

## ПЕРСПЕКТИВИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ КУРЯЧОГО ПОСЛІДУ З ПІДСТИЛКОЮ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Розглянуто проблему екологічно безпечної утилізації відходів птахівництва, зокрема курячого посліду з підстилкою. Обґрунтовано доцільність застосування технології анаеробного зброджування для отримання відновлюваного джерела енергії та високоякісних органічних добрив. Проаналізовано фізико-хімічні особливості субстрату та визначено умови оптимізації процесу метаногенезу шляхом додавання ко-субстратів (силосу та стічних вод) для балансування співвідношення вуглецю до азоту. Проведено розрахунок продуктивності біогазової установки: при переробці 213,28 т/добу органічної речовини вихід біогазу становить 44788,8 м<sup>3</sup>/добу. Доведено, що впровадження запропонованої технології сприяє зменшенню викидів парникових газів, вирішенню проблеми неприємних запахів та відповідає принципам циркулярної економіки.*

**Ключові слова:** птахівництво, курячий послід, біогаз, анаеробне зброджування, утилізація відходів, відновлювана енергетика, екологічна безпека.

### **Abstract**

*The thesis examines the problem of environmentally safe utilization of poultry waste, specifically chicken manure with litter. The feasibility of applying anaerobic digestion technology to generate renewable energy and high-quality organic fertilizers is substantiated. The physicochemical characteristics of the substrate are analyzed, and conditions for optimizing the methanogenesis process by adding co-substrates (silage and wastewater) to balance the carbon-to-nitrogen ratio are defined. The biogas plant productivity is calculated: processing 213.28 tons/day of organic matter results in a biogas yield of 44788,8 m<sup>3</sup>/day. It is demonstrated that the implementation of the proposed technology contributes to reducing greenhouse gas emissions, resolving odor issues, and complies with circular economy principles.*

**Keywords:** poultry farming, chicken manure, biogas, anaerobic digestion, waste utilization, renewable energy, environmental safety.

### **Вступ**

Сучасне птахівництво характеризується значними обсягами утворення відходів, зокрема курячого посліду з підстилкою. Накопичення цієї біомаси створює серйозні екологічні загрози: забруднення ґрунтів нітратами, виділення парникових газів та неприємних запахів. Водночас, в умовах глобальної енергетичної кризи та зростання цін на традиційні енергоносії, органічні відходи агропромислового комплексу розглядаються як цінний ресурс. Впровадження технологій анаеробного зброджування (біогазових технологій) дозволяє вирішити подвійну проблему: забезпечити екологічно безпечну утилізацію відходів та отримати відновлюване джерело енергії – біогаз. Тому дослідження процесу рециклінгу курячого посліду з підстилкою шляхом виробництва біогазу є актуальним завданням, що відповідає принципам сталого розвитку та циркулярної економіки [1]. Метою роботи є обґрунтування технології та розрахунок ефективності рециклінгу курячого посліду з підстилкою методом анаеробного зброджування для отримання біогазу та високоякісних органічних добрив.

### **Результати дослідження**

Птахівництво є однією з найбільш динамічних галузей сучасного тваринництва, проте інтенсифікація виробництва неминує призводить до накопичення значних обсягів побічних продуктів. Курячий послід з підстилкою являє собою специфічний вид біомаси, що суттєво відрізняється від безпідстилкового посліду чи гною великої рогатої худоби своїми фізико-хімічними властивостями [1].

Ключовою особливістю цієї сировини є висока концентрація азотовмісних сполук, зокрема протеїнів та сечової кислоти, які в процесі біохімічного розкладу трансформуються в амонійний азот. Хоча азот є цінним елементом для мінерального живлення рослин, його надмірна концентрація в біореак-

торі може спричинити інгібування процесу бродіння через токсичність вільного аміаку для метаногенних бактерій. У цьому контексті наявність підстилкового матеріалу, такого як солома, тирса або лушпиння соняшнику, відіграє позитивну роль, виступаючи важливим вуглецевим ко-субстратом. Підстилка дозволяє збалансувати співвідношення вуглецю до азоту (C/N), оптимізуючи його до рекомендованого рівня 20–30:1, тоді як у чистому посліді цей показник є критично низьким (близько 10:1) [2].

Окрім хімічного складу, важливим технологічним параметром є вологість сировини: оскільки послід з підстилкою зазвичай сухіший за рідкий гній, для забезпечення ефективного масообміну в реакторі необхідне доведення вологості субстрату до 88–92% шляхом додавання води або рідких органічних відходів [3].

Найбільш раціональним методом утилізації такої біомаси є технологія анаеробного зброджування – складний мікробіологічний процес розкладу органічної речовини без доступу кисню, який проходить через стадії гідролізу, ацидогенезу, ацетогенезу та метаногенезу. Ефективність біогазової установки безпосередньо залежить від суворого дотримання технологічних регламентів, насамперед температурного режиму. Для переробки курячого посліду часто рекомендується застосування термофільного режиму (50–55°C), який забезпечує вищу швидкість реакцій та гарантує санітарно-гігієнічну безпеку, знищуючи патогенну мікрофлору, зокрема сальмонелу та яйця гельмінтів. Водночас процес вимагає контрольованого навантаження на реактор для запобігання накопиченню легких жирних кислот («закисленню») та якісного перемішування, що запобігає утворенню плаваючої кірки з легких фракцій підстилки та забезпечує рівномірний розподіл тепла й мікроорганізмів у робочому об'ємі.

Для виробництва біогазу використовується така сировина:

- курячий послід з підстилкою – 460 т/добу з вмістом сухих речовин 52 %;
- флотошлам та стічні води птахофабрики – 160 т/добу з вмістом сухих речовин 4 %;
- силос – 70 т/добу з вмістом сухих речовин 30 %.

Продуктивність біогазової установки визначається таким чином [4]:

$$V_d = A_d \cdot D \cdot K,$$

де  $A_d$  – кількість органічної речовини, кг/добу

$D$  – вихід біогазу з 1 кг органічної речовини;

$K$  – коефіцієнт бродіння.

Вихід біогазу з 1 кг органічної речовини для пташиного посліду приймається рівним 0,6 м<sup>3</sup>/кг. Коефіцієнт бродіння прийнято  $K = 0,35$ .

Визначення кількості органічної речовини:

Маса сухих речовин у курячому посліді з підстилкою становить:

$$460 \cdot 0,52 = 239,2 \text{ т/добу.}$$

Кількість органічної речовини (80 % від сухої речовини):

$$239,2 \cdot 0,8 = 191,36 \text{ т/добу.}$$

Для флотошламу та стічних вод маса сухих речовин дорівнює:

$$160 \cdot 0,04 = 6,4 \text{ т/добу,}$$

а органічної речовини:

$$6,4 \cdot 0,8 = 5,12 \text{ т/добу.}$$

Для силосу маса сухих речовин становить:

$$70 \cdot 0,3 = 21 \text{ т/добу,}$$

а органічної речовини:

$$21 \cdot 0,8 = 16,8 \text{ т/добу.}$$

Загальна кількість органічної речовини, що надходить у біогазову установку, становить:

$$191,36 + 5,12 + 16,8 = 213,28 \text{ т/добу або } 213280 \text{ кг/добу.}$$

Розрахунок продуктивності біогазової установки:

Підставляючи числові значення, отримаємо:

$$V_d = 213280 \cdot 0,6 \cdot 0,35 = 44788,8 \text{ м}^3\text{/добу.}$$

Використання біогазових технологій для переробки курячого посліду з підстилкою забезпечує значний комплексний екологічний ефект, що підтверджується теоретичними положеннями та результатами розрахунків. Згідно з розрахунками, добова продуктивність біогазової установки становить близько 44,8 тис. м<sup>3</sup> біогазу, що дозволяє суттєво зменшити негативний вплив відходів птаківництва на навколишнє середовище.

Анаеробне зброджування курячого посліду забезпечує зменшення викидів аміаку, сірководню та летких органічних сполук у середньому на 70–90 %, що істотно знижує запахове навантаження на територію птахофабрики та прилеглі населені пункти і покращує санітарно-гігієнічні умови.

Біогазова переробка також дозволяє знизити вміст патогенних мікроорганізмів у субстраті на 90–99 %, стабілізувати органічну масу та зменшити ризик вимивання сполук азоту і фосфору в ґрунт і водні об'єкти. Утворений дигестат має нижчу екологічну небезпеку та може безпечно використовуватися як органічне добриво [5].

Використання біогазу з продуктивністю 44,8 тис. м<sup>3</sup>/добу забезпечує уловлювання метану та запобігає його надходженню в атмосферу. Оскільки 1 м<sup>3</sup> метану відповідає 21–25 кг СО<sub>2</sub>-еквіваленту, це дозволяє скоротити викиди парникових газів на десятки тисяч тонн СО<sub>2</sub>-еквіваленту на рік, а також зменшити використання викопного природного газу.

Загалом переробка курячого посліду з підстилкою в біогазових установках відповідає принципам циркулярної економіки, забезпечуючи отримання відновлюваної енергії та вторинної сировини. За такої продуктивності установка може частково або повністю покривати енергетичні потреби підприємства, а використання дигестату дозволяє скоротити застосування мінеральних добрив на 20–30 %, що забезпечує додатковий екологічний та економічний ефект.

### Висновки

Курячий послід з підстилкою є високоенергетичною сировиною, проте вимагає корегування співвідношення вуглецю до азоту (C/N) та вологості. Встановлено, що додавання до субстрату силосу та стічних вод, а також наявність підстилкового матеріалу (солома, тирса), дозволяє оптимізувати процес метаногенезу та уникнути інгібування аміаком.

Розрахунки продуктивності біогазової установки показали високу ефективність запропонованої суміші. При переробці 460 т/добу посліду, 160 т/добу стічних вод та 70 т/добу силосу (загальна маса органічної речовини 213,28 т/добу) вихід біогазу становить 44 788,8 м<sup>3</sup>/добу. Такий обсяг дозволяє підприємству суттєво замінити викопні енергоносії.

Впровадження біогазових технологій забезпечує комплексне вирішення екологічних проблем птахофабрик. Це дозволяє знизити викиди парникових газів (зокрема метану), зменшити неприємні запахи на 70–90% та забезпечити санітарну безпеку відходів шляхом знищення патогенної мікрофлори в термофільному режимі.

Окрім енергетичної автономності, технологія дозволяє отримати цінний побічний продукт – зброджений дигестат, який є високоефективним органічним добривом. Це відповідає принципам циркулярної економіки, замикаючи цикл виробництва та зменшуючи потребу в мінеральних добривах.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Біоенергетика у 2023 році: глобальний статистичний звіт Всесвітньої біоенергетичної асоціації (WBA) [Електронний ресурс] / SAF Україна. – Режим доступу: <https://saf.org.ua/news/1825/>.
2. Друкований М. Ф. Технологія переробки біомаси : навчальний посібник / М. Ф. Друкований, О. С. Яремчук, Л. В. Сосновська. – Вінниця : ВНАУ, 2016. – 432 с.
3. Інноваційні ресурсозберігаючі технології: ефективність в умовах різного фінансового стану агрофор-мувань : монографія / за ред. проф. Г. Є. Мазнева. – Харків : Майдан, 2014. – 592 с.
4. Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи на тему «Обґрунтування технологічних параметрів біогазових установок» з дисципліни «Енергозбереження та експлуатація систем теплозапостачання і вентиляції» / уклад. Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 24 с.
5. Ратушняк Г. С. Шляхи вдосконалення енергоощадних технологій при утилізації органічних відходів в системах біоконверсії / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна, В. В. Джеджула // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. – 2009. – № 659. – С. 151–153.

*Мишук Оксана Володимирівна* — студент групи ТЗД-25м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [misukoksana257@gmail.com](mailto:misukoksana257@gmail.com).

*Кватернюк Сергій Михайлович* — д.т.н., професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [kvaternuk@vntu.edu.ua](mailto:kvaternuk@vntu.edu.ua).

***Oksana Mishchuk V.*** — student of group TZD-25m, Faculty of Civil Engineering, Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: misukoksana257@gmail.com.

***Kvaterniuk Serhii Mykhailovych*** — D.Sc., Professor, Professor of Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kvaternuk@vntu.edu.ua.