадження системи розраховується так [11]:

$$e_{kb} = (E_p / (K_b + E_b)) = (17520 / (32700 + 5886)) = 0,45, \quad (8)$$

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 [9]);

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 [11]).

Тоді термін повної окупності системи T_{ok} становить [11]:

$$T_{ok} = \frac{1}{e_{kb}} = \frac{1}{0,45} = 2,2 \text{ року} \quad (9)$$

Висновки. Розроблено інтелектуальну систему керування виробництвом ентомофагів, 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 (зміна температури навколишнього

середовища). Термін повної окупності системи становить 2,2 року.

Бібліографія

1. Соловійов А. І. Необхідність впровадження інфокомунікаційних технологій в аграрному виробництві. *Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Стратегія збалансованого вико-*

ристання економічного, технологічного та ресурсного потенціалу країни» (ПДАТУ, м. Кам'янець-Подільський, 4–5 червня 2015 року). Тернопіль: Крок, 2015. С. 288–290.

2. Таргоня В., Яворів В. До питання використання експертної системи багатфакторного аналізу для вибору та розроблення біотехнологічних процесів і обладнання. *Техніка і технології АПК*. 2010. № 10 (13). С. 31–34.

3. Мироненко В. Г. Передумови та особливості створення елементів штучного інтелекту в системах оперативного керування АПК. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 5. С. 47–51.

4. Дубовий В. М., Сольський О. С. Застосування нечіткої бази знань Мамдани–Заде для просторової інтерполяції щільності популяції. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2013. Vol. 6, No. 3 (66). Pp. 26–29.

5. Singh H., Sharma N. A Review of Fuzzy Based Expert System in Agriculture. *International journal of engineering sciences & research technology*. 2014. Issue 3 (7). Pp. 912–915.

6. Чернова І. С., Лисенко В. П. Використання інтелектуальних алгоритмів для керування виробництвом ентомофагів. *Міжнародна науково-практична конференція «Біологічний метод захисту рослин: досягнення і перспективи» (м. Одеса, 1–5 жовтня 2018 року): тези доповіді*. Одеса, 2018. С. 335–341.

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

8. Пат. № 106355 Україна, МПК (2016.01) А01К 67/00, G07C 3/14 (2006.01). Спосіб керування якістю ентомологічної продукції / В. М. Бельченко, І. С. Чернова; заявник та патентовласник ІТІ «Біотехніка» НААН. № u 201509944; заявл. 12.10.2015; опубл. 25.04.2016. 3 с.

9. Лисенко В. П., Чернова І. С. Інтелектуальний алгоритм керування для енергоефективного вирощування ентомофагів. *Automation of Technological and Business Processes*. 2018. No. 10 (3). Pp. 50–58. URL: <https://doi.org/10.15673/atbp.v10i3.1088>

10. Лисенко В. П. Економічний критерій вибору стратегії керування біотехнологічними об'єктами. *Біоресурси і природокористування*. 2014. Т. 6. № 3–4. С. 174–179.

11. Купін А. І. Структура прототипу та обґрунтування впровадження інтелектуальної системи керування процесом збагачення залізної руди. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2010. № 1. С. 116–120.

Bibliografii

1. Solovjov A. I. Neobhidnist vprovadzhennya infokomunikacijnih tehnologij v agrarnomu virobnictvi. *Zbirnik naukovih prac Mizhnarodnoi*

naukovo-praktichnoi internet-konferenciyi «Strategiya zbalansovanogo vikoristannya ekonomichnogo, tehnologichnogo ta resursnogo potencialu krayini» (PDAU, m. Kam'yanec-Podilskij 4–5 chervnya 2015 r.). Ternopil: Krok, 2015. S. 288–290.

2. Targonya V., Yavoriv V. Do pitannya vikoristannya ekspertnoi sistemi bagatofaktornogo analizu dlya vboru ta rozroblennya biotehnologichnih procesiv i obladnannya. *Tehnika i tehnologiyi APK*. 2010. № 10 (13). S. 31–34.

3. Mironenko V. G. Peredumovi ta osoblivosti stvorennya elementiv shtuchnogo intelektu v sistemah operativnogo keruvannya APK. *Visnik agrarnoi nauki*. 2016. № 5. S. 47–51.

4. Dubovoj V. M., Solskij O. S. Zastosuvannya nechitkoyi bazi znan Mamdani–Zade dlya prostorovoyi interpoliyaciyi shilnosti populyaciyi. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*. 2013. Vol. 6, No. 3 (66). Pp. 26–29.

5. Singh H., Sharma N. A Review of Fuzzy Based Expert System in Agriculture. *International journal of engineering sciences & research technology*. 2014. Issue 3 (7). Pp. 912–915.

6. Chernova I. S., Lisenko V. P. Vikoristannya intelektualnih algoritmiv dlya keruvannya virobnictvom entomofagiv. *Mizhnarodna naukovo–praktichna konferenci «Biologichnij metod zahistu roslin: dosyagnennya i perspektivi» (m. Odesa, 1–5 zhovtnya 2018 roku): tezi dopovidi*. Odesa, 2018. S. 335–341.

7. Molchanova O. D., Kopko I. A. Rozvedennya mlinovoyi vognivki dlya viroshuvannya ektoparazitu brakon (*Habrobracon hebetor* Say). *Agrarnij visnik Pivdnja*. 2014. № 1. S. 131–134.

8. Pat. № 106355 Ukrayina, MPK (2016.01) A01K 67/00, G07C 3/14 (2006.01). Sposib keruvannya yakistyu entomologichnoi produkciyi / V. M. Belchenko, I. S. Chernova; zayavnik ta patentovlasnik ITI «Biotehnika» NAAN. № u 201509944; zayavl. 12.10.2015; opubl. 25.04.2016. 3 s.

9. Lisenko V. P., Chernova I. S. Intelektualnij algoritm keruvannya dlya energoefektivnogo viroshuvannya entomofagiv. *Automation of Technological and Business Processes*. 2018. No. 10 (3). Pp. 50–58. URL: <https://doi.org/10.15673/atbp.v10i3.1088>

10. Lisenko V. P. Ekonomichnij kriterij vboru strategiyi keruvannya biotehnologichnimi ob'yecktami. *Bioresursi i priroдокoristuvannya*. 2014. T. 6. № 3–4. S. 174–179.

11. Kupin A. I. Struktura prototipu ta obgruntuvannya vprovadzhennya intelektualnoi sistemi keruvannya procesom zbagachennya zaliznoyi rudi. *Radioelektronika, informatika, upravlinnya*. 2010. № 1. S. 116–120.

References

1. Soloviev A. I. Necessity of introducing infocommunication technologies in agrarian

production. *A collection of scientific works of the International scientific and practical Internet conference "Strategy of balanced use of economic, technological and resource potential of the country" (Podilsky State Agrarian and Technical University, Kamyanets-Podilskyi city, June 4–5, 2015)*. Ternopil: Step, 2015. Pp. 288–290.

2. Targonya V., Yavoriv V. On the use of the expert system of multifactorial analysis for the selection and development of biotechnological processes and equipment. *Machinery and technology of agroindustrial complex*. 2010. No. 10 (13). Pp. 31–34.

3. Mironenko V. G. Prerequisites and features of creation of elements of artificial intelligence in the systems of operational management of agrarian and industrial complex. *Bulletin of Agrarian Science*. 2016. Issue 5. Pp. 47–51.

4. Dubovoy V. M., Solsky O. S. Application of a fuzzy knowledge base to Mamdani-Zade for spatial interpolation of population density. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2013. Vol. 6. Issue 3 (66). Pp. 26–29.

5. Singh H., Sharma N. A Review of Fuzzy Based Expert System in Agriculture. *International journal of engineering sciences & research technology*. 2014. Issue 3 (7). Pp. 912–915.

6. Chernova I. S., Lysenko V. P. The use of intelligent algorithms for controlling the production of entomophages. *International scientific and practical*

conference "Biological method of plant protection: achievements and prospects" (Odessa, October 1–5, 2018): abstracts of the report. Odessa, 2018. Pp. 335–341.

7. Molchanova O. D., Kopko I. A. Dilution of mill flame for growth of ectoparasite bracon (*Habrobracon hebetor* Say). *Agrarian Bulletin of the South*. 2014. Issue 1. Pp. 131–134.

8. Pat. No. 106355 Ukraine, IPC (2016.01) A01K 67/00, G07C 3/14 (2006.01). Method of managing the quality of entomological products / V. M. Belchenko, I. S. Chernova; applicant and patent holder ITI "Biotechnica" NAAS. No. u 201509944; stated. 12.10.2015; published April 25, 2016. 3 p.

9. Lysenko V. P., Chernova I. S. Intelligent control algorithm for energy-efficient growth of entomophages. *Automation of Technological and Business Processes*. 2018. Issue No. 10 (3). Pp. 50–58. URL: <https://doi.org/10.15673/atbp.v10i3.1088>

10. Lysenko V. P. The economic criterion for choosing a strategy for managing biotechnological objects. *Bioresources and nature management*. 2014. Vol. 6. Issue 3–4. Pp. 174–179.

11. Kupin A. I. The structure of the prototype and the justification of the introduction of the intellectual system of managing the process of enrichment of iron ore. *Radio electronics, computer science, control*. 2010. Issue 1. Pp. 116–120.