

ГІБРИДНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ВИРОБНИЦТВІ ЕНТОМОФАГІВ

І. С. Чернова, кандидат технічних наук

Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН України

E-mail: bioischernova@ukr.net

В. П. Лисенко, доктор технічних наук, професор

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: lysenko@nubip.edu.ua

Анотація. Розроблено гібридну інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень у виробництві ентомофагів, база знань котрої функціонує на основі технологічного досвіду фахівців та результатів попередніх досліджень щодо підвищення ефективності управління виробництвом.

Метою дослідження було удосконалення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у виробництві ентомофагів, використовуючи при цьому базу знань у вигляді фактів, продукційних правил, алгоритмів та моделей.

Об'єкт дослідження – процес управління виробництвом ентомофагів.

Методи дослідження – системний підхід, інтелектуальний аналіз даних, комп'ютерне моделювання.

Основною відмінністю запропонованої гібридної системи підтримки прийняття рішень у виробництві ентомофагів від існуючої системи управління є можливість поєднання знань щодо управління виробництвом на основі інформації про стан поживного середовища комахи-хазяїна; залежність якості ентомологічної продукції від виду поживного середовища; залежність показників якості продукції від параметрів виробництва; вплив факторів на ефективність виробництва; фактори, що сприяють мінімізації виробництва некондиційної продукції.

Ключові слова: *виробництво ентомофагів, гібридна система підтримки прийняття рішень, інтелектуальний аналіз*

Актуальність. Біологічна боротьба зі шкідниками фактично є альтернативою пестицидам, що може привести до поліпшення кількості та якості сільськогосподарських продуктів [1]. Як товарна продукція використовуються ентомофаги, акарифаги, фітофаги [2].

Ефективний захист довкілля багато в чому залежить від якості доступної інформації, що використовується для прийняття належного рішення [3].

Автоматизоване прогнозування та відповідні системи підтримки прийняття рішень роблять боротьбу із шкідниками більш стійкою [4]. Прийняття рішень ґрунтується на системі знань, її структурній стабільності і динамічності поповнення та використання [5].

Нині відома інтелектуальна система підтримки прийняття рішень у виробництві ентомофагів [6], яка підвищує інформативність та економічну ефективність виробництва. У роботі [7] представлено мережу Байеса для моделювання впливу факторів на ефективність виробництва ентомофагів та рівень якості продукції, яка дозволяє приймати рішення, використовуючи імовірнісний підхід.

Створення гібридних інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у виробництві ентомофагів обумовлено необхідністю інтеграції різнорідних знань стосовно забезпечення виробництва ентомологічної продукції гарантованої якості з урахуванням впливу сукупності факторів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Принциповою відмінністю проектування гібридних систем від традиційної побудови інтелектуальних обчислювальних систем є можливість синтезувати нову систему шляхом поєднання якісно різних варіантів рішень [8]. Гібридні експертні системи агрегують традиційні пакети прикладних програм та засоби обробки експертних знань [9]. Так, гібридна експертна система для моделювання рецептур морозива дозволяє у виробничих умовах з мінімальними витратами часу розраховувати оптимальні за хімічним складом рецептури морозива гарантованої якості з врахуванням наявної сировини [10]. Гібридний підхід до побудови систем для підтримки прийняття рішень у містобудуванні базується на поєднанні декількох моделей складних слабо структурованих або неструктурованих задач [8].

Мета дослідження – удосконалення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у виробництві ентомофагів, використовуючи при цьому базу знань у вигляді фактів, продукційних правил, алгоритмів та моделей.

Матеріали і методи дослідження. Об'єктом дослідження був процес управління виробництвом ентомофагів. Методи дослідження – системний підхід, інтелектуальний аналіз даних, комп'ютерне моделювання.

Із врахуванням аналізу робіт [6-8, 11-16]:

- розроблено модель процесу побудови гібридної інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для виробництва ентомофагів у вигляді предикатної семантичної мережі;

- розроблено базу фактів, продукційних правил та алгоритм оцінювання якості поживного середовища у виробництві ентомофага *Trichogramma*, вирощування якого здійснюється у яйцях зернової молі (*Sitotroga cerealella* Oliv.). Трихограму використовують для регуляції чисельності шкідливих лускокрилих (різні види совок, біланів, вогнівок, листовійок та плодожерок, п'ядунів, коконопрядів тощо) на зернових, зернобобових, технічних та овочевих культурах, багаторічних травах [13];

- означено фактори впливу на ефективність виробництва ентомофагів у вигляді орієнтованого графа та наведено матрицю інцидентності;

- означено фактори, що сприяють мінімізації виробництва некондиційної продукції, у вигляді цільової діаграми;

- проведено комп'ютерне моделювання залежності показників якості млинової вогнівки (*Ephestia kuehniella*) від параметрів виробництва у процесі вирощування ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*), який є багатоядним ектопаразитом.

Результати досліджень та їх обговорення. Розроблено предикатну семантичну мережу для формалізації процесу побудови гібридної інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень у виробництві ентомофагів (рис. 1). Послідовність розроблення системи містить розробку бази знань у вигляді фактів, продукційних правил, алгоритмів, моделей.

Р1: Дослідник використовує технологічний досвід фахівців, результати попередніх досліджень, нормативну документацію, програмне середовище, інтелектуальний аналіз даних.

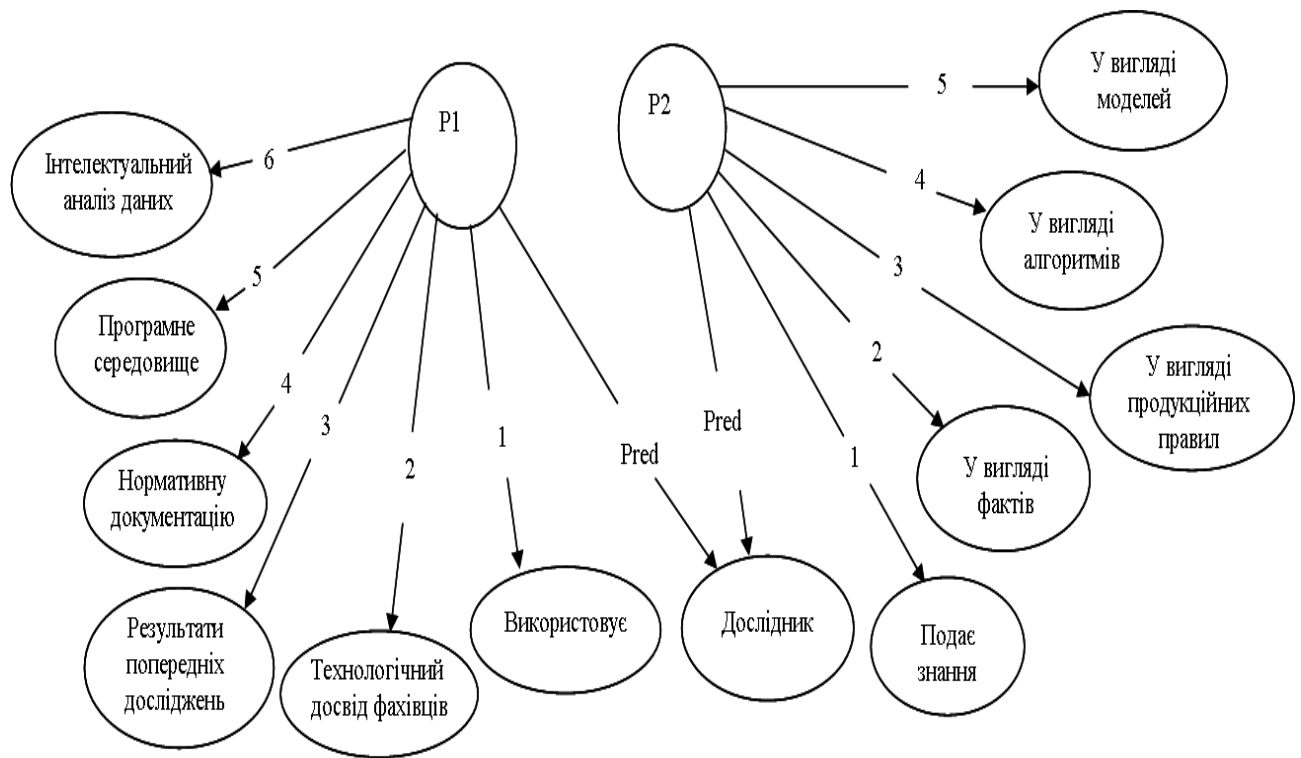


Рис. 1. Предикатна семантична мережа для формалізації процесу побудови гібридної інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень у виробництві ентомофагів

R2: Дослідник подає знання щодо процесів виробництва ентомофагів у вигляді фактів, продукційних правил, алгоритмів, моделей.

Так, факт А – вологість зерна до кондиціонування становить 12-14 %;

факт В – кількість зерен ячменю в 1 кг становить 20-22 тис. шт.;

факт С – якість зерна, що закладається у виробництво, відповідає регламентованому нормативу;

факт D – вологість зерна ячменю при його зараженні зерновою міллю становить 15-16 %;

факт Е – якість зерна при його зараженні зерновою міллю відповідає регламентованому нормативу;

факт F – розвиток гусениці є успішним;

факт К – вологість зерна ячменю при його зараженні зерновою міллю менше 15-16 %;

факт L – зерно додатково зволожують [16];

факт О – розведення зернової молі на ячмені;

факт Р – процент зараження зерна є найбільшим у порівнянні з розведенням на кукурудзі та пшениці;

факт R – розведення зернової молі на кукурудзі;

факт S – плодючість самок та розмір яєць будуть найбільшими у порівнянні з розведенням на ячмені та пшениці.

Продукційні правила представлено таким чином [12-14]:

- якщо <мають місце факти A і B>, то <має місце факт C >;
- якщо <має місце факт D>, то <мають місце факти E і F >;
- якщо <має місце факт K>, то <має місце факт L >;
- якщо <має місце факт O>, то <мають місце факт P >;
- якщо <має місце факт R>, то <має місце факт S >.

У математичному вигляді продукційні правила мають вигляд [12]:

$$A \cap B \rightarrow C, \quad (1)$$

$$D \rightarrow E \cap F, \quad (2)$$

$$K \rightarrow L, \quad (3)$$

$$O \rightarrow P, \quad (4)$$

$$R \rightarrow S. \quad (5)$$

Алгоритм оцінювання якості поживного середовища зернової молі, комахи-хазяїна ентомофага трихограма, наведено на рис. 2.

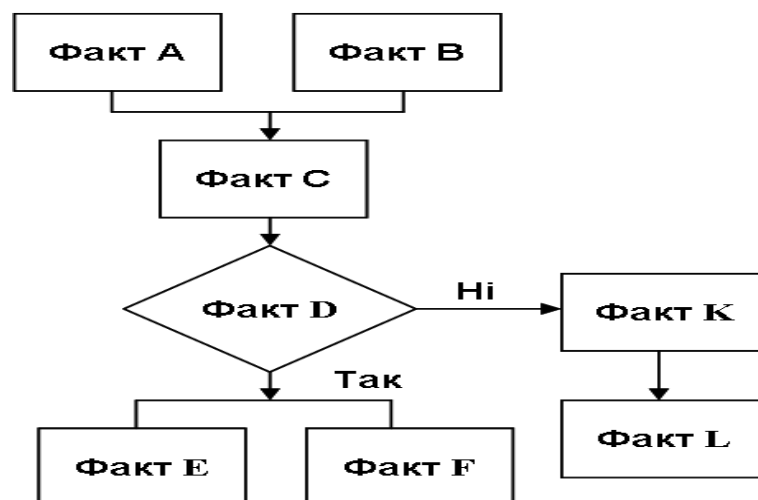


Рис. 2. Алгоритм оцінювання якості поживного середовища у виробництві ентомофага *Trichogramma*

Означено фактори впливу на ефективність виробництва ентомофагів у вигляді орієнтованого графа (рис. 3): 1 – якість ентомологічної продукції; 2 – абіотичні параметри виробництва (температура та відносна вологість повітря боксу, температура поживного середовища); 3 – технологічні параметри виробництва (вид поживного середовища, висота його шару та кількість інокульованих у нього яєць комахи-хазяїна, підживлення); 4 – якість поживного середовища; 5 – збурення; 6 – рівень автоматизації виробництва; 7 – рівень технологічної інтенсивності; 8 – рівень технологічної керованості; 9 – дохід виробництва; 10 – ефективність виробництва). На рис. 4 наведено матрицю інцидентності орієнтованого графа.

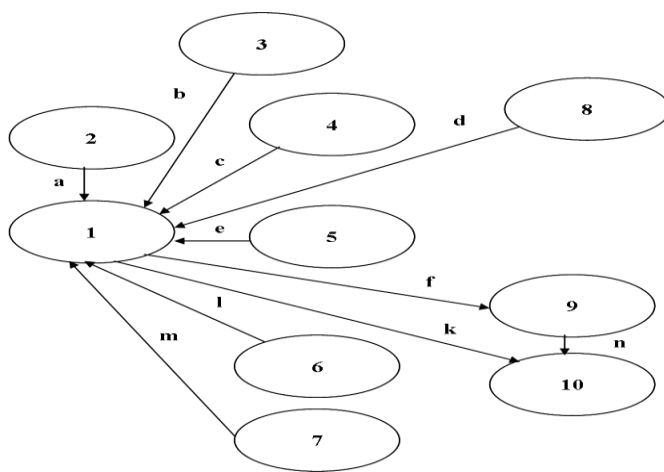


Рис. 3. Орієнтований граф впливу факторів на ефективність виробництва ентомофагів

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	0				
2	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
3	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0				
4	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0				
5	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0				
6	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0				
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1				
8	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0				
9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-1			
10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1			

Рис. 4. Матриця інцидентності графа на рис. 3

Означено фактори, що сприяють мінімізації виробництва некондиційної продукції (рис. 5).



Рис. 5. Цільова діаграма факторів у виробництві ентомофагів

Автоматизація процесів керування абіотичними параметрами постадійного розвитку комах дозволяє скоротити час обробки інформації, підвищити енергоефективність виробництва та якість продукції [15]. Оцінка інтенсивності процесів розвитку комах проводиться за температурою поживного середовища [15]. Оцінка тісноти зв'язку між показниками якості продукції і параметрами виробництва проводиться на основі розрахунку коефіцієнтів кореляції та шкали Чеддока [6].

Із використанням програмного середовища Scilab за результатами експериментальних досліджень [15] проведено комп'ютерне моделювання розрахунку показників якості млинової вогнівки у виробництві ентомофага бракон (рис. 6).

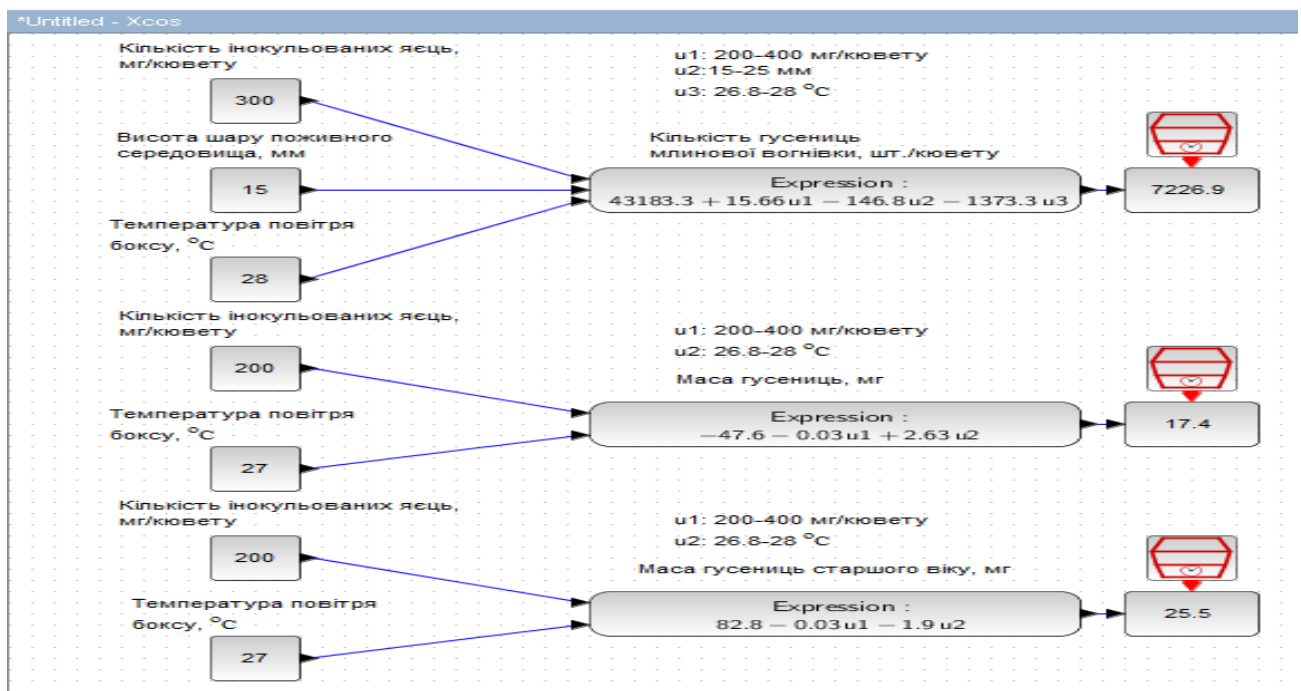


Рис. 6. Комп'ютерне моделювання розрахунку показників якості ентомокультур

Висновки. Розроблено гібридну інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень у виробництві ентомофагів, що поєднує обчислювальні можливості традиційних інтелектуальних систем – синергетичний ефект від використання різнорідних знань щодо управління біотехнічним процесом; структурування інформації та збереження бази знань в електронному вигляді із застосуванням сучасних програмних засобів (MS-Excel, PowerPoint, Scilab). Зазначене дозволить

підвищити ефективність управління виробництвом за рахунок скорочення часу отримання інформації про стан поживного середовища комахи-хазяїна, залежність показників якості продукції від параметрів виробництва, вплив факторів на ефективність виробництва; фактори, що сприяють мінімізації виробництва некондиційної продукції.

Такий підхід щодо розроблення систем управління біотехнічним процесом знайде застосування для виробництва широкого кола ентомологічних засобів захисту рослин, що пояснюється наповненням бази знань за результатами експериментальних досліджень та на основі урахування нормативної документації й досвіду фахівців-біотехнологів.

Список використаних джерел

1. Petrov S. The entomophages of the family Scelionidae (Hymenoptera) biological pest control and quality of the agricultural food production. Agricultural University Plovdiv. Scientific Works. 2008. V. LIII. P. 227-230.
2. Беспалов І.М., Барабаш А.Д., Шейкін Б.М. Технологічне устаткування для реалізації циклів ентомологічних виробництв. Вісник аграрної науки Південного регіону. 2007. № 8. С. 151–153.
3. Cortés U., Sánchez-Marrè M., Ceccaroni L. et al. Artificial Intelligence and Environmental Decision Support Systems. Applied Intelligence. 2000. V. 13. P. 77–91. <https://doi.org/10.1023/A:1008331413864>
4. Damos P. Modular structure of web-based decision support systems for integrated pest management. A review. Agron. Sustain. Dev. 2015. V. 35. P. 1347–1372. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0319-9>
5. Сікора Л., Ткачук Р., Антоник М. та ін. Інформаційні концепції розробки логіко-когнітивних моделей інтелектуальної діяльності в умовах ризику. Моделювання та інформаційні технології. 2014. № 72. С. 63-73.
6. Lysenko V., Chernova I. Intelligent Decision Support System in Entomophages Production. 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunication Science and Technology PICS&T'2020. Kharkiv, Ukraine. October 6–9. 2020. P. 225-228. <https://doi.org/10.1109 / PICST51311.2020.9467999>
7. Lysenko V., Chernova I. On the Issue on the Development of Intelligent Decision Support Systems in the Production of Entomophages. 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology PICS&T'2021. October 5–7. P. 229-232. <https://doi.org/10.1109/PICST54195.2021.9772234>
8. Гайна Г. А. Гібридна система для підтримки прийняття рішень в управлінні складними системами. International Scientific and Practical Conference World science. 2018. № 3 (31). V. 7. March. P. 4-9.
9. Кацадзе Т. Л. Експертні системи прийняття рішень в енергетиці: навч. посіб. К.: ЛОГОС, 2014. 173 с.

10. Бреус Н. М., Грибков С. В. Гібридна експертна система для моделювання рецептур морозива. Матеріали IV Міжнародної науково-технічної Internet-конференції. К: НУХТ, 2017. С. 243-244.
11. Верес О. М., Микіч Х. І. Концептуальна модель інтелектуальної інформаційної системи малого підприємства. Вісник Національного університету Львівська політехніка. Інформаційні системи та мережі. 2014. № 783. С. 30-38.
12. Інтелектуальні системи управління: Експертні системи - основи проектування та застосування в системах автоматизації [Електронний ресурс] : навч. посіб. / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Ярощук Л.Д. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 136 с.
13. Технологічний тимчасовий регламент на виробництво яєць зернової молі ТТР-46.00495929-001-2005 / ІТІ "Біотехніка" УААН, Одеса, 2005. 23 с.
14. Воронцова Н. Л. Сравнительная оценка зерновой моли при разведении на различном корме. Массовое разведение насекомых. Кишинев: Штиинца, 1981. С. 16.
15. Лисенко В. П., Чернова І. С. Інтелектуальне управління виробництвом ентомофагів: монографія. Одеса: Фенікс, 2021. 156 с.
16. Голуб Г. А., Кухарець С. М., Марус О. А. та ін. Механіко-технологічні основи процесів виробництва органічної продукції рослинництва: монографія. К.: НУБіП України, 2017. 431 с.

References

1. Petrov, S. (2008). The entomophages of the family Scelionidae (Hymenoptera) biological pest control and quality of the agricultural food production. Agricultural University Plovdiv. Scientific Works, LIII, 227-230.
2. Bepalov, I. M., Barabash, A. D., Sheikin, B. M. (2007). Tekhnologichne ustatkuvannya dlia realizatsii tsykliiv entomologichnykh vyrobnytstv [Technological equipment for implementation of cycles of entomological production]. Visnyk ahrarnoi nauky Pivdennoho rehionu, 8, 151–153.
3. Cortés, U., Sánchez-Marrè, M., Ceccaroni, L. et al. (2000). Artificial Intelligence and Environmental Decision Support Systems. Applied Intelligence, 13, 77–91. <https://doi.org/10.1023/A:1008331413864>
4. Damos, P. (2015). Modular structure of web-based decision support systems for integrated pest management. A review. Agron. Sustain. Dev., 35, 1347–1372 <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0319-9>
5. Sikora L., Tkachuk R., Antonyk M. та in. (2014). Informatsiini kontseptsii rozrobky lohiko-kohnityvnykh modelei intelektualnoi diialnosti v umovakh ryzyku [Informatsiini kontseptsii rozrobky lohiko-kohnityvnykh modelei intelektualnoi diialnosti v umovakh ryzyku]. Modeliuvannya ta informatsiini tekhnolohii. 72, 63-73.
6. Lysenko, V., Chernova, I. (2020). Intelligent Decision Support System in Entomophages Production. Proceedings of IEEE International Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology. Kharkiv, Ukraine, 225-228. <https://doi.org/10.1109/ICST51311.2020.9467999>
7. Lysenko, V., Chernova, I. (2021). On the Issue on the Development of Intelligent Decision Support Systems in the Production of Entomophages, IEEE 8th International

Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PICS&T'2021), 229-232. <https://doi.org/10.1109/PICST54195.2021.9772234>

8. Haina, H. A. (2018). Hibrydna systema dlia pidtrymky pryiniattia rishen v upravlinni skladnyimi systemami [A hybrid system for supporting decision-making in the management of complex systems]. International Scientific and Practical Conference World science, 3 (31), 7, 4-9.

9. Katsadze, T. L. (2014). Ekspertni systemy pryiniattia rishen v enerhetytsi: navch. posib. [Expert decision-making systems in energy: training.]. K.: LOHOS, 173.

10. Breus, N. M., Hrybkov, S. V. (2017). Hibrydna ekspertna systema dlia modeliuvannya retseptur morozyva [A hybrid expert system for modeling ice cream recipes]. Materialy IV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi Internet-konferentsii. K: NUKhT, 243-244.

11. Veres, O. M., Mykich, Kh. I. (2014). Kontseptualna model intelektualnoi informatsiinoi systemy maloho pidpriemstva [Conceptual model of intelligent information system of a small enterprise]. Visnyk Natsionalnoho universytetu Lvivska politehnika. Informatsiini systemy ta merezhi, 783, 30-38.

12. Intelektualni systemy upravlinnia: Ekspertni systemy - osnovy proektuvannya ta zastosuvannya v systemakh avtomatyzatsii [Elektronnyi resurs]: navch. posib. (2019). [Intelligent control systems: Expert systems - the basics of design and application in automation systems [Electronic resource]: education. manual] / KPI im. Ihoria Sikorskoho; uklad.: Yaroshchuk, L.D. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 136.

13. Tekhnolohichni tymchasovi rehlement na vyrobnytstvo yaiets zernovoi moli TTR-46.00495929-001-2005 [Technological temporary regulations for the production of eggs of grain moths] (2005). ITI "Biotekhnika" UAAN, Odesa, 23.

14. Voroncova, N.L. (1981). Sravnitel'naya ocenka zernovoi moli pri razvedenii na razlichnom korme. Massovoe razvedenie nasekomi [Comparative assessment of grain moths when breeding on various feeds. Mass breeding of insects]. Kishinev: Shtiinca, 16.

15. Lysenko, V. P., Chernova, I. S. (2021). Intelektualne upravlinnia vyrobnytstvom entomofahiv: monohrafiia [Intelligent management of entomophages production: monograph]. Odesa: Feniks, 156.

16. Holub H. A., Kukharets S. M., Marus O. A. ta in. (2017). Mekhaniko-tekhnologichni osnovy protsesiv vyrobnytstva orhanichnoi produktsii roslynnytstva: monohrafiia. [Mechanical and technological bases of the production processes of organic products of crop production: monograph]. K.: NUBiP Ukrainy, 431.

HYBRID DECISION SUPPORT SYSTEM IN THE PRODUCTION OF ENTOMOPHAGES

I. Chernova, V. Lysenko

Abstract. *A hybrid intelligent decision support system in the production of entomophages has been developed, the knowledge base of which operates on the basis of the technological experience of specialists and the results of previous studies related to improving the efficiency of production management.*

The purpose of the study was to improve intelligent decision support systems in the production of entomophages while using the knowledge base in the form of facts, production rules, algorithms and models.

The object of the study - the process of managing the production of entomophages.

Research methods - a systematic approach, data mining, computer modeling.

The main difference of the proposed hybrid decision support system in the production of entomophages from the existing management system is the possibility of a combination knowledge about production management based on information about the state of the nutrient medium of the insect host; dependence of the quality of entomological products on production parameters; the influence of factors on production efficiency; factors contributing to the minimization of the production of substandard products.

Key words: *entomophages production, hybrid decision support system, data mining*