



УДК 628.385

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЕКОЛОГО-БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Чміль А. І., д.т.н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування
України*

Тел.: (044) 527-85-22

Анотація - розроблено концепція і загальні методологічні принципи аналізу еколого-біотехнічних систем у тваринництві, що дає можливість моделювати вплив різних факторів на енергетичну та екологічну ефективність систем, здійснювати порівняння і пошук енергозберігаючих режимів і технологій.

Ключові слова: енергозбереження, електрифіковані технології, екологія, математична модель, система.

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 еколого-біотехнічній системі «тваринницьке виробництво-обробка і утилізація відходів - навколишнє середовище».

Аналіз останніх досліджень. 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 враху-



ванням 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.

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

Результати досліджень. Сільськогосподарську еколого-біотехнічну систему подамо у вигляді чотирьох взаємозв'язаних підсистем: підсистеми виробництва тваринницької продукції (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].

Основою 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.

Припустимо, що 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, 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 B, O, E, Y ;

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 $\zeta(t, R)$ 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 низько ефективними, 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; φ – 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»:

$$\sum_{\lambda \in H^m} x_{i\lambda}^B(t) - \sum_{j=1} \sum_{\lambda \in H^m} a_{ij\lambda} X_i^B(t) - \sum_{j=1} Z_i^B(t) = Y_i^B(t) \geq Y_0^B(t);$$

$$\sum_{j \in I^B} \sum_{\lambda \in H^m} P_{i\lambda}^{OEB} X_i^B(t) = P_i^{OB}(t) + P_i^{EB}(t);$$



$$\sum_{j \in 2^A} \sum_{\lambda \in H^m} D_{i\lambda}^{\hat{A}\hat{A}} X_i^{\hat{A}}(t) = P_{\gamma}^{\hat{A}\hat{I}}(t) + P_{\gamma}^{\hat{A}\hat{A}}(t); \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I^B} \beta_{i\gamma}^{\hat{A}} X_i^{\hat{A}}(t) - \sum_{\tau=1}^t N_{\lambda}^B(t) \leq N_{\lambda 0},$$

- де Y_O^B – обмеження на випуск тваринницької продукції;
 $a_{ij\lambda}$ – коефіцієнт витрат j -го виду ресурсів на виробництво i -го виду продукції на λ -му агрегаті;
 $P_{i\lambda}^{OEB}$ – питомий коефіцієнт споживання ресурсів;
 $P_{i\lambda}^{BOE}$ – питомий коефіцієнт утворення γ -тих видів відходів при виробництві i -го виду продукції на λ -му агрегаті;
 $\beta_{i\lambda}^B$ – коефіцієнт витрат виробничих потужностей λ -го агрегату при виробництві i -го виду тваринницької продукції;
 N_{λ}^B – приріст виробничої потужності λ -го агрегату;
 $N_{\lambda 0}$ – виробнича потужність λ -го агрегату.

Підсистема O «Обробка та утилізація відходів»:

$$\sum_{g \in H^k} X_{\gamma g}^{\hat{I}}(t) - \sum_{\gamma \in H^n} \sum_{g \in H^k} a_{\gamma 1g} X_i^O(t) - \sum_l Z_l^O(t) = Y_1^O(t) \geq Y_0^O(t);$$

$$\sum_{\gamma \in H^n} \sum_{g \in H^k} D_{1g}^{B\hat{A}O} X_{\gamma g}^O(t) = P_m^{B\hat{I}}(t) + P_m^{\hat{A}\hat{A}}(t); \quad (5)$$

$$\sum_{\gamma \in H^n} \sum_{g \in H^k} D_{1g}^{O\hat{A}B} X_{\gamma g}^O(t) = P_m^{\hat{I}E}(t) + P_m^{B\hat{A}}(t) \leq H_c;$$

$$\sum_{\gamma \in H^n} \sum_{g \in H^k} \beta_{1\lambda g} X_{\gamma g}^O(t) - \sum_{\tau=1}^t N_{\lambda g}^O(\tau) \leq N_{\lambda g}^O,$$

- де Y_O^O – обмеження на випуск l -тої продукції;
 $a_{\gamma 1g}$ – коефіцієнт витрат γ -го виду відходів при виробництві l -го виду продукції на g -му технологічному модулі;
 P_{1g}^{BOE} – питомий коефіцієнт споживання ресурсів при виробництві l -го виду продукції на g -му технологічному модулі;
 P_{1g}^{OBB} – питомий коефіцієнт утворених m -их видів відходів;
 H_c – копремність навколишнього природного середовища;
 $\beta_{1\lambda g}^O$ – коефіцієнт витрат виробничих потужностей λ -го агрегату при виробництві i -го виду тваринницької продукції;
 $N_{\lambda g}^O$ – приріст виробничої потужності λ -го агрегату на g -му технологічному модулі.

Підсистема E «Екосистема»:

$$\sum_{r \in H^p} X_i^E(t) - \sum_{\lambda \in H^m} a_{r\lambda} X_i^E(t) - \sum_q Z_i^E(t) = Y_i^E(t) \geq Y_0^E(t);$$



$$Y_o^E(t) = Y_o^{E-1}(t) + \sum_{r \in H^p} \sum_{\lambda \in H^m} a_{r\lambda} X_i^E(t) \leq L_r^E; \quad (6)$$

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

де $a_{rq\lambda}$ - коефіцієнт витрат r -го виду ресурсів при виробництві q - тої продукції на λ -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]. 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 (енерговміст продукції), до сумарних витрат енергії на її виробництво (енергоємність продукції):

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

де E_{Π} – енерговміст тваринницької продукції, ГДж/ц;
 C_{ij}^k – енергетичний еквівалент k -го елемента i -го виду витрат для кожного технологічного процесу j , ГДж/(ц, м², люд. год);
 X_{ij}^k – величина k -го елемента i -го виду витрат для кожного технологічного процесу j , (ц, м², 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 сільськогосподар-



ських 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 літератури

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- №1. С.57 – 61.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
ЭКОЛОГО-БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Чмиль А. И.

Аннотация - 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.

**THE RESEARCH OF ENERGY EFFICIENCY OF
AGRICULTURAL ECOLOGY-BIOTECHNOLOGY SYSTEMS**

A. Chmil

Summary

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.