

УДК 628.84

© 2023

ОБҐРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ АДАПТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ЕНТОМОКУЛЬТУР

Піщанська Н.О.¹, Бельченко В.М.², Беспалов І.М.³

¹⁻³кандидати технічних наук

Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН

вул. Маякська дорога, 26, смт Хлібодарське Одеського р-ну Одеської обл., 67667, Україна

e-mail: ¹pishchanskay@gmail.com, ²belchenkovm@gmail.com, ³inbesp@gmail.com

ORCID: ¹0000-0002-5337-4538, ²0000-0002-6117-6363, ³0000-0001-6063-6842

Надійшла 02.11.2023

Мета. Обґрунтувати критерії для оцінки ефективності адаптивних технологій вирощування ентомокультур, що враховують якісні показники комах, екологічні, економічні й енерго-економічні показники системи і засновані на впровадженні енергоефективних технологічних елементів.

Методи. Оцінювання адаптивних технологій вирощування ентомокультур у порівнянні із регламентними виконували із залученням методу поточного експрес-аналізу їхньої ефективності та методу екологічного впливу на навколишнє середовище Life Cycle Assessment. **Результати.** Сформовано чотири критерії оцінки ентомологічного виробництва, що дають змогу оцінювати ефективність функціонування технологій і обладнання за основними показниками, обґрунтовано доцільність їх використання. Критерій оцінки якості комах враховує цільові показники, що визначають ступінь ефективності ентомокультури. Економічний критерій базується на оцінюванні типу системи мікроклімату, що використовується для реалізації адаптивних технологій. Критерій енергоефективності системи оцінюється за трьома основними складовими: нормовані показники енергетичної ефективності продукції, показники енергетичної ефективності виробничих процесів і показники реалізації енергозбереження. Для екологічної оцінки адаптивних технологій застосовано сучасну методологію Life Cycle Assessment. **Висновки.** Обґрунтовано та рекомендовано для використання критерії оцінки технологій вирощування ентомокультур. Розроблені критерії використано для проєктування на прикладі зернової молі адаптивних технологій, які порівняно з регламентними дають змогу покращити якісні показники комах на 20%, економічні показники — на 50, енергоефективність — на 20, екологічні показники — на 15%.

Ключові слова: адаптивні технології, вирощування ентомокультур, якість комах, економічна ефективність технологій, енергоефективність, коефективність.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202305-09>

В адаптивних технологіях для вирощування ентомокультур застосовують умови, подібні до умов майбутнього середовища використання комах, та забезпечують

можливість отримання ентомологічної продукції, що за своїми властивостями максимально наближена до природної популяції. Проєктування адаптивних технологій є

важливою складовою процесу формування біотехнологічного комплексу. При розведенні ентомологічних культур, як правило, використовують регламентні технології, які завдяки створенню в певних умовах ефективного комплексу технічних засобів, що враховують життєвий простір комах (оптимальні параметри мікроклімату та умови життєдіяльності комах у техноценозі), перетворюються на адаптивні.

Істотну роль у технологічному процесі вирощування ентомокультур відіграють параметри мікроклімату, від яких залежать ефективність реалізації адаптивних технологій та забезпечення необхідних якісних показників комах, що є основними параметрами оцінки, в тому числі самих технологій. Оцінка технологій за показниками, які визначають ефективність окремого технічного засобу або за низкою параметрів характеризують технологічні властивості елементів технології, не повністю відображає переваги тієї чи іншої з них.

Для формування технологічних комплексів і розроблення адаптивних технологій для конкретних кліматичних умов, а також за необхідності вирішити питання, що виникають у процесі експлуатації і спрямовані на коригування окремих технологічних варіантів залежно від зміни умов вирощування ентомокультури і рівня технічного оснащення, необхідно підготувати критерії їх оцінки.

Один із критеріїв обирають головним (цільова функція), а інші стають обмеженнями. Завдання аналізу за одним критерієм, як правило, зумовлюється оперативним управлінням процесом вирощування ентомокультур і обмеженням за ресурсами або вихідною сировиною. Критеріями оцінки можуть слугувати показники якості, енерговитрат, витрат праці, втрати ентомокультури, екологічні показники та ін.

На сьогоднішній день проведено низку досліджень, що оцінюють вплив різних факторів на ефективність технологій вирощування ентомокультур [1–3]. Але порівняльний аналіз впливу цих факторів у різних технологіях відсутній.

Мета досліджень — обґрунтувати критерії оцінювання ефективності адаптивних технологій вирощування ентомокультур, що враховують якісні показники

комах, екологічні, економічні та енерго-економічні показники системи і ґрунтуються на впровадженні енергоефективних технологічних елементів.

Матеріали і методи досліджень. Виконано аналітичні дослідження і формалізований опис біоінженерних комплексів, що розкривають особливості алгоритму їх функціонування та характер взаємодії вхідних і вихідних показників. Проведено теоретичне та експериментальне обґрунтування методів і режимів, які забезпечують можливість отримання популяції цільових комах і продуктів їхньої життєдіяльності із заданими властивостями в оптимальних умовах.

Проведено порівняльний аналіз існуючих технологій, умови реалізації яких визначено регламентами вирощування певних видів комах, і запропонованих адаптивних технологій, що передбачають використання сучасних високопродуктивних машин і програм, наприклад бази даних «Інтерактивна модель виробництва ентомокультур для захисту рослин», призначеної для розрахунку і підбору технологічного обладнання, розрахункової програми *Life Cycle Assessment*, заснованої на методології *ECO-INDICATOR 99*, бази даних, що дає змогу визначити кількість та якість шкідливих впливів і викидів при виробництві певної продукції.

Результати досліджень та їх обговорення. Досліджено весь етап формування в заданих умовах ефективного комплексу технічних засобів для реалізації адаптивних технологій, що враховує життєвий простір комах та оптимальні параметри мікроклімату.

Обґрунтовано використання чотирьох критеріїв оцінювання адаптивних технологій, а саме: критеріїв якості комах, економічної ефективності, енергоефективності та екологічності, один з яких обирається як цільова функція, а інші слугують обмеженнями.

Апробацію розроблених підходів проведено на прикладі ентомофага, що найбільш широко використовується для біологічного захисту рослин, — зернової молі. Усі розрахунки, математичне моделювання та експериментальну перевірку проведено на лінії промислового виробництва зернової молі у структурі ІТІ «Біотехніка» НААН.

Одним з основних критеріїв оцінювання ефективності впровадження адаптивних технологій вважається якість комах. У разі масового виробництва ентомопродукції контроль цільових показників якості здійснюють згідно з чинною нормативною документацією, а за необхідності контролюють і загальні показники якості [4, 5]. Багато авторів довели вплив складових адаптивних технологій (заданий температурний і вологісний режими, імітація день–ніч, рух повітря та ін.) на якість комах [6–9]. Якість ентомофагів K_k^a визначається трьома основними цільовими показниками: пошуковою активністю, міграційною активністю, хижацькою активністю:

$$K_k^a = f(\beta, \delta, \varepsilon), \quad (1)$$

$$\beta = \frac{\sum N_i^{\text{пош}}}{\sum N}, \delta = \frac{\sum N_i^{\text{мір}}}{\sum N}, \varepsilon = \frac{\sum N_i^{\text{хиж}}}{\sum N}, \quad (2)$$

де $\frac{N_i^{\text{пош}}}{N}$, $\frac{N_i^{\text{мір}}}{N}$, $\frac{N_i^{\text{хиж}}}{N}$ — співвідношення якісних комах до загальної їх кількості; β — пошукова здатність; δ — міграційна здатність; ε — хижацька здатність.

Для виявлення найбільш ефективного варіанта технології серед кількох існуючих альтернатив здійснювали їх порівняння за використання виразу:

$$\delta_k = \frac{K_k - K_{k\text{Per}}}{K_{k\text{Per}}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де δ_k — індекс, що відображає ефективність обраного технологічного варіанта виробництва ентомокультур за адаптивними технологіями порівняно з регламентними з використанням n -критеріїв (економічного, енергетичного, екологічного); K_k — критерій оцінки адаптивних технологій вирощування ентомокультур; $K_{k\text{Per}}$ — критерій оцінки регламентних технологій вирощування ентомокультур.

Використання критерію оцінки якості ентомопродукції на прикладі вирощування зернової молі дало змогу майже на 20% підвищити якісні показники в адаптивних технологіях порівняно з регламентними.

Для обґрунтування критерію економічної ефективності процесу вирощування комах проведено порівняння економічних показників системи забезпечення мікроклімату в адаптивних та регламентних технологіях. Згідно з цими технологіями, частіше

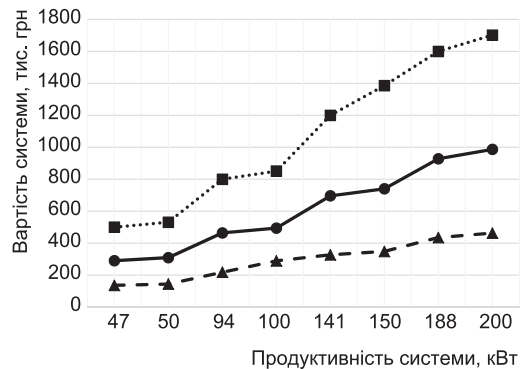
використовують центральну систему кондиціонування повітря (РТ) або спліт-системи [10]. В адаптивних технологіях застосовують сучасне енергоефективне обладнання, наприклад чилер-фанкойлову систему (АТ-1). Як альтернативні системи кондиціонування розглянуто системи створення мікроклімату з використанням енергозберігаючих технологій — артезіанських свердловин (АТ-2) і сонячних батарей (АТ-3).

Результати розрахункового аналізу економічності запропонованих систем кондиціонування повітря подано на рисунку.

Вартість системи мікроклімату включає капітальні витрати (закупівля і монтаж обладнання) та експлуатаційні (обслуговування системи). Продуктивність системи мікроклімату характеризується її холодильним навантаженням та вимірюється у кіловатах (кВт).

Розрахунок вартості запропонованих систем показав співпадіння вартості систем мікроклімату при реалізації регламентних технологій та адаптивних АТ-1, в яких використовують чилер-фанкойлову систему.

Економічні витрати на розроблення та впровадження системи кондиціонування повітря з використанням артезіанської води майже в 5 разів менші, ніж



Залежність вартості системи мікроклімату для альтернативних технологій вирощування ентомокультур від її продуктивності: РТ — регламентні технології з центральною системою створення мікроклімату; АТ-1, АТ-2, АТ-3 — адаптивні технології, в яких використано чилер-фанкойлову кліматичну систему, артезіанську свердловину і сонячні батареї відповідно

—●— РТ, АТ-1, —▲— АТ-2, ...— АТ-3

у разі системи кондиціонування повітря з чилер-фанкойловою схемою холодопостачання. Системи АТ-2, до складу яких входять артезіанські свердловини, можна рекомендувати як оптимальний варіант за умови географічної можливості впровадження цього методу.

Вартість реалізації системи кондиціонування повітря з використанням сонячних батарей АТ-3 майже в 10 разів вища від вартості системи створення мікроклімату, в якій не застосовуються альтернативні джерела електроенергії. Порівняно з центральною системою, система, в якій використовують сонячні батареї, має низку переваг, а саме низькі експлуатаційні витрати, менші терміни окупності, повна незалежність від загальної лінії електропостачання. Перераховані фактори свідчать про ефективність функціонування і конкурентоспроможність зазначеної альтернативної системи [11].

Критерій економічної ефективності дає змогу визначити оптимальне кліматичне обладнання для реалізації адаптивних технологій, а за певних умов забезпечити підвищення економічних показників порівняно з регламентними технологіями майже на 50%.

Щоб сформулювати критерій енергоефективності, досліджували показники енергозбереження, які характеризують діяльність підприємства, спрямовану на ефективне використання та економічне витрачання теплоенергетичних ресурсів на всіх стадіях його життєвого циклу.

Економічну діяльність у сфері енергозбереження характеризують такі показники:

- фактична економія теплоенергетичних ресурсів;
- зниження витрат теплоенергоресурсів, у тому числі за рахунок оптимізації режимних параметрів енергоспоживання;
- зниження енергоемності виробництва продукції (на підприємстві) і валового внутрішнього продукту (в регіоні чи країні); реалізація проєктів і програм енергозбереження, енергозберігаючих технологій та обладнання.

Критерій енергоефективності $K_k^{енер}$ розраховували за формулою:

$$K_k^{енер} = \frac{ЕП_k^i}{\sum E} = \frac{ЕП_k^i}{E_{пр} + E_{нп} + E_{інв}}, \quad (4)$$

де $ЕП_k^i$ — енергетичний прибуток виробництва, МДж; $E_{пр}$, $E_{нп}$, $E_{інв}$ — відповідно прямі, непрямі та інвестиційні витрати енергетичного характеру, МДж.

Розрахунок означених показників свідчить про можливість проєктування адаптивних технологій вирощування ентомокультур, енергетичні характеристики яких майже на 20% нижчі порівняно з характеристиками регламентних технологій.

Критерій екологічності визначається екологічними та техніко-економічними показниками за повний життєвий цикл технологічного обладнання з урахуванням показників утилізації із застосуванням методу *LCA* (*Life Cycle Assessment*) [12]. Цей критерій враховує:

- оцінку впливу на навколишнє середовище, що його здійснює ентомологічне виробництво, яке впроваджує адаптивні технології. При цьому визначають кількість використовуваних ним за повний життєвий цикл харчових субстратів і матеріалів, енергії, можливих шкідливих викидів у навколишнє середовище, а також його негативний вплив на кількість та якість комах;

- оцінку здатності аналізованої технології зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Критерій екологічної оцінки $K_k^{екоп}$ визначають за формулою:

$$K_k^{екоп} = f(\varepsilon, \varsigma, \xi, \mu, \zeta), \quad (5)$$

де ε — шкідливі викиди в атмосферу; ς — шум; ξ — запиленість повітря; μ — гранично допустима концентрація шкідливих речовин; ζ — вплив електродвигунів.

Для використання розрахункової програми *LCA* було адаптовано базу даних, що дає змогу визначити кількість і якість шкідливих впливів і викидів у процесі виробництва певної продукції [12].

Розрахункові результати з використанням методології *LCA* для формування критерію екологічності показали, що запропоновані адаптивні технології вирощування ентомокультур чинять майже на 15% менший негативний вплив на оточуюче середовище, ніж регламентні.

Висновки

Обґрунтовано та рекомендовано для використання критерії оцінки технологій вирощування ентомокультур. Ці критерії забезпечили можливість проектування адаптивних технологій, які покращують

якісні показники комах на 20%, економічні показники — на 50, енергоефективність — на 20, а екологічні показники — на 15% порівняно з регламентними технологіями.

Pishchanska N.¹, Belchenko V.², Bessalov I.³
Engineering and Technology Institute «Biotechnika» of NAAS; 26 Maykska road Str., Hlebodarske towr, Odesa region; e-mail: ¹pishchanskay@gmail.com, ²belchenkovm@gmail.com, ³inbosp@gmail.com; ORCID: ¹0000-0002-5337-4538, ²0000-0002-6117-6363, ³0000-0001-6063-6842

Justification of the criteria for assessing the efficiency of adaptive technologies of growing entomocultures

Goal. To justify the criteria for evaluating the effectiveness of adaptive technologies for growing entomocultures, which take into account the qualitative indicators of insects, ecological, economic, and energy-economical indicators of the system and are based on the introduction of energy-efficient technological elements. **Methods.** The assessment of adaptive technologies for growing entomocultures in comparison with regulatory ones was carried out with the involvement of the method of current express analysis of their effectiveness and the method of ecological impact on the environment Life Cycle Assessment. **Results.** Four criteria for evaluating entomological production were formed, which made it possible to evaluate the efficiency of the functioning of technologies and equipment according to the main indicators, and the feasibility of their use

was substantiated. The criterion for assessing the quality of insects took into account the target indicators that determined the degree of effectiveness of entomoculture. The economic criterion was based on the assessment of the type of microclimate system used to implement adaptive technologies. The criterion of energy efficiency of the system was evaluated according to three main components: standardized indicators of energy efficiency of products, indicators of energy efficiency of production processes, and indicators of energy saving implementation. Modern methodology of Life Cycle Assessment was used for the environmental assessment of adaptive technologies. **Conclusions.** The criteria for evaluating technologies for growing entomocultures are substantiated and recommended for use. The developed criteria were used to design adaptive technologies (on the example of the grain moth), which, compared to regulatory ones, made it possible to improve the quality indicators of insects by 20%, economic indicators — by 50%, energy efficiency — by 20%, environmental indicators — by 15%.

Key words: *adaptive technologies, cultivation of entomocultures, quality of insects, economic efficiency of technologies, energy efficiency, eco-efficiency.*

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovysnyk202305-09>

Бібліографія

1. Sikes Derek S., Bowser M., Daly K. et al. The value of museums in the production, sharing, and use of entomological data to document hyperdiversity of the changing North. *Arctic Science*. V. 3. № 3. 2017. P. 498–514.
2. Poveda J. Insect frass in the development of sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2021. 41(1). P. 5–10. doi: 10.1007/s13593-020-00656-x
3. Christian O., Annaliese S. Mason et al. Perspectives for integrated insect pest protection in oilseed rape breeding. *Theoretical and Applied Genetics*. 2022. P. 3917–3946.
4. Tauber M.J., Tauber C.A., Masaki S. Seasonal adaptations of insects. *Oxford Univ. Press*, 1986. 247 p.
5. Hodek I. Role of temperature in diapause of *Pyrrhocoris apterus* (Heteroptera). *Vest. Cs. spol. zool.* 1978. V. 42. № 3. P. 172–187.
6. Farooq S., Maqbool M.M., Bashir M.A. et al. Production suitability of date palm under changing climate in a semi-arid region predicted by CLIMEX model. *J. of King Saud University-Science*, V. 33. N 8. 2021. P. 348–355
7. Dhaka S.R., Pareek B.L. Seasonal incidence of natural enemies of key insect pests of cotton and their relationship with weather parameters. *J. Plant Prot Res.* 2007. V. 47. N 4. P. 418–419.
8. Cammell M.E., Knight J.D. Effects of Climate Change on the Population Dynamics of Crop Pests. *Advances in Ecological Research*. 1991. 22. P. 117–162.

9. *Harrington R., Stork N.E.* Insects in a Changing Environment. London: Academic Press, 1995. 535 p.

10. *Беспалов І.М., Бельченко В.М., Шейкін Б.М.* та ін. Кліматична техніка у технологічних процесах промислової ентомології. *Вісник аграрної науки Південного регіону*. 2014. № 1. Р. 69–74.

11. *Бельченко В.М., Піщанська Н.О.* Вибір багатофункціональної енергозберігаючої системи забезпечення мікроклімату при вирощуванні трихограми за адаптивною технологією. Біологічний метод захисту рослин: досягнення і перспективи: матеріали Міжнар.

наук.-практ. конф. з нагоди 100-річчя НААН України (Одеса, 1–5 жовтня 2018 р.). Одеса, 2018. Р. 32–39.

12. *Бельченко В.М., Піщанська Н.О.* Екологічний критерій оцінки технологій вирощування ентомокультур. Захита растений в традиционном и экологическом земледелии в рамках проекта «Укрепление региональных возможностей применения экологических технологий в интегрированных системах борьбы с вредителями»: материалы Междунар. науч. конф. (Кишинев, 10–12 декабря 2018 г.). Кишинев: Институт генетики, физиологии и защиты растений, 2018. С. 302–305.

ВИПРАВЛЕННЯ

З технічних причин у статті М.М. Мірошниченка, С.С. Коваленка «Просторово-часова нерівномірність забезпечення ґрунтів рухомими мікроелементами», надрукованій у журналі «Вісник аграрної науки» № 4, 2023 р., на с. 7 допущено помилку — замість рис. 2 продубльовано рис. 1.