

## НАУКОВІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ ІННОВАЦІЙНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ 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.** Статтю присвячено питанню вдосконалення інформаційно-технічного забезпечення виробництва ентомофагів, зокрема, науковим основам побудови інноваційної інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів.

*Мета дослідження – розробити наукові основи побудови інноваційної інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів.*

*Об'єктом дослідження є процес керування виробництвом ентомофагів.*

*Методи дослідження – структурний синтез, онтолого-синергетичний та нейромережевий підходи, аналіз ієрархій Т. Сааті, мережа Байеса, когнітивний та кореляційний аналіз, комп'ютерне моделювання.*

*Розроблено інноваційну інтелектуальну систему керування виробництвом ентомофага бракон (Habrobracon hebetor) на основі використання результатів власних досліджень, технологічного досвіду фахівців та сучасних методів інтелектуального аналізу даних. Наведено структуру системи керування. Процеси керування, програмні засоби та інновації системи керування відображено у вигляді асоціативної карти. Розроблено онтологію процесів інноваційного інтелектуального керування виробництвом ентомофага бракон. Наведено базу знань інноваційної інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофага бракон у вигляді фактів та продукційних правил.*

*Результати дослідження підвищують рівень інтелектуалізації процесів керування виробництвом ентомофагів, зменшують невизначеності у процесах керування, підвищують рівні інформатизованості та компетентності оператора-технолога та є підставою для розроблення теорії прийняття рішень у виробництві біологічних засобів захисту рослин.*

**Ключові слова:** *виробництво ентомофагів, інтелектуальна система керування, інновації, процеси керування*

**Актуальність.** Вимоги до екологізації сільськогосподарського виробництва обумовлені потребою в контролі чисельності шкідливих комах за допомогою

корисних комах – ентомофагів, яких вирощують у штучних умовах біофабрики або біолабораторії. При цьому інтелектуалізація виробництва є основною умовою формування в Україні високотехнологічного сільського господарства й досягається завдяки розвитку людського капіталу, застосуванню технологій штучного інтелекту, впровадженню новітньої техніки, ІТ-технологій тощо [1].

Проблеми використання інтелектуальних систем як основного напрямку обробки інформації в цифровій економіці є визначальним фактором розвитку сучасного економічного суспільства [2]. При цьому ефективність інтелектуальних систем керування залежить від рівня інтелектуальності використовуваних методів, а також форми, виду та глибинного подання знань [3]. Основною відмінністю інтелектуальних систем є наявність механізму системного оброблення знань [4].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Сучасні дослідження процесів управління розведенням ентомофагів стосуються:

– оптимізації технологічних параметрів масового розведення ектопаразита габробракона (*Habrobracon hebetor* Say.) [5];

– розроблення нових методів контролю якості культур комах для підвищення життєздатності та продуктивності біоматеріалу, що використовується в програмах технічної ентомології для біологічного захисту рослин [6];

– контролю просторової, генетичної та інших структур культур комах та розробка методів її оптимізації [7];

– використання інтелектуального аналізу даних до управління виробництвом ентомофагів [8-12].

Розроблення інноваційної інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів обумовлено необхідністю підвищення ефективності процесів управління складним біотехнічним виробництвом, використовуючи при цьому результати власних досліджень, технологічний досвід фахівців та сучасні методи інтелектуального аналізу даних.

**Мета дослідження** – розроблення наукових основ побудови інноваційної інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів.

**Матеріали і методи дослідження.** Об'єктом дослідження є процес керування виробництвом ентомофагів. Так, ентомофаг бракон має велике значення в регулюванні чисельності видів совок, вогнівок та інших метеликів для запобігання втрат урожаю від зазначених шкідників [13].

Методи дослідження – структурний синтез, онтолого-синергетичний та нейромережевий підходи, аналіз ієрархій Т. Сааті, мережа Байеса, когнітивний та кореляційний аналіз, комп'ютерне моделювання.

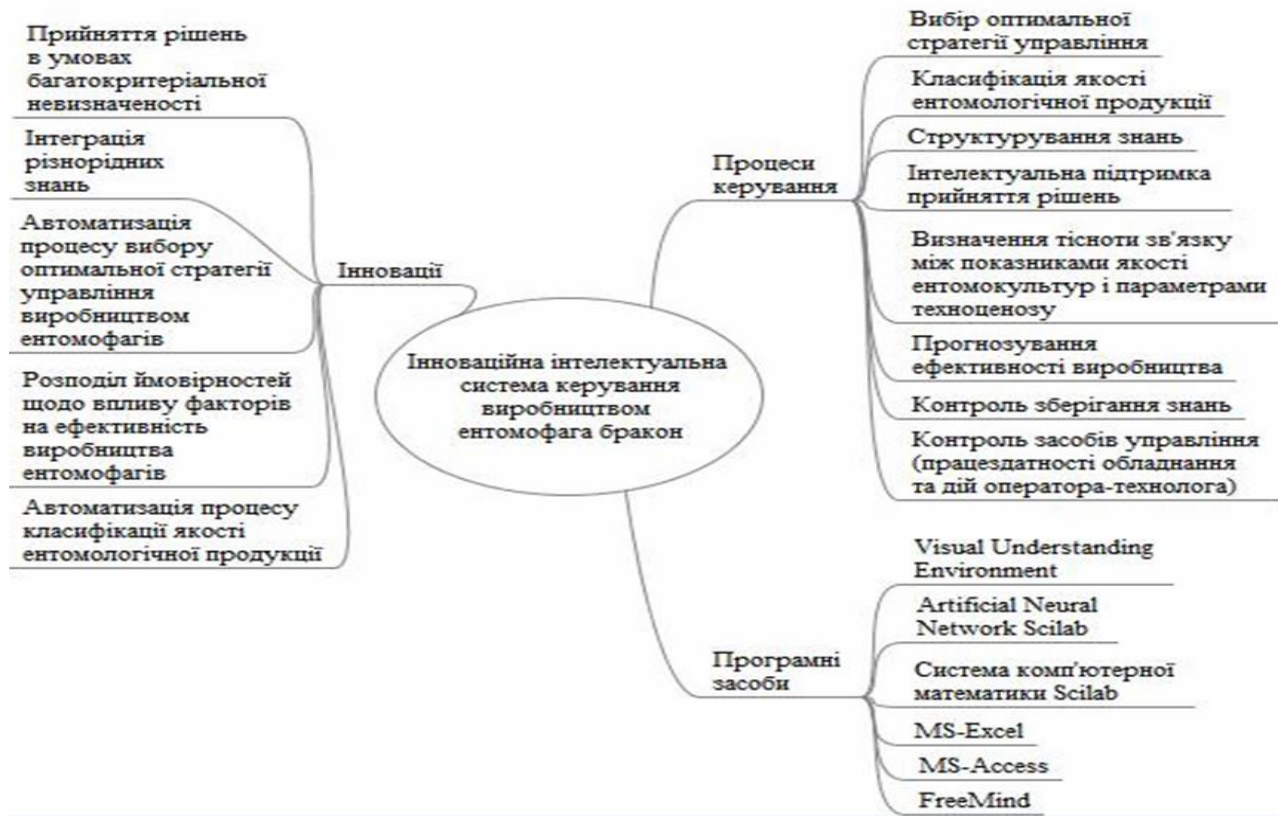
Теоретичною основою побудови інноваційної інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофагів були результати наукових досліджень, направлені на використання інтелектуальних алгоритмів обробки інформації у процесах управління цим виробництвом [8-12].

**Результати досліджень та їх обговорення.** Розроблено інноваційну інтелектуальну систему керування виробництвом ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*) (ІС) (рис. 1), структуру якої декомпозовано на чотири підсистеми, що взаємодіють між собою.



**Рис. 1. Структура інноваційної інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофага бракон**

Процеси керування, програмні засоби та інновації системи керування відображено у вигляді асоціативної карти (рис. 2).



**Рис. 2. Асоціативна карта інноваційної інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофага бракон**

К

еру

вання виробництвом ентомофага бракон передбачає застосування [8]:

– машинного навчання для класифікації якості ентомологічної продукції за допомогою нейронної мережі прямого поширення сигналу із використанням Artificial Neural Network Scilab;

– мережі Байеса у вигляді ациклічного графа як моделі представлення ймовірнісних залежностей між його вершинами [14], що дозволило отримати діаграму розподілу ймовірностей щодо впливу факторів на ефективність виробництва ентомофагів [9];

– методу аналізу ієрархій Т. Сааті для автоматизації вибору оптимальної стратегії управління виробництвом із використанням системи комп'ютерної математики Scilab;

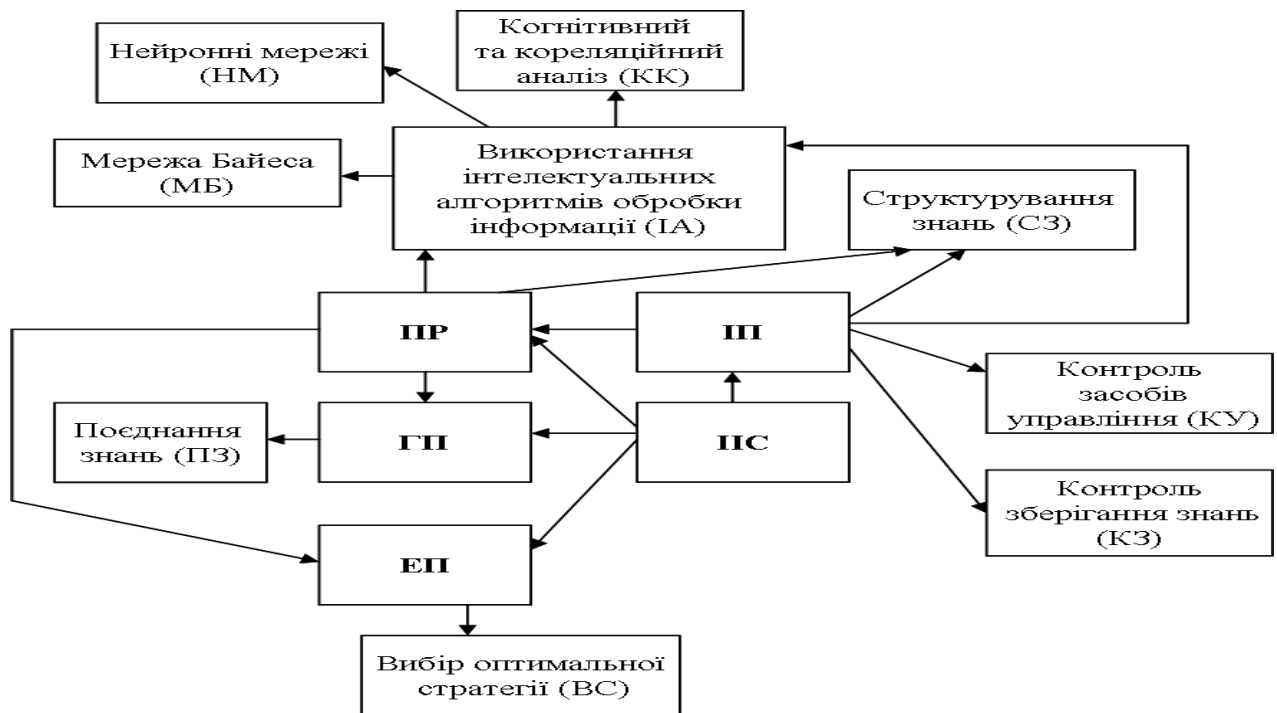
– когнітивного та кореляційного аналізу для визначення тісноти зв'язку між показниками якості ентомокультур і параметрами техноценозу [10]; сумісне

використання когнітивного та кореляційного аналізу дозволило наочно оцінити ступень впливу параметрів техноценозу на якість ентомокультур;

– кіберфізичного підходу для контролю зберігання знань, використовуючи сучасні засоби інфокомунікацій, зокрема, хмарний сервіс Google drive [11], що дозволяє підвищити рівень інфокомунікації у процесах підтримки прийняття рішень у виробництві ентомологічної продукції;

– структурованих знань у вигляді онтологій, фреймів, фактів, прецедентів, продукційних правил типу «якщо-то», алгоритмів, моделей, електронних таблиць, предикатних семантичних мереж.

Із використанням онтолого-синергетичного підходу до управління виробництвом ентомофагів [8] розроблено онтологію процесів інноваційного інтелектуального керування виробництвом ентомофага бракон (рис. 3).



**Рис. 3. Онтологія процесів інноваційного інтелектуального керування виробництвом ентомофага бракон**

Важливою особливістю онтології є незалежність її структури від засобів розробки [15]. Залежно від призначення, онтології складаються з різних компонентів: понять, властивостей тощо. [16].

Із врахуванням онтологічного підходу [15, 16] онтологію процесів інноваційного інтелектуального керування виробництвом ентомофага бракон представлено так:

$$ПС = \langle ПР, ЕП, ГП, ПП \rangle, \quad (1)$$

$$ПП = \langle ПР, ІА, СЗ, КУ, КЗ \rangle, \quad (2)$$

$$ПР = \langle ГП, ЕП, ІА, СЗ \rangle, \quad (3)$$

$$ГП = \langle ПЗ \rangle, \quad (4)$$

$$ЕП = \langle ВС \rangle, \quad (5)$$

$$ІА = \langle МБ, НМ, КК \rangle. \quad (6)$$

На рис. 4 за результатами експериментальних досліджень [12, 17] наведено базу знань інноваційної інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофага бракон у вигляді фактів та продукційних правил.

	А	В
1	Факт А	Розведення млинової вогнівки (МВ) на маленькому ячмені
2	Факт В	Розведення МВ на маленькій кукурудзі
3	Факт С	Температура повітря боксу для розведення МВ 26 °С
4	Факт D	Температура повітря боксу для розведення МВ 26.8 °С
5	Факт E	Температура повітря боксу для розведення МВ 27 °С
6	Факт F	Відносна вологість повітря боксу для розведення МВ 60 %
7	Факт G	Відносна вологість повітря боксу для розведення МВ 70 %
8	Факт H	Відносна вологість повітря боксу для розведення МВ 80 %
9	Факт I	Висота шару поживного середовища 15 мм
10	Факт J	Висота шару поживного середовища 25 мм
11	Факт K	Кількість внесених в поживне середовище яєць МВ - 150 мг/зовету
12	Факт L	Кількість внесених в поживне середовище яєць МВ - 200 мг/зовету
13	Факт M	Кількість внесених в поживне середовище яєць МВ - 400 мг/зовету
14	Факт N	Маса гусениць МВ 32 мг
15	Факт O	Маса гусениць МВ 26 мг
16	Факт P	Маса гусениць МВ 28 мг
17	Факт Q	Маса гусениць МВ 22 мг
18	Факт R	Маса гусениць МВ 29 мг
19	Факт S	Температура повітря боксу для розведення ентомофага бракон (ЕБ) 26 °С
20	Факт T	Температура повітря боксу для розведення ЕБ 28 °С
21	Факт U	Відносна вологість повітря боксу для розведення ЕБ 70 %
22	Факт V	Відносна вологість повітря боксу для розведення ЕБ 80 %
23	Факт W	Кількість самок ЕБ 51 %
24	Факт X	Кількість самок ЕБ 53 %
25	Факт Y	Кількість самок ЕБ 55 %
26	1	Якщо <мають місце факти С, F, I, K, B>, то <має місце факт N>
27	2	Якщо <мають місце факти С, F, I, L, A>, то <має місце факт O>
28	3	Якщо <мають місце факти D, G, I, L, A>, то <має місце факт P>
29	4	Якщо <мають місце факти D, G, J, M, A>, то <має місце факт Q>
30	5	Якщо <мають місце факти E, H, I, L, B>, то <має місце факт R>
31	6	Якщо <мають місце факти S, U>, то <має місце факт W>
32	7	Якщо <мають місце факти T, U>, то <має місце факт X>
33	8	Якщо <мають місце факти S, V>, то <має місце факт Y>
34	9	Якщо <мають місце факти T, V>, то <має місце факт W>

**Рис. 4.** База знань інноваційної інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофага бракон у MS-Excel у вигляді фактів та продукційних правил



**Висновки та перспективи.** Сформовані наукові основи послідовності розроблення інноваційної інтелектуальної системи керування виробництвом ентомофага бракон. Використання такої системи зменшує невизначеності у процесах управління виробництвом. Підвищення ефективності виробництва ентомофагів реалізується за рахунок: скорочення часу обробки інформації; структурування знань; підвищення рівня інформатизованості та компетентності особи, що приймає рішення; підвищення рівня автоматизації процесів керування виробництвом; прийняття рішень в умовах багатокритеріальної невизначеності. Результати досліджень є підставою розробки гібридних багаторівневих інтелектуальних систем керування у виробництві біологічних засобів захисту рослин.

### Список використаних джерел

1. Грицишин М.І., Перепелиця Н.М. Розвиток високотехнологічного агропромислового виробництва в Україні. Механіка та автоматика агропромислового виробництва. 2023. Вип. 2 (116). С. 194-201.
2. Мейтус В.Ю. Інтелектуальне керування виробничими системами. Системи керування та комп'ютери. 2021. № 4 (294). С. 19-27.  
<https://doi.org/10.15407/csc.2021.04.019>
3. Ладанюк А.П., Луцька Н.М., Смітюх Я.В. та ін. Ефективність інтелектуальних систем керування технологічними об'єктами. Частина 1. Основні положення. Харчова промисловість. 2019. № 25. С. 141-147.  
<https://doi.org/10.24263/2225-2916-2019-25-20>
4. Апостолук В., Апостолук О. Інтелектуальні системи керування: конспект лекцій. К.: НТУУ «КПІ», 2008. 88 с.
5. Статкевич О.І. Оптимізація технологічних параметрів масового розведення ектопаразита габробракона (*Habrobracon hebetor* Say.) та застосування його для захисту рослин: дис. ... докт. філос.: 202 «Захист і карантин рослин» (20 «Аграрні науки та продовольство») / НУБіП України. Київ, 2021. 207 с.
6. Маркіна Т.Ю., Ликова І.О., Голуб Є.А. Експрес-методи контролю якості культур комах-агентів біологічного захисту рослин. Вісник аграрної науки. 2024. № 1 (850). С. 48-55.
7. Бачинська Я.О., Маркіна Т.Ю., Карпенко О.В. Оптимізація культивування зернової молі (*Sitotroga cerealella* Oliv.) в програмах захисту рослин. Аграрна наука: стан та перспективи розвитку: матер. II Всеукр. наук.-практ. конф. (Одеса, 24-25 листопада 2022 р.). Одеський державний аграрний університет. С. 145-148.
8. Чернова І.С., Лисенко В.П. Онтолого-синергетичний підхід до управління виробництвом ентомофагів. Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними

комплексами: матеріали X міжнар. наук.-техн. Internet-конф. (Київ, 24 листопада 2023 р.). К: НУХТ, 2023. С. 74-75.

9. Lysenko V., Chernova I. On the Issue on the Development of Intelligent Decision Support Systems in the Production of Entomophages. 2021 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T'2021). October 5-7, 2021. Kharkiv, Ukraine. P. 229-232. [https://doi.org/10.1109 / PICST54195.2021.9772234](https://doi.org/10.1109/PICST54195.2021.9772234)

10. Lysenko V., Chernova I. Intelligent Decision Support System in Entomophages Production. 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology. Kharkiv, Ukraine. P. 225-228. <https://doi.org/10.1109 / PICST51311.2020.9467999>

11. Chernova I., Lysenko V. Theoretical and Methodological Approaches to the Creation of Cyber-Physical Systems in the Production of Entomophages. 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv. Ukraine. 2022. P. 193-197. <https://doi.org/10.1109/PICST57299.2022.10238589>

12. Пат. 145921 UA, МПК А01К 67/033 (2006.01), G07C 3/14 (2006.01), G05B 13/04 (2006.01). Спосіб керування якістю ентомологічної продукції / Лисенко В.П., Чернова І.С., Крутякова В.І.; заявник і власник Інженерно-технологічний інститут "Біотехніка" Національної академії аграрних наук. - № u202005677; заявл. 02.09.2020; опубл. 06.01.2021. Бюл. № 1/2021.

13. Білик М.О. Біологічний захист рослин від шкідливих організмів: підручник. Харків: Майдан, 2022. 356 с.

14. Бідюк П.І., Коршевніюк Л.О. Проектування комп'ютерних інформаційних систем підтримки прийняття рішень: Навчальний посібник. Київ: ННК "ІПСА" НТУУ "КПІ", 2010. 340 с.

15. Піднебесна Г.А. Онтології та їх значення для розвитку сучасних інформаційних технологій. Індуктивне моделювання складних систем. 2017. Вип. 9. С. 174-187.

16. Roussey C., Soullignac V., Champomier J.-C., Abt V., Chanet J.-P. Ontologies in Agriculture. AgEng 2010, International Conference on Agricultural Engineering, Sep 2010, Clermont-Ferrand, France. <https://hal.science/hal-00523508>

17. Крутякова В.І., Беспалов І.М., Молчанова О.Д., Лобан Л.Л. Інженерно-технологічні інновації у виробництві ентомологічних та мікробіологічних засобів захисту рослин: монографія. Одеса: ПП «Фенікс», 2017. 196 с.

## References

1. Hrytsyshyn, M.I., Perepelytsia, N.M. (2023). Rozvytok vysokotekhnolohichnoho ahropromysloвого vyrobnytstva v Ukraini [Development of high-tech agro-industrial production in Ukraine]. Mekhanika ta avtomatyka ahropromysloвого vyrobnytstva, 2 (116), 194-201.

2. Meitus, V.Iu. (2021). Intelektualne keruvannya vyrobnychymy systemamy [Intelligent management of production systems]. Systemy keruvannya ta kompiutery, 4 (294), 19-27. <https://doi.org/10.15407/csc.2021.04.019>



3. Ladaniuk, A.P., Lutska, N.M., Smitiukh, Ya.V. ta in. (2019). Efektyvnist intelektualnykh system keruvannia tekhnolohichnymy ob'ektamy. Chastyna 1. Osnovni polozhennia [Effectiveness of intelligent control systems of technological objects. Part 1. Basic provisions.]. *Kharchova promyslovist*, 25, 141-147. <https://doi.org/10.24263/2225-2916-2019-25-20>
4. Apostoliuk, V., Apostoliuk, O. (2008). Intelektualni systemy keruvannia: konspekt leksii [Intelligent control systems: lecture notes]. K.: NTUU «KPI», 88.
5. Statkevych, O.I. (2021). Optyimizatsiia tekhnolohichnykh parametriv masovoho rozvedennia ektoparazyta habrobrakona (*Habrobracon hebetor* Say.) ta zastosuvannia yoho dlia zakhystu roslyn: dys. ... dokt. filos.: 202 «Zakhyst i karantyn roslyn» (20 «Ahrarni nauky ta prodovolstvo») [Optimization of technological parameters of mass breeding of the ectoparasite habrobracon (*Habrobracon hebetor* Say.) and its application for plant protection: dissertation. ... Dr. philosophy: 202 "Protection and quarantine of plants" (20 "Agrarian sciences and food")]/ NUBiP Ukrainy. Kyiv, 207.
6. Markina, T.Iu., Lykova, I.O., Holub, Ye.A. (2024). Ekspres-metody kontroliu yakosti kultur komakh-ahentiv biolohichnoho zakhystu roslyn [Express methods of quality control of insect cultures, agents of biological protection of plants]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 1 (850), 48-55.
7. Bachynska, Ya.O., Markina, T.Iu., Karpenko, O.V. (2022). Optyimizatsiia kultyvuvannia zernovoi moli (*Sitotroga cerealella* Oliv.) v prohramakh zakhystu roslyn. Ahrarna nauka: stan ta perspektyvy rozvytku: materialy II Vseukr. nauk.-prakt. konf. (Odesa, 24-25 Lystopada 2022 r.) [Optimizing the cultivation of grain moth (*Sitotroga cerealella* Oliv.) in plant protection programs. Agrarian science: state and prospects of development: materials II All-Ukrainian science and practice conf. (Odesa, November 24-25, 2022)]. *Odeskyi derzhavnyi ahrarnyi universytet*, 145-148.
8. Chernova, I.S., Lysenko, V.P. (2023). Ontoloho-synerhetychnyi pidkhid do upravlinnia vyrobnytstvom entomofahiv. Suchasni metody, informatsiine, prohramne ta tekhnichne zabezpechennia system keruvannia orhanizatsiino-tekhnichnymy ta tekhnolohichnymy kompleksamy: materialy X mizhnar. nauk.-tekhn. Internet-konf. (Kyiv, 24 Lystopada 2023 r.) [Ontology-synergistic approach to management of entomophages production. Modern methods, information, software and technical support of management systems of organizational, technical and technological complexes: materials X international. science and technology Internet-conf. (Kyiv, November 24, 2023)]. K: NUKhT, 74-75.
9. Lysenko, V., Chernova, I. (2021). On the Issue on the Development of Intelligent Decision Support Systems in the Production of Entomophages. *2021 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T'2021)*. October 5-7, Kharkiv, Ukraine, 229-232. <https://doi.org/10.1109 / PICST54195.2021.9772234>
10. Lysenko, V., Chernova, I. (2020). Intelligent Decision Support System in Entomophages Production. *2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology*. Kharkiv, Ukraine, 225-228. <https://doi.org/10.1109 / PICST51311.2020.9467999>
11. Chernova, I., Lysenko, V. (2022). Theoretical and Methodological Approaches to the Creation of Cyber-Physical Systems in the Production of Entomophages. *2022 IEEE*

9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv. Ukraine, 193-197.  
<https://doi.org/10.1109/PICST57299.2022.10238589>

12. Pat. 145921 UA, MPK A01K 67/033 (2006.01), G07C 3/14 (2006.01), G05B 13/04 (2006.01) (2021). Sposib keruvannia yakistiu entomolohichnoi produktsii [The method of managing the quality of entomological products] / Lysenko V.P., Chernova I.S., Krutiakova V.I.; zaiavnyk i vlasnyk Inzhenerno-tekhnologichnyi instytut "Biotekhnika" Natsionalnoi akademii ahrarykh nauk. - № u202005677; zaiavl. 02.09.2020; opubl. 06.01.2021. Biul. № 1/2021.

13. Bilyk, M.O. (2022). Biolohichni zakhyst roslyn vid shkidlyvykh orhanizmiv: pidruchnyk [Biological protection of plants against harmful organisms: a textbook]. Kharkiv: Maidan, 356.

14. Bidiuk, P.I., Korshevniuk, L.O. (2010). Proektuvannia kompiuternykh informatsiinykh system pidtrymky pryiniattia rishen: Navchalnyi posibnyk [Designing computer-based information systems for decision support: A tutorial]. Kyiv: NNK "IPSA" NTUU "KPI", 340.

15. Pidnebesna, H.A. (2017). Ontolohii ta yikh znachennia dlia rozvytku suchasnykh informatsiinykh tekhnolohii [Ontologies and their significance for the development of modern information technologies]. Induktyvne modeliuвання skladnykh system, 9, 174-187.

16. Roussey, C., Soullignac, V., Champomier J.-C., Abt V., Chanet J.-P. (2010). Ontologies in Agriculture. AgEng 2010, International Conference on Agricultural Engineering, Sep 2010, Clermont-Ferrand, France. <https://hal.science/hal-00523508>

17. Krutiakova, V.I., Bespalov, I.M., Molchanova, O.D., Loban, L.L. (2017). Inzhenerno-tekhnologichni innovatsii u vyrobnytstvi entomolohichnykh ta mikrobiolohichnykh zasobiv zakhystu roslyn: monohrafiia [Engineering and technological innovations in the production of entomological and microbiological plant protection products: monograph]. Odesa: PP «Feniks», 196.

## SCIENTIFIC FUNDAMENTALS OF BUILDING AN INNOVATIVE INTELLIGENT SYSTEM OF MANAGING THE PRODUCTION OF ENTOMOPHAGES

*I. Chernova, V. Lysenko*

**Abstract.** *The article is devoted to the issue of improving information and technical support for the production of entomophages, in particular, the scientific foundations of building an innovative intelligent system for managing the production of entomophages.*

*The purpose of the research is to develop the scientific basis for building an innovative intelligent system for controlling the production of entomophages.*

*The object of research is the process of managing the production of entomophages.*

*Research methods – structural synthesis, ontological-synergistic and neural network approaches, analysis of T. Saati hierarchies, Bayes network, cognitive and correlational analysis, computer modeling.*

*An innovative intelligent control system for the production of the entomophages *Habrobracon hebetor* was developed based on the results of own research, the technological experience of specialists and modern methods of intellectual data analysis. The structure of the control system is presented. Management processes, software tools and management system innovations are displayed in the form of an associative map. An ontology of processes for innovative intelligent production management of the entomophage *Habrobracon hebetor* has been developed. The knowledge base of the innovative intelligent control system is presented in the form of facts and production rules.*

*The results of the research increase the level of intellectualization of the processes of managing the production of entomophages, reduce the uncertainties in the management processes, increase the level of informatization and competence of the operator-technologist and are the basis for the development of a theory of decision-making in the production of biological means of plant protection.*

**Key words:** *production of entomophages, intelligent management system, innovations, management processes*