

УДК 625.635

© 2019

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА ЕНТОМОФАГІВ

В.І. Крутякова

кандидат економічних наук

Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН

бул. Маяцька дорога, 26, смт Хлібодарське Біляївського р-ну Одеської обл., 67667, Україна

e-mail: biotechnica.od@gmail.com

Надійшла 13.09.2019

Мета. Визначити зв'язок економічних і конструктивних технічних характеристик основного устаткування для утримання комах і знайти вимоги, що мінімізують технологічну собівартість його виготовлення. **Методи.** Теоретичні дослідження виконано за відомою методикою параметричного техніко-економічного аналізу. Основним підходом до вирішення оптимізаційного завдання було обрано визначення діапазонів значень технічних параметрів, які мінімізують собівартість, без обчислення власне її значень. Під час розробки математичних моделей прийнято припущення, що грошові витрати на матеріали та заробітну плату для виготовлення певного пристрою вважаються прямо пропорційними площі його оболонки або довжині його ребер. **Результати.** Проведено техніко-економічний аналіз основного устаткування для утримання комах (сажків і боксів) з метою визначення їх оптимальних площ для мінімізації технологічної собівартості виготовлення устаткування. Розроблено математичну модель собівартості виготовлення устаткування як функції геометричних розмірів сажка та боксу. Для мінімізації зазначеної собівартості вибрано незалежні параметри, за якими здійснюється оптимізація, а саме: кількість сажків у боксі, робоча площа одного сажка, загальна площа боксу. Всі інші параметри регламентовано технічними вимогами і вважаються заданими. Аналіз моделі свідчить, що всередині заданого діапазону площ цільова функція не має екстремуму, оскільки в зазначеному діапазоні її перша похідна завжди від'ємна (не дорівнює нулю). Тому екстремум (мінімум) досягається лише на межі заданого діапазону площ, тобто за максимальних значень площ сажка та боксу. **Висновки.** Вартість устаткування, яка оцінюється через технологічну вартість його виготовлення, буде мінімальною за максимально можливих значень площ сажка і боксу. Обмеження цих значень залежатимуть від технічних вимог: ергономічності, міцності та ін. Зі збільшенням розмірів сажка з 25×25 см до 25×50 см приведені витрати на матеріали для виготовлення скорочуються на 6%, а на оплату праці — на 25%. При збільшенні продуктивності на 62% технологічна собівартість комплексу зменшується на 2%. Обґрунтовані в роботі підходи істотно поліпшують економічні показники технологічного комплексу.

Ключові слова: розведення комах, устаткування, модель технологічної собівартості, оптимізація площі сажків.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201911-11>

В Інженерно-технічному інституті «Біо-техніка» НААН за останні роки створено низку технологічних комплексів масового розведення ентомофагів [1] для використання в програмах біологічного захисту рослин від шкідників, а також накопичено досвід їх трансферу, що визначило потребу подальшого удосконалення устаткування в напрямі поліпшення його економічної ефективності.

Основні біотехнологічні вимоги, встановлені у наших попередніх дослідженнях [2], можна реалізовувати в різних конструктивних рішеннях виготовлення обладнання. Відповідно змінюватимуться техніко-економічні показники та стане можливою оптимізація технічних рішень за критерієм економічної ефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Техніко-економічний аналіз (ТЕА) проєктних рішень [3, 4] — це дослідження взаємозв'язку технічних, організаційних і економічних параметрів і показників об'єкта, що дає змогу знайти найкраще проєктне рішення за обраним критерієм. Отже, основна передумова ТЕА — можливість альтернативних рішень, а завдання ТЕА — забезпечити найліпше рішення під час вибору конструкції обладнання, технології його виготовлення та інших чинників.

Аналіз та узагальнення технічних характеристик промислових зразків технологічних комплексів для виробництва трихограми, бракона, золотоочки, створених в Україні, Росії, Узбекистані [5, 6], свідчить, що кожний етап (або кілька етапів) онтогенезу комах відбувається у визначеній ємності, так званому, технологічному сажку (ТС). Сажки у кількості n_c розміщують у технологічному апараті (ТА) — боксі (стелажі, контейнері, шафі), їхню кількість n_a визначають із заданої продуктивності Q комплексу сажків і боксів на цьому етапі онтогенезу:

$$Q = n_a \cdot n_c \cdot W \cdot S_c = n_a \cdot n_c \cdot Q_c = W \cdot S, \quad (1)$$

де S — загальна площа утримання комах, m^2 ; W — поверхнева щільність комах у сажку, особин/ m^2 ; S_c — робоча площа сажка, m^2 ; $Q_c = W \cdot S$ — продуктивність одного сажка, особин/сажок.

Для ентомологічних виробництв, як встановлено нашими попередніми дослідженнями [7, 8], визначальним біотехнологічним показником є поверхнева щільність комах W ,

яка для обраного процесу розведення стала константою. Враховуючи вираз (1), задану продуктивність можна забезпечити за різних значень S_c , n_a , n_c . Оптимізацію співвідношення цих чинників доцільно провести методом техніко-економічного аналізу.

Для будь-яких комах у наявних розробках максимальний розмір будь-яких сажків (касет та ін.) не перевищує приблизно 0,5 м, а висота стелажів — 1,5 м. Це свідчить про те, що основною вимогою під час конструювання обладнання було фактичне забезпечення зручності роботи персоналу в лабораторії за письмовими столами та виготовлення зразків невеликих розмірів, а не поліпшення техніко-економічних показників промислового виробництва, що і зумовило актуальність запропонованої статті.

При модернізації устаткування визначення економічної ефективності найчастіше здійснюється через технологічну собівартість процесу виробництва [9]. Такий метод розрахунку економічної ефективності використовують за впровадження будь-яких нововведень в діючі технологічні процеси, коли розрахунок собівартості не здійснюють, а обмежуються лише порівнянням варіантів змінних операцій.

Мета досліджень — визначити зв'язок економічних і конструктивних технічних характеристик основного устаткування для утримання комах і знайти вимоги, що мінімізують технологічну собівартість його виготовлення.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження здійснено за відомою методикою параметричного техніко-економічного аналізу [9]. Основним підходом до вирішення оптимізаційного завдання було обрано визначення діапазонів значень технічних параметрів, які мінімізують собівартість, без обчислення, власне, значень собівартості. При розробці математичних моделей прийнято припущення, що грошові витрати на матеріали та заробітну плату для виготовлення певного пристрою вважаються прямо пропорційними площі його оболонки або довжині його ребер.

Результати досліджень. Під час порівняльного аналізу всі складники витрат на виготовлення технологічного обладнання, які залежать від його конструкції, можна оцінити технологічною собівартістю виготовлення обладнання K [9], яку приведено до умовної одиниці продукції, а саме:

$K = (M + T + E), \quad (2)$
де M — витрати на матеріали; T — витрати на заробітну плату; E — витрати на енергоносії.

Усі витрати також є приведеними до одиниці продукції — грн/особину. Інші статті витрат вважаємо незмінними, отже, такими, що не впливають на зміну собівартості від обраних вхідних чинників.

Витрати на енергоносії на проектному етапі можна визначити тільки через коефіцієнти зв'язку з іншими статтями витрат. З наявного досвіду можна вважати витрати на енергоносії E пропорційними трудовитратам, звідки:

$$K = M + k \cdot T, \quad (3)$$

де k — коефіцієнт перерахунку витрат, який вважатимемо постійним у кожному варіанті обладнання.

Визначимо основні залежності між економічними і технічними параметрами обладнання. Задано такі біологічні вимоги [10]: h_c — висота сажка, м; W — поверхнева щільність комах, особин/м². З технічного завдання задано Q — продуктивність комплексу. Рівняння, які пов'язують конструктивні характеристики сажка і боксу:

$$V_c = S_c \cdot h_c, \\ V_a = \frac{n_c \cdot V_c}{\eta} = \frac{n_c \cdot V_c}{\eta_s \cdot \eta_h} = \frac{n_c \cdot S_c \cdot h_c}{\eta_s \cdot \eta_h} = S_a \cdot h_a, \quad (4)$$

де V_c , V_a — робочий об'єм сажка та боксу відповідно; $\eta = \eta_s \cdot \eta_h$ — коефіцієнт заповнення боксу сажками по горизонталі та вертикалі; h_a , S_a — висота та площа поперечного перетину боксу (площа полиці та підлоги під боксом).

Із наведеної сукупності параметрів оберемо незалежні — S_c , S_a , n_c , які можна змінювати для оптимізації. Висота TC і TA — h_c і h_a відповідно є також незалежною, але має конструктивні обмеження і далі розглядатиметься як технічна вимога.

Параметром, який підлягає оптимізації (мінімізації), було обрано технологічну собівартість виготовлення комплексу сажків і боксів, яка з урахуванням (3) має вигляд:

$$K = K_c + K_a = (M_c + k_c \cdot T_c) \times \\ \times n_c \cdot n_a + (M_a + k_a \cdot T_a) n_a, \quad (5)$$

де індекси c та a позначають параметри сажка та боксу відповідно.

Отже, отриманий вираз (5) є математичною моделлю собівартості виготовлення технологічного комплексу промислового виробництва ентомофагів.

Далі побудуємо математичну модель собівартості виготовлення сажка. Сажок є замкненим об'ємом, в якому утримуються комахи на різних етапах онтогенезу. Виготовляється із пластику або металу, має оболонку, дно, знімну кришку. Корпус за формою — паралелепіпед або циліндр висотою h_c , площа основи S_c , яка для спрощення вважається квадратною з довжиною сторони $\ell_c = \sqrt{S_c}$.

У моделі перехід від фізичних параметрів до вартісних здійснюється через запропоновані коефіцієнти перерахування геометричних параметрів певної j -деталі у вартість, які ґрунтуються на певних припущеннях:

m_{1j} — коефіцієнт вартості матеріалу деталі, з припущенням, що вона пропорційна площі бокової поверхні деталі, грн/м²;

u_{1j} — коефіцієнт сумарних витрат на заробітну плату, які пропорційні площі деталі, грн/м²;

u_{2j} — коефіцієнт сумарних витрат на заробітну плату, які пропорційні периметру деталі або здвоєній довжині усіх ребер для конструкції у вигляді паралелепіпеда, грн/м.

Витрати на матеріали сажка, пропорційні площі його бокової поверхні, дорівнюватимуть:

$$M_c = m_{1c} (2S_c + 4\ell_c \cdot h_c) = m_{1c} (2S_c + 4h_c \sqrt{S_c}). \quad (6)$$

Трудовитрати оцінюватимемо пропорційно здвоєній довжині усіх ребер корпусу, на якій виконують різання заготовок, їхнє склеювання (зварювання) або згинання, механічну фіксацію та ін.:

$$T_c = 2u_{2c} (8\ell_c + 4h_c) = 2u_{2c} (8\sqrt{S_c} + 4h_c). \quad (7)$$

Поділивши вираз (7) на $(W \cdot S_c)$ і підставивши отриманий вираз у перший доданок виразу (5), матимемо (для сажка):

$$K_c = \frac{2m_{1c}}{W} + \frac{1}{W \cdot \sqrt{S_c}} (4h_c \cdot m_{1c} + 16u_{2c} \cdot k_c) + \\ + \frac{8h_c \cdot u_{2c} \cdot k_c}{W \cdot S_c}. \quad (8)$$

Наступним кроком є побудова математичної моделі собівартості виготовлення боксу

(стелажа). Бокс складається з 2-х частин: оболонки та полицної або рейкової конструкції для розміщення сажків. Форма — паралелепіпед з умовно квадратною основою.

Витрати на матеріал оболонки, які пропорційні її площі:

$$M_{аб} = m_{16} (2S_a + 4h_a \cdot \ell_a), \quad (9)$$

де $\ell_a = \sqrt{S_a}$ — довжина сторони основи.

Трудовитрати на оболонку, які пропорційні зведеної довжині ребер:

$$T_{аб} = 8u_{26} (2\sqrt{S_a} + 4h_a). \quad (10)$$

Витрати на матеріал полицної конструкції:

$$M_{ан} = m_{1n} \cdot n_h \cdot S_a = \frac{\eta_h \cdot m_{1a} \cdot h_a \cdot S_a}{h_c}. \quad (11)$$

Трудовитрати на полицну конструкцію:

$$T_{ан} = u_{1n} \cdot n_h \cdot S_a = \frac{u_{1n} \cdot h_a \cdot \eta_h \cdot S_a}{h_c}. \quad (12)$$

Поділивши кожний із виразів (9)–(12) на $(\eta \cdot W \cdot S_a)$ і підставивши отримані вирази у другий доданок виразу (5), матимемо (для боксу):

$$K_a = \frac{2m_{1a} \cdot h_c}{W \cdot \eta \cdot h_a} + \frac{m_{1n} \cdot \eta_h}{W \cdot \eta} + \frac{u_{1n} \cdot k_a \cdot \eta_h}{W \cdot \eta} + \frac{1}{W \cdot \eta \cdot \sqrt{S_a}} \left(4m_{1a} \cdot h_c + \frac{16u_{2a} \cdot h_c \cdot k_a}{h_a} \right) + \frac{8u_{2a} \cdot h_c \cdot k_a}{W \cdot \eta \cdot S_a}. \quad (13)$$

Отже, модель собівартості виготовлення комплексу сажків і боксів (5) з урахуванням (8), (13) можна навести у загальному вигляді:

$$K = a_c + \frac{b_c}{\sqrt{S_c}} + \frac{d_c}{S_c} + a_a + \frac{b_a}{\sqrt{S_a}} + \frac{d_a}{S_a}, \quad (14)$$

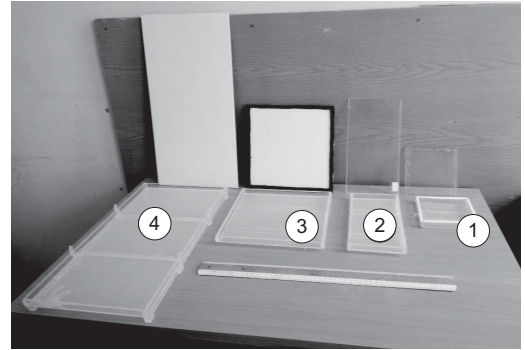
де $a_c, b_c, d_c, a_a, b_a, d_a$ — постійні коефіцієнти, які можна визначити з формул (8) і (13).

Аналіз цієї моделі свідчить, що у заданому діапазоні значень площ S_c, S_a , тобто за умови:

$$S_{\min} \leq S \leq S_{\max} \quad (15)$$

функція (14) не має екстремуму, її перша похідна завжди від'ємна (не дорівнює нулю), а тому мінімальне значення собівартості K перебуватиме на межі діапазону, тобто:

$$K(S_c, S_a) = \min, \quad \text{при } S_c = S_{c \max} \text{ та } S_a = S_{a \max}. \quad (16)$$



Експериментальне моделювання сажків для зменшення їх собівартості: 1, 2 — сажки для лабораторних досліджень; 3 — сажок базовий 25×25 см; 4 — сажок модернізований 25×50 см

Останнє співвідношення доводить економічну доцільність збільшення площі сажка та боксу (стелажа) до максимально можливих значень і було використане при модернізації технологічного комплексу з виробництва золотоочки звичайної, який було розроблено в Інженерно-технологічному інституті «Біотехніка» НААН у 2008 р. [2]. У цьому, так званому, базовому комплексі використовують сажки розміром 25×25 см (рисунок, позиція 3). Експериментальні дослідження з комахами підтвердили можливість збільшення розмірів до 25×50 см (позиція 4). На рисунку також наведено сажки (позиції 1 і 2), використані під час лабораторних досліджень розведення золотоочки.

При збільшенні розмірів сажка з 25×25 см до 25×50 см приведені витрати на матеріал для виготовлення скорочуються приблизно на 6%, на оплату праці — на 25%. На цій

Порівняльні показники комплексів

Показник	Базовий 2008 р.	Новий ТКЗ-4.2
Продуктивність за цикл, млн яєць	11,25	19,2
Кількість, шт.:		
сажків	105	80
стелажів	3	2
Площа, м²:		
підлоги під устаткуванням	4,1	2,95
виробничої ділянки	15	7,5

основі було розроблено новий технологічний комплекс ТКЗ-4.2 (таблиця).

При збільшенні продуктивності на 62% технологічна собівартість нового комплексу зменшується приблизно на 2%.

При розробці нового стелажа також

використано збільшення коефіцієнта заповнення η і висоти h_a згідно з формулою (13). Це дало змогу істотно скоротити потрібну виробничу площу для розміщення комплексу (див. таблицю), що скорочує експлуатаційні витрати під час розведення комах удвічі.

Висновки

Побудовано математичну модель визначення собівартості промислового виготовлення устаткування виробництва ентомофагів як функції геометричних розмірів сажка та боксу. Аналіз математичної моделі свідчить, що вартість устаткування, яка оцінюється через технологічну вартість його виготовлення, буде мінімальною за максимальних значень площ сажка та боксу. Обмеження цих значень залежатимуть від технічних вимог:

ергономічності, міцності та ін. Зі збільшенням сажка з 25×25 см до 25×50 см приведені витрати на матеріали для виготовлення скорочуються на 6%, а на оплату праці — на 25%. Зі збільшенням продуктивності на 62% технологічна собівартість комплексу зменшується на 2%. Експериментально підтверджено на прикладі розведення золотоочки звичайної, що обґрунтовані підходи істотно поліпшують економічні показники технологічного комплексу.

Крутякова В.И.

Инженерно-технологический институт «Биотехника» НААН, ул. Маякская дорога, 26, пгт Хлебодарское Беляевского р-на Одесской обл., 67667, Украина; e-mail: biotechnica.od@gmail.com

Технико-экономический анализ проектных решений технологического комплекса промышленного производства энтомофагов

Цель. Определить связь экономических и конструктивных технических характеристик основного оборудования для содержания насекомых и найти требования, которые минимизируют технологическую себестоимость его изготовления. **Методы.** Теоретические исследования проведены по известной методике параметрического технико-экономического анализа. Основным подходом к решению оптимизационной задачи было выбрано определение диапазонов значений технических параметров, которые минимизируют себестоимость, без вычисления собственно ее значений. При разработке математических моделей принято предположение, что денежные затраты на материалы и заработную плату для изготовления определенного устройства считаются прямо пропорциональными площади его оболочки или длине его ребер. **Результаты.** Проведен технико-экономический анализ основного оборудования для содержания насекомых (сажков и боксов) с целью определения их оптимальных площадей для минимизации технологической себестоимости изготовления оборудования. Разработана математическая модель

себестоимости изготовления оборудования как функции геометрических размеров сажка и бокса. Для минимизации указанной себестоимости выбраны независимые параметры, по которым осуществляется оптимизация, а именно: количество сажков в боксе, рабочая площадь одного сажка, общая площадь бокса. Все остальные параметры регламентированы техническими требованиями и считаются заданными. Анализ модели показывает, что внутри заданного диапазона площадей целевая функция не имеет экстремума, поскольку в указанном диапазоне ее первая производная всегда отрицательная (не равно нулю). Поэтому экстремум (минимум) достигается только на границе заданного диапазона площадей, то есть при максимальных значениях площадей сажка и бокса. **Выводы.** Стоимость оборудования, которая оценивается через технологическую стоимость его изготовления, будет минимальной при максимально возможных значениях площадей сажка и бокса. Ограничения этих значений будут зависеть от технических требований: эргономичности, прочности и др. При увеличении размеров сажка от 25×25 см до 25×50 см приведенные затраты на материалы для изготовления сокращаются на 6%, а на оплату труда — на 25%. При увеличении производительности на 62% технологическая себестоимость комплекса уменьшается на 2%. Обоснованные в работе подходы существенно улучшают экономические показатели комплекса.

Ключевые слова: разведение насекомых, оборудование, модель технологической себестоимости, оптимизация площади садков.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201911-11>

Krutyakova V.

Engineering and Technology Institute «Biotechnology», National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, 26 Maiatska doroha Str., Khlivodarske, Biliaivskiy district, Odesa oblast, 67667, Ukraine; e-mail: biotechnica.od@gmail.com

Technical-economical analysis of design solutions of technological complex of industrial production of entomophages

The purpose. To determine link of economic and constructive characteristics of capital equipment for growing hexapods and to find out demands which minimize technological cost price of its manufacture.

Methods. Theoretical studies are lead on known procedure of parametric technical-economical analysis. As basic approach to solution of optimization problem they selected determination of ranges of values of technical parameters which minimize cost price without evaluation, actually, their values. At development of mathematical models the conjecture is accepted that monetary expenditures for materials and wages for manufacture of certain device are considered directly proportional area of its envelopment or length of its ridges. **Results.** Technical-economical analysis of capital equipment for growing hexapods (cells and boxes) for

the purpose of determination of their optimum squares for minimization of technological cost price of manufacture of the equipment is lead. Mathematical model of cost price of manufacture of the equipment as function of geometrical sizes of cell and box is developed. For minimization of the specified cost price independent parameters on which optimization is carried out are selected, namely: amount of cells in a box, effective area of one cell, gross area of a box. All other parameters are regulated by technical requirements and are considered set. Model study shows that inside the set range of squares the objective function has no extreme, as in the specified range its first derivative always negative (it is not equal to null). Therefore the extreme (minimum) is attained only on boundary of the set range of squares, that is at peak figures of squares of cell and box. **Conclusions.** Cost of equipment, which is evaluated through technological cost of its manufacture, will be minimum at the greatest possible values of squares of cell and box. Limitations of these values will depend on technical requirements: ergonomics, strength, etc. At increase of sizes of cell from 25x25 cm up to 25x50 cm the reduced expenditures on materials for manufacture drop on 6%, and on payment – on 25%. At increase of productivity on 62% technological cost price of complex is drops on 2%. Approaches justified in study essentially improve economic indicators of complex.

Keywords: growing of hexapods, equipment, model of technological cost price, optimization of square of cell.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201911-11>

Бібліографія

1. Krutyakova V. Effective Technological Equipment for Mass Production of Entomophagous Insects and Mites Used for Biological Control. *J. of Agricultural Science and Technology*. 2017. № 7. С. 179–186. <https://doi.org/10.17265/2161-6264/2017.03.005>

2. 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. 150 с.

3. Берзинь І.Э., Пикунова С.А., Савченко Н.Н., Фалько С.Г. Экономика предприятия: учебник для вузов; под ред. С.Г. Фалько. Москва: Дрофа, 2003. 368 с.

4. Вітлінський В.В. Моделювання економіки: навч. посібник. Київ: Київський національний економічний університет, 2003. 408 с.

5. Ходорчук В.Я. Комплексна механізація виробництва трихограм. *Карантин и защита растений*. 2013. № 1. С. 14–16.

6. Рудик Л.А., Таргоня В.С., Грогуленко Д.П. та ін. Промислова біотехнологія виробництва ентомологічного препарату бракон для біологічного

захисту рослин. *Техніка і технології АПК*. 2013. № 12 (59). С. 29–33.

7. Бельченко В.М., Шейкин Б.М., Лешишак А.В., Бородавкіна Т.В. К вопросу определения объемов обитания энтомокультур в промышленных биотехнологических системах. Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию. Институт защиты растений: сб. научных трудов «Защита растений». 2013. № 37. С. 161–167.

8. Беспалов І.М., Ходорчук В.Я. Масштабування сажків з комахами при створенні технологічних комплексів промислового виробництва ентомофагів. *Інформаційний бюлетень СПРС МОББ*. № 53. Одеса: ТЕС, 2018. С. 40–49.

9. Филонов И.П., Беляев Г.Я., Кожуро Л.М. и др. Проектирование технологических процессов в машиностроении: учеб. пособие для вузов; под ред. С.Г. Фалько. Минск: УП «Технопринт», 2003. 910 с.

10. Ходорчук В.Я., Беспалов І.М. Техніко-економічна оптимізація модульних комплексів промислового виробництва ентомофагів. *Інформаційний бюлетень СПРС МОББ*. № 49. Одеса: ТЕС, 2016. С. 261–264.