

## ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЕКОЛОГО-БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Чміль А. І.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*Розроблено концепція і загальні методологічні принципи аналізу еколого-біотехнічних систем у тваринництві.*

**Постановка проблеми.** Вирішення продовольчої проблеми в Україні неможливе без подальшого збільшення виробництва тваринницької продукції, а отже будівництва нових, реконструкції та підвищення ефективності експлуатації існуючих тваринницьких комплексів із промисловою технологією і високим рівнем електрифікації та автоматизації виробничих процесів. Нормальне функціонування таких виробничих об'єктів залежить від двох факторів: надійного забезпечення енергетичними і матеріальними ресурсами та охорони навколишнього природного середовища від згубної дії відходів цих комплексів. Оскільки ці фактори на тваринницьких комплексах взаємозв'язані і взаємозалежні, то бажано розглядати їх в сільськогосподарській еколого-біотехнічній системі "тваринницьке виробництво-обробка і утилізація відходів - навколишнє середовище".

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз літературних джерел з означеної проблеми [1,2,5] свідчить про відсутність системного аналізу енергетичних і матеріальних потоків між виробничою і природною системами і є головною причиною застосування недосконалих технологічних процесів і систем в тваринництві.

**Мета досліджень** – розробка загальних методологічних принципів оцінки енергозберігаючих і екологічнобезпечних технологій тваринницьких підприємств на основі математичних моделей енергетичних потоків у вигляді окремих критеріїв для вирішення завдань проектування та експлуатації сільськогосподарських еколого-біотехнічних систем.

**Основні матеріали дослідження.** В результаті досліджень основних вимог до системного аналізу розроблено такий план для реалізації системного підходу до оцінки енергетичної ефективності та екологічної безпеки сільськогосподарських еколого-біотехнічних систем (СЕБС): постановка задачі – визначення меж досліджуваної системи; систематизація та обробка вихідної інформації для розв'язку поставленої задачі; складання математичної моделі СЕБС та її підсистем із врахуванням прямих, зворотних, вертикальних і горизонтальних зв'язків між ними і навколишнім природним середовищем; визначення параметричних зв'язків, обмежень і допустимих зон зміни параметрів при заданій структурній схемі СЕБС; формулювання цільових (критеріальних) функціоналів для оцінки відповідності системи поставленим задачам.

Сільськогосподарську еколого-біотехнічну систему подамо у вигляді чотирьох взаємозв'язаних підсистем: підсистеми виробництва тваринницької про-

дукції (В), де біологічні і технологічні фактори мають визначальний вплив на величину споживаних природних ресурсів і утворюваних при цьому відходів; підсистеми обробки та утилізації відходів (О), яка забезпечує обробку і знешкодження відходів перед відведенням в навколишнє природне середовище і використання відходів як сировини для виробництва корисної продукції (біогазу, білкових кормів, цінних органічних добрив); екологічної підсистеми (Е), яка охоплює природні об'єкти і процеси природокористування (грунт, водні об'єкти, повітряне середовище); підсистеми управління (У) – управляючої дії людини, математичного забезпечення, програм і алгоритмів управління.

Таким чином під СЕБС будемо розуміти таку цілісну систему, об'єкт управління якої включає сукупність технологічних і біологічних чинників, що взаємодіють в єдиному еколого-технологічному виробничому процесі і задовольняють як виробничо-екологічним, так і екологічним вимогам [1,3,4].

Основною підтримки екологічної рівноваги СЕБС у цілому є пряма взаємна утилізація відходів, а також вироблення з відходів енергетичних (біогаз) і сировинних (кормовий білок, добрива) ресурсів.

Розробку загальної математичної моделі СЕБС будемо здійснювати на основі потоків енергії і речовини.

Нехай реальна еколого-біотехнічна система у тваринництві задана:

а) структурою взаємозв'язаних між собою елементів біологічної, технологічної та управляючої частин СЕБС;

б) складом потоків, що включають: множину вхідних потоків  $-X_B, X_O, X_E$ ; множину вихідних потоків:  $Y_B$  – продукція тваринництва (м'ясо, молоко, яйця тощо),  $Y_O$  – продукти утилізації відходів;  $Y_E$  – продукти екосистеми (корми, вода);  $Z_B, Z_O, Z_E$  – винесення і розсіювання енергії і речовин;  $P_{BO}, P_{OO}, P_{EB}, P_{OE}, P_{OB}$  – генерування відходів тваринницького виробництва, обробки та утилізації відходів і екосистеми;

в) властивостями, відношеннями і алгоритмом взаємодії підсистем В, О, Е, У;

г) метою СЕБС та її підсистем, яка полягає у виробництві максимальної кількості тваринницької продукції при мінімальних витратах енергії і речовини та екологічній безпеці технологічних процесів.

Стан СЕБС зобразимо вектором  $S$ , компоненти якого є функціями часу  $t$  і простору  $R$ . Зміна стану відбувається в результаті випадкових дій  $\xi(t,R)$  та управлінських стратегій  $u$ :

$$U = (g, \lambda) \quad (1)$$

де  $g \in H^K$  – схеми технологічних процесів, що входять у простір  $H^K$  (технологія годівлі, утримання тварин, схеми обробки та утилізації відходів тощо);

$\lambda \in H^m$  – сукупність елементів технологічних процесів, що входять у простір  $H^m$  (машини, механізми тощо).

Формально систему зобразимо у вигляді

$$S(t) = A(S(\tau), U) \quad (2)$$

де  $A(\cdot)$  – оператор, що визначає стан СЕБС у момент часу  $t \in [t_0, T]$  за значенням вектора  $S(t)$ ,  $\tau \in [t, t_0]$ .

Відомо, що сучасні тваринницькі підприємства є низькоефективними, енерговмісткими та екологонебезпечними.

Необхідно на множині  $M$  визначити невідповідність у швидкостях обороту енергії і речовин у виробничій і природній підсистемах, що зумовлює виникнення непогоджених еколого-біотехнічних відносин, знайти таку стратегію управління  $U_0 \in M$ , яка б при обмеженнях на ресурси  $X_i \in X_i$  копроемність навколишнього природного середовища  $H_c$  забезпечувала максимум функціонала

$$\Phi_i = \varphi \{ \eta_i^{BEE}(u_i), \eta_i^{EB}(u_i) \} \rightarrow \max, \quad (3)$$

де  $\eta_i^{BEE}(u_i)$  – показник біоенергетичної ефективності стратегій управління;

$\eta_i^{EB}(u_i)$  – показник екологічної безпеки;

$\varphi$  – оператор згорток критеріїв.

Запишемо у скалярному вигляді три системи рівнянь і нерівностей, що визначають відповідно три системи обмежень у підсистемах  $B$ ,  $O$ ,  $E$ .

Підсистема  $B$  "Тваринницьке виробництво":

$$\begin{aligned} \sum_{\lambda \in H^m} x_{i\lambda}^B(t) - \sum_{j=1} \sum_{\lambda \in H^m} a_{ij\lambda} X_i^B(t) - \sum_{j=1} Z_i^B(t) = Y_i^B(t) \geq Y_0^B(t); \\ \sum_{j \in I^B} \sum_{\lambda \in H^m} P_{i\lambda}^{OEB} X_i^B(t) = P_i^{OB}(t) + P_i^{EB}(t); \\ \sum_{j \in I^B} \sum_{\lambda \in H^m} P_{i\lambda}^{BOE} X_i^B(t) = P_\gamma^{BO}(t) + P_\gamma^{BE}(t); \\ \sum_{i \in I^K} \beta_{i\gamma}^B X_i^B(t) - \sum_{\tau=1}^i N_\lambda^B(t) \leq N_{\lambda 0}, \end{aligned} \quad (4)$$

де  $Y_0^B$  – обмеження на випуск тваринницької продукції;

$a_{ij\lambda}$  – коефіцієнт витрат  $j$  – го виду ресурсів на виробництво  $i$  – го виду продукції на  $\lambda$  – му агрегаті;

$P_{i\lambda}^{OEB}$  – питомий коефіцієнт споживання ресурсів;

$P_{i\lambda}^{BOE}$  – питомий коефіцієнт утворення  $\gamma$  – тих ви-

дів відходів при виробництві  $i$  – го виду продукції на  $\lambda$  – му агрегаті;

$\beta_{i\lambda}^B$  – коефіцієнт витрат виробничих потужностей

$\lambda$  – го агрегату при виробництві  $i$  – го виду тваринницької продукції;

$N_{\lambda}^B$  – приріст виробничої потужності  $\lambda$  – го агрегату;

$N_{\lambda 0}$  – виробнича потужність  $\lambda$  – го агрегату.

Підсистема  $O$  "Обробка та утилізація відходів":

$$\begin{aligned} \sum_{g \in H^k} x_{\gamma g}^O(t) - \sum_{\gamma \in H^n} \sum_{g \in H^k} a_{\gamma g} X_i^O(t) - \\ - \sum_l Z_l^O(t) = Y_l^O(t) \geq Y_0^O(t); \\ \sum_{\gamma \in H^n} \sum_{g \in H^k} P_{\gamma g}^{BEO} X_{\gamma g}^O(t) = P_m^{BO}(t) + P_m^{EB}(t); \\ \sum_{\gamma \in H^n} \sum_{g \in H^k} P_{\gamma g}^{OEB} X_{\gamma g}^O(t) = P_m^{OE}(t) + P_m^{BE}(t) \leq H_c; \\ \sum_{\gamma \in H^n} \sum_{g \in H^k} \beta_{\lambda g} X_{\gamma g}^O(t) - \sum_{\tau=1}^i N_{\lambda g}^O(\tau) \leq N_{\lambda g}^O, \end{aligned} \quad (5)$$

де  $Y_0^O$  – обмеження на випуск  $l$  – тої продукції;

$a_{\gamma g}$  – коефіцієнт витрат  $\gamma$  – го виду відходів при виробництві  $l$  – го виду продукції на  $g$  – му технологічному модулі;

$P_{\gamma g}^{BEO}$  – питомий коефіцієнт споживання ресурсів при виробництві  $l$  – го виду продукції на  $g$  – му технологічному модулі;

$P_{\gamma g}^{OEB}$  – питомий коефіцієнт утворення  $m$  – их видів відходів;

$H_c$  – копроемність навколишнього природного середовища;

$\beta_{\lambda g}^O$  – коефіцієнт витрат виробничих потужностей  $\lambda$  – го агрегату при виробництві  $i$  – го виду тваринницької продукції;

$N_{\lambda g}^O$  – приріст виробничої потужності  $\lambda$  – го агрегату на  $g$  – му технологічному модулі.

Підсистема  $E$  "Екосистема":

$$\begin{aligned} \sum x_i^E(t) - \sum_{r \in H^p} \sum_{\lambda \in H^m} a_{r\lambda} X_i^E(t) - \sum_q Z_i^E(t) = Y_i^E(t) \geq Y_0^E(t); \\ Y_0^E(t) = Y_0^{E-1}(t) + \sum_{r \in H^p} \sum_{\lambda \in H^m} a_{r\lambda} X_i^E(t) \leq L_r^E; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\sum_{g \in H^p} \beta_{q\lambda} x_i^E(t) - \sum_{\tau=1}^t N_{\lambda q}^E(\tau) \leq N_{\lambda q},$$

де  $a_{rq\lambda}$  - коефіцієнт витрат  $r$ -го виду ресурсів при виробництві  $q$ -тої продукції на  $\lambda$ -му агрегаті;

$L_r^E$  - граничнодопустима доза токсиканта.

Для оцінки ефективності нової техніки, а також оптимізації режимів роботи обладнання найбільшого поширення набула методика на основі критерію приведених витрат [2,7]. Але в умовах інфляції та економічної кризи, коли ціни швидко зростають, дати повну економічну оцінку стало практично неможливо. В цих умовах ефективність використання енергетичних ресурсів у тваринництві та пошук енергозберігаючих технологій доцільно здійснювати за допомогою системного біоенергетичного аналізу, в основі якого лежить визначення коефіцієнта біоенергетичної ефективності і кількісним виразом якого є відношення енергії, акумульованої у продукції (енергоміст продукції), до сумарних витрат енергії на її виробництво (енергоємність продукції):

$$\eta_{БЕЕ} = \frac{E_{II}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij}^k X_{ij}^k}, \quad (7)$$

де  $E_{II}$  - енергоміст тваринницької продукції, ГДж/ц;

$C_{ij}^k$  - енергетичний еквівалент  $k$ -го елемента  $i$ -го виду витрат для кожного технологічного процесу  $j$ , ГДж/(ц, м<sup>2</sup>, люд. год);

$X_{ij}^k$  - величина  $k$ -го елемента  $i$ -го виду витрат для кожного технологічного процесу  $j$ , (ц, м<sup>2</sup>, люд. год);

$i, k$  - види витрат і їх елементів: прямі (електроенергії, палива і мастильних матеріалів), непрямі (на виробництво кормів, племінних тварин, лікарські препарати тощо), інвестиційні (машин, споруд тощо), живої праці (робітників, службовців);

$j$  - технологічні процеси (годівля, доїння, прибирання гною, підтримання мікроклімату тощо).

Такий підхід дає змогу врахувати не тільки прямі витрати енергії і палива, але й оречевлені раніше в різних галузях народного господарства, а також витрати живої праці робітників і службовців.

Системний біоенергетичний аналіз значно перевищує можливості техніко-економічного аналізу щодо виявлення резервів невідновлюваних енергоресурсів.

**Висновки.** Розроблено загальні методологічні принципи аналізу енергетичної ефективності та екологічної безпеки сільськогосподарських еколого-біотехнічних систем, в основу яких покладено визначення коефіцієнта біоенергетичної ефективності, кількісним виразом якого є відношення енергії, акумульованої у продукції, до сумарних витрат енергії на її виробництво. Це дає можливість з достатньою точністю моделювати вплив різних факторів на енергетичну та екологічну ефективність системи, здійснювати порівняння і пошук енергозберігаючих режимів і технологій.

## Список використаних джерел

1. Чміль А. І. Обґрунтування оптимальної структури сільськогосподарської еколого-біотехнічної системи / А. І. Чміль // Актуальні питання фізіології рослин в аспекті екологічних проблем. - Чернівці, 1995. - С.64 - 65.

2. Якубів В. М. Потенціал енергозбереження у системі розвитку сільського господарства України / В.М. Якубів // Проблеми економіки.- 2013.- С.57 - 61.

3. Економічна безпека: навч. посіб. / О. Є. Користін, О. І. Барановський, Л. В. Герасименко та ін. // За ред. О. М. Джужі. - К. : Алерта ; КНТ ; Центр навчальної літератури, 2010. - 368 с.

4. Комплексна державна програма енергозбереження України : затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 05.02.1997 № 148 (зі змінами та доповненнями) [Електронний ресурс]. - Режим доступу : <http://www.zakon.rada.gov.ua/>.

5. Сердюк Б. М. Сутність оцінки енергоефективності підприємства / Б. М. Сердюк, М. Р. Маслікевич // Актуальні проблеми економіки та управління : зб. наук. праць молодих вчених НТУУ "КПІ". - К.: НТУУ "КПІ", 2011.

6. Лір В. Е. Економічний механізм реалізації політики енергоефективності в Україні / В. Е. Лір, У. Є. Письменна; НАН України; Ін-т екон. та прогнозув. - К.: 2010. - 208 с.

7. Маляренко В. А. Енергоефективність та енергоаудит : навчальний посібник / В. А. Маляренко. - К.: САГА, 2010.

## Анотація

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЭКОЛОГО-БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Чміль А. И.

*Разработаны концепция и общие методологические принципы анализа эколого-биотехнических систем в животноводстве, дающие возможность моделировать влияние различных факторов на энергетическую и экологическую эффективность систем, осуществляют сравнение и поиск энергосберегающих режимов и технологий.*

## Abstract

### ENERGY EFFICIENCY OF AGRICULTURAL ECOLOGICAL BIOTECHNICAL SYSTEMS

A. Chmil

*It were worked out conception and general methodological principles analysis of agricultural ecology-biotechnology systems, which provide the opportunity to model an influence of different factors on energetical and ecological efficiency of system, to carry out comparison and search of power-conserving regimes and technologies.*