

13. Шелудченко Б.А., Сивак Р.І., Плужніков О.Б. Метрологія та основні засоби технічних вимірювань. - Житомир: Поліський національний університет, 2023. 124с.: іл.

14. Sheludchenko B.A., Syvak R.I., Pluzhnikov O.B. Metrolohiya ta osnovni zasoby tekhnichnykh vymiryuvan'. - Zhytomyr: Poliss'kyu natsional'nyu universytet, 2023. 124s.: il.

УДК 631.171:636:620.92:004.8

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МОДЕЛІ ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТВАРИННИЦЬКИХ ФЕРМ
INTELLECTUAL MODELS OF SUBSTITUTION OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF EQUIPMENT FOR AUTONOMOUS ENERGY SUPPLY OF LIVESTOCK FARMS

Анатолій Тригуба¹, Мар'ян Коциловський¹, Роман Олійник²

¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, Львів, Україна

²Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, Україна

Науково-прикладна задача забезпечення енергетичної стійкості тваринницьких ферм сьогодні є досить актуальною. Це пов'язано із тим, що витрати на енергоресурси формують суттєву частину собівартості продукції тваринництва. Функціонування сучасних тваринницьких ферм супроводжується постійною потребою в електричній та тепловій енергії для забезпечення роботи систем мікроклімату, освітлення, водопостачання, автоматизованого годування, видалення відходів та підтримання технологічних режимів утримання тварин [1, 2]. За умов нестабільності зовнішнього енергозабезпечення, коливання тарифів на електроенергію та підвищення вимог до екологічної безпеки виробництва зростає потреба у створенні локальних систем автономного енергозабезпечення. Вони дають можливість забезпечувати безперервність виробничих процесів і підвищувати енергонезалежність аграрних підприємств.

Особливого значення ця задача набуває для тваринницьких господарств, у яких одночасно наявний значний потенціал власної сировинної бази для виробництва енергії у вигляді органічних відходів. Гній, залишки кормів, побічні продукти технологічних процесів є не лише відходи виробництва, а й стабільне джерело для одержання біогазу, теплової енергії та електроенергії [3, 4]. Проте ефективність використання такого потенціалу значною мірою визначається правильністю вибору конструктивних і технологічних параметрів обладнання. Оскільки навіть незначні відхилення у геометричних характеристиках реакторів, режимах подачі субстрату, параметрах перемішування або температурному режимі можуть суттєво впливати на енергетичну результативність усієї системи.

Під час проектування обладнання для автономного енергозабезпечення застосовуються традиційні інженерні підходи, що базуються на типовому підборі технічних характеристик без достатнього врахування конкретних виробничих умов ферми, сезонної зміни навантаження, структури органічної сировини та динаміки споживання енергії [5, 6]. Унаслідок цього виникає невідповідність між фактичними режимами роботи обладнання та реальними потребами господарства. Це призводить до зниження коефіцієнта корисної дії енергетичної системи, збільшення експлуатаційних витрат і зростання термінів окупності технічних рішень. Саме тому актуальним є перехід від статичних розрахункових схем до інтелектуальних методів обґрунтування параметрів обладнання, які здатні одночасно враховувати велику кількість взаємопов'язаних факторів проектного середовища.

Сучасний розвиток методів обчислювального інтелекту створює нові можливості для вирішення таких завдань. Використання алгоритмів машинного навчання, нейромережових моделей для прогнозування, адаптивної оптимізації та багатофакторного аналізу дозволяє встановлювати приховані залежності між характеристиками сировини, режимами функціонування обладнання та

кінцевими енергетичними показниками енергетичної системи [7]. Це дає змогу переходити від спрощених нормативних моделей до більш точного інженерного обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів, орієнтованого на конкретний виробничий об'єкт.

Водночас у галузевому машинобудуванні задачі інтеграції методів обчислювального інтелекту у процес визначення параметрів енергетичного обладнання тваринницьких ферм залишаються невирішеними. Існуючі дослідження здебільшого зосереджені або на окремих технологіях біогазового виробництва, або на загальних питаннях енергоефективності аграрних підприємств. Водночас, комплексне поєднання конструктивного аналізу обладнання, технологічних режимів і цифрових інтелектуальних моделей потребує подальшого дослідження. Саме це визначає наукову й практичну актуальність дослідження, спрямованого на обґрунтування параметрів обладнання для забезпечення енергетичної автономності тваринницьких ферм на сучасному інженерному рівні

Метою роботи є обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів обладнання для забезпечення енергетичної автономності тваринницьких ферм завдяки використанню методів обчислювального інтелекту, які дозволяють враховувати мінливість виробничих умов, характеристики органічної сировини, режими енергоспоживання та технічні особливості функціонування енергетичних систем. Передбачається встановлення взаємозв'язку між геометричними параметрами обладнання, режимами підготовки та перероблення органічних відходів, показниками теплового й електричного навантаження ферми та інтегральною ефективністю функціонування автономної енергетичної системи.

Основою для обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів обладнання прийнято модель обчислювального інтелекту, яка дозволяє враховувати багатофакторний характер функціонування тваринницької ферми та взаємозв'язок між сировинними, енергетичними і технологічними параметрами. На відміну від традиційних підходів, коли обладнання підбирається за типовими нормативними характеристиками, у запропонованій схемі первинним етапом є формування інтелектуальної моделі, здатної аналізувати вхідні параметри середовища та прогнозувати оптимальні технічні рішення для конкретної тваринницької ферми.

До вхідних параметрів моделі віднесено кількість поголів'я тварин, добовий обсяг органічних відходів, вологість субстрату, температуру технологічного середовища, режим енергоспоживання ферми, сезонну нерівномірність навантаження та коефіцієнт використання енергетичних ресурсів. У загальному вигляді модель інтелектуального визначення параметрів обладнання описується функціональною залежністю:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n), \quad (1)$$

Де

Y – вектор конструктивно-технологічних параметрів обладнання;

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ – множина вхідних факторів, що характеризують виробничі умови функціонування тваринницької ферми.

У складі вектора (1) конструктивно-технологічних параметрів обладнання визначаються робочий об'єм реактора, потужність когенераційного модуля, інтенсивність перемішування, параметри теплообміну та добова продуктивність системи.

Для реалізації моделі використано принцип багат шарового інтелектуального прогнозування, де на першому рівні виконується аналіз вхідних даних, на другому – оцінювання їхнього впливу на вихід енергії, а на третьому – формування рекомендованих технічних характеристик обладнання. У математичному вигляді інтегральний показник енергетичної ефективності системи визначається співвідношенням:

$$E_{int} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot P_i, \quad (2)$$

Де:

w_i – вагові коефіцієнти впливу окремих параметрів;
 p_i – нормовані показники технологічного стану системи.

Такий підхід дозволив кількісно оцінити вплив кожного фактора на кінцеву ефективність енергетичного обладнання. Найбільшу чутливість модель показала до змін вологості сировини, температури процесу та нерівномірності добового енергоспоживання.

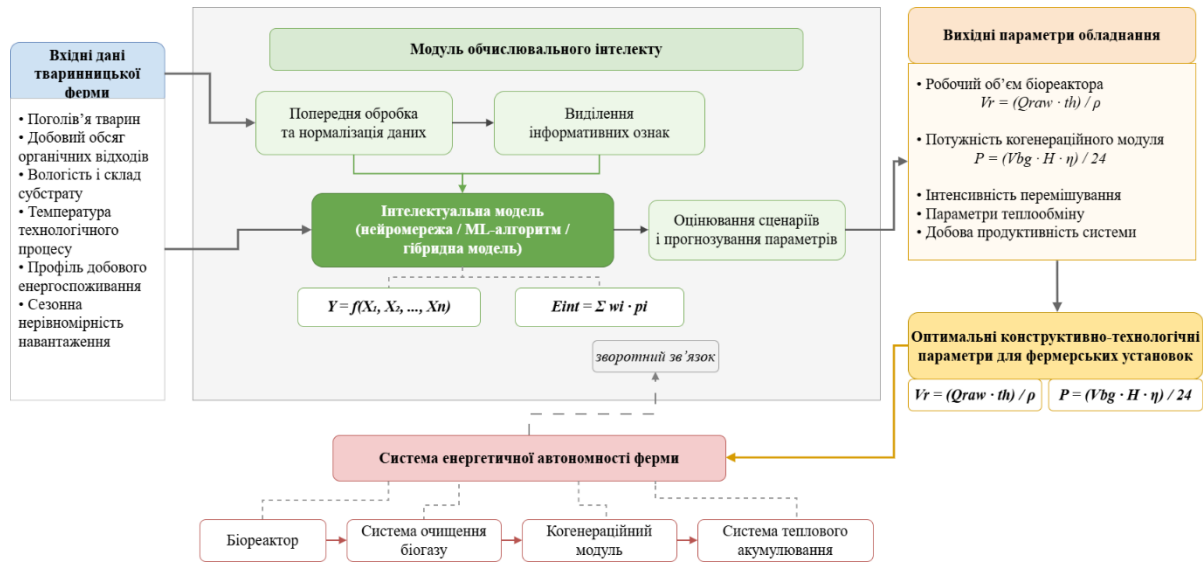


Рис. 1. Структурна схема використання обчислювального інтелекту для обґрунтування параметрів обладнання

На структурній схемі перший блок формують вхідні дані тваринницької ферми, далі розміщується інтелектуальний аналітичний модуль, який виконує оброблення інформації, оцінювання сценаріїв і формування вихідних параметрів обладнання. Завершальний блок містить технічну систему енергетичної автономності, яка включає реактор, систему очищення біогазу, когенераційний модуль і систему теплового акумулювання.

Після визначення оптимальних параметрів модель переходить до технічного етапу розрахунку обладнання. Робочий об'єм біореактора визначається залежністю:

$$V_r = \frac{Q_{raw} \cdot t_h}{\rho}, \quad (3)$$

Де

Q_{raw} – добова кількість органічної сировини; t_h – тривалість гідравлічного утримання; ρ – густина субстрату.

Для ферми середньої потужності встановлено, що за добового надходження 20–22 т органічної маси оптимальний об'єм реактора перебуває в межах 500–540 м³.

Електрична потужність енергетичного модуля визначалася за формулою:

$$P = \frac{V_{bg} \cdot H \cdot \eta}{24}, \quad (4)$$

Де:

V_{bg} – добовий вихід біогазу;

H – теплота згоряння;

η – коефіцієнт корисної дії генератора.

Таблиця 1. Параметри обладнання, отримані на основі інтелектуального моделювання

Параметр	Значення
Робочий об'єм реактора	520 м ³
Потужність когенераційного модуля	80 кВт
Температура анаеробного процесу	37 °С
Частота перемішування	5 циклів/добу
Добовий вихід біогазу	870 м ³

За результатами моделювання встановлено, що раціональна потужність когенераційної установки для досліджуваного типу ферми становить 80 кВт, що забезпечує стабільне покриття технологічного електроспоживання і часткове тепlopостачання виробничих приміщень (табл. 1).

Отримані результати показали, що саме використання методів обчислювального інтелекту дозволяє перейти від стандартного підбору обладнання до адаптивного інженерного обґрунтування, коли конструктивні параметри безпосередньо узгоджуються з реальними виробничими характеристиками конкретної тваринницької ферми

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що використання методів обчислювального інтелекту дозволяє перейти від традиційного нормативного підбору обладнання до адаптивного обґрунтування його конструктивно-технологічних параметрів з урахуванням реальних умов функціонування тваринницької ферми. Побудована інтелектуальна схема аналізу вхідних даних забезпечує узгодження між характеристиками органічної сировини, режимами енергоспоживання та технічними параметрами енергетичної системи, що створює основу для більш точного інженерного проектування. Встановлено, що найбільший вплив на результати моделювання мають добовий обсяг органічних відходів, вологість субстрату, температура технологічного процесу та нерівномірність енергетичного навантаження ферми.

Практичне значення роботи полягає у можливості застосування запропонованого підходу під час розроблення систем енергетичної автономності тваринницьких ферм різної виробничої потужності, коли технічні рішення повинні враховувати не лише паспортні характеристики обладнання, а й змінні виробничі фактори. Запропонована схема може бути використана як основа для подальшого створення цифрових інструментів підтримки прийняття інженерних рішень у галузі галузевого машинобудування, а також для підвищення енергоефективності аграрних підприємств і зменшення їх залежності від зовнішніх енергетичних ресурсів.

Список використаних джерел

1. Moller H. B., Sommer S. G., Ahring B. K. Biogas from manure and energy crops: energy balance and environmental impact. *Bioresource Technology*. 2024. Vol. 398. P. 130214. DOI: 10.1016/j.biortech.2024.130214.
2. Tryhuba A., Bashynsky O., Hutsol T., Rozkosz A. European Green Deal: substantiation of the rational configuration of the bioenergy production system from organic waste. *Energies*. 2024. Vol. 17(17). P. 4513. DOI: 10.3390/en17174513.
3. Mao C., Feng Y., Wang X., Ren G. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable Energy*. 2023. Vol. 216. P. 119045. DOI: 10.1016/j.renene.2023.119045.
4. Zhang Y., Angelidaki I. Anaerobic digestion of livestock manure for renewable energy production: technological advances and practical perspectives. *Bioresource Technology*. 2024. Vol. 390. P. 129980. DOI: 10.1016/j.biortech.2024.129980.
5. Liu T., Sung S., Whitman W. Engineering approaches for sizing anaerobic digestion systems under variable substrate loading conditions. *Applied Energy*. 2023. Vol. 352. P. 121923. DOI: 10.1016/j.apenergy.2023.121923.
6. Tryhuba A., Hutsol T., Bashynsky O., Rozkosz A. European Green Deal: justification of the relationships between the functional indicators of bioenergy production systems using organic residential waste. *Energies*. 2024. Vol. 17(6). P. 1461. DOI: 10.3390/en17061461.

7. Wang J., Li Y., Zhao X., Chen H. Machine learning approaches for predicting biogas production and optimizing anaerobic digestion systems. *Energy Reports*. 2024. Vol. 10. P. 5213–5228. DOI: 10.1016/j.egy.2024.03.118.

УДК 631.3:004.89:628.8

**ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМУ РОЗВИТКУ СИСТЕМ МИТТЯ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ CPS-ПІДХОДУ
JUSTIFICATION OF THE DIRECTION OF DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL
EQUIPMENT WASHING SYSTEMS BASED ON THE CPS APPROACH**

Анатолій Тригуба, Орест Фількін, Андрій Татомир

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З.
Гжицького, Львів, Україна*

Розвиток аграрного виробництва супроводжується зростанням інтенсивності використання сільськогосподарської техніки, що безпосередньо впливає на доцільність підвищення ефективності її технічного обслуговування. Одним із важливих етапів такого сервісного є миття техніки після виконання технологічних операцій, оскільки накопичення ґрунтових залишків, органічних домішок, пилу, мастильних матеріалів та агрохімікатів призводить до прискореного зношування вузлів, погіршення тепловідведення, зниження ресурсу агрегатів і виникнення похибок у роботі сенсорних систем [1, 2].

Існуючі системи миття сільськогосподарської техніки характеризуються різним рівнем автоматизації, масштабованості та адаптивності. Лабораторні рішення, засновані на використанні ультразвукових методів та інфрачервоного контролю зон забруднення, забезпечують достатню точність локального аналізу, однак залишаються складними для інтеграції в реальні виробничі умови. Польові системи, побудовані на PLC-контролерах та візуальному аналізі статичних зображень, дозволяють реалізувати базову автоматизацію процесу, проте мають обмеження щодо адаптації до змінного рівня забруднення поверхонь. Рішення на основі цифрових двійників формують новий рівень прогнозування параметрів процесу, однак характеризуються високою складністю калібрування і значними вимогами до обчислювальних ресурсів. IoT-орієнтовані архітектури розширюють можливості моніторингу, але часто не забезпечують повного замкненого циклу керування.

У зв'язку з цим перспективним напрямом є застосування кіберфізичних систем, у яких поєднуються сенсорні підсистеми, виконавчі механізми, нейромережеві моделі прогнозування та адаптивні алгоритми керування [3]. Такий підхід дозволяє не лише фіксувати поточний стан забруднення, а й у режимі реального часу формувати оптимальний режим миття з урахуванням інтенсивності забруднення, типу поверхні, витрат води та енергетичних ресурсів.

Автоматизоване миття сільськогосподарської техніки є напрямом, що останніми роками викликає зростаючий інтерес через прагнення до ефективності й безпечності виробничих процесів. Традиційні методи передбачають використання ручного миття та миття техніки під високим тиском. Вони є досить поширені, однак характеризуються надмірним споживанням води, нерівномірною якістю миття і високими трудовими витратами [4]. З цією метою вчені пропонують використовувати інфрачервоні й ультразвукові методи для точкового миття (табл. 1), які показують високу ефективність у лабораторних умовах, але залишаються непрактичними для масштабного польового використання [5].

Представлена таблиця 1 узагальнює поточний стан технологій миття сільськогосподарської техніки, підкреслюючи відсутність комплексних CPS-рішень. У наукових працях їх автори усе частіше згадують CPS, що інтегрують сенсори, керування, і аналітичні модулі у єдину платформу. Такі системи успішно застосовуються у процесах прецизійного зрошення [6], моніторингу ґрунту [7],