

Біоконверсія як засіб зниження негативного впливу сільськогосподарського виробництва на екологічний стан довкілля

Климчик О. М.

Поліський національний університет

Сільське господарство є однією з основних галузей народного господарства, оскільки попит на сільськогосподарську продукцію постійно зростає, в першу чергу внаслідок збільшення чисельності населення. Важливою галуззю агропромислового комплексу є тваринництво, що забезпечує людину необхідними продуктами харчування, а промисловість – сировиною. Проте у зоні тваринницьких комплексів основними екологічними проблемами є забруднення атмосферного повітря сірководнем, аміаком та іншими сполуками, нагромадження патогенних мікроорганізмів тощо.

Наразі сучасні біотехнології переробки відходів тваринництва надають екологічно безпечні способи утилізації відходів тваринницьких комплексів – стоків з тваринницьких ферм, підстилкового гною тощо. Зокрема високий енергетичний потенціал гною дає можливість використовувати його для одержання альтернативного палива – біогазу. Цей напрям утилізації гною в умовах поступового виснаження традиційних енергетичних ресурсів набуває особливо важливого значення.

Одним із шляхів раціонального використання енергії рідкого гною тваринницьких ферм є його метанове зброджування, при якому знешкоджуються стоки, утворюється біогаз і фугат як цінне органічне добриво [265]. Метанове зброджування гнойових стоків відбувається у біогазових установках (БГУ), в яких за рахунок анаеробної біоконверсії тваринницьких відходів, а також рослинних решток одержують біогаз та органічне добриво. Біогаз має всі переваги, що властиві природному газу: він легко транспортується по газопроводах, згоряє без диму й залишку (попелу, шлаку). Слід особливо підкреслити значення БГУ у гарантованому знищенні збудників інфекційних хвороб, що нерідко присутні у гною [266].

Сучасним сільськогосподарським підприємством є СТОВ «Пермога» с. Іванківці Житомирського району, що спеціалізується на вирощуванні хмелю, зернових та розведенні великої рогатої худоби (ВРХ). Проте основні екологічні проблеми у зоні розташування тваринницьких ферм

²⁶⁵ Біоконверсія в управленні агроєкосистемами / Городний Н. М., Тивончук С. А., Бэрри Э. С., Быкин А. В. Київ, 1996. 232 с.

²⁶⁶ Мельничук М. Д., Кляченко О. Л. Біотехнологія в агросфері : навч. посіб. Київ, 2014. 247 с.

підприємства полягають у тому, що інтенсифікація тваринництва потребує правильного використання відходів, які нагромаджуються у великій кількості і здійснюють шкідливий вплив на довкілля [267]. Тому вельми перспективним є застосування безвідходного способу утилізації відходів тваринницьких ферм – біогазової технології [266].

Для невеликих сільськогосподарських підприємств, таких як СТОВ «Перемога», доцільно використовувати метантенки (бродильні камери) з нерухомими перекриттями, діаметром 24 м і загальною висотою 19,6 м [268]. Корисний об'єм метантенка – 5200 м³, перекриття напівсферичні. У верхній частині перекриття розташована горловина діаметром 4 м і висотою 2,5 м. Для збору газу на горловині метантенка встановлені газові ковпаки висотою 3,8 м. Тиск газу в них становить 3–3,5 кПа. Вітчизняний досвід показує, що відношення діаметра метантенка до його глибини має знаходитись в межах 1: 1–1: 0,8 [270].

У разі нормальної роботи реактора отриманий газ містить близько 70 % метану, вуглекислого газу – 40 %, сірководню – до 3 % [269]. Він не має неприємного запаху, а його теплоутворювальна властивість сягає 25 МДЖ/м³. Залишковий продукт синтезу метану містить велику кількість поживних речовин та мікроелементи – такі як фосфор, калій і азот. Ці рештки можна використовувати як добрива.

Установки з об'ємом метантенка від 800 м³ можуть бути побудовані на фермі СТОВ «Перемога» з поголів'ям ВРХ у 200–600 голів. Одним із важливих факторів, що впливають на об'єм біогазу, є вид біомаси, яка зброджується. Для одержання високої рентабельності вміст сухої речовини у гною має становити понад 8–10 %, органіки – 85 % [269]. Тому проектування метантенка БГУ починають із розрахунку добового та річного виходу гнойової біомаси. Добовий вихід безпідстилкового гною визначається як сума екскрементів та кількості води, що надходить з усіх джерел у систему гноевидалення; у випадку утримання тварин з використанням підстилки, враховується її кількість [268].

На фермі даного підприємства практикують два основних способи утримання худоби – прив'язний та безприв'язний. Останній поділяють на вільно вигульний, утримання на глибокій підстилці та комбінований.

Визначимо ефективність біоконверсії гнойової біомаси в біогаз на даному підприємстві у разі утримання на фермі 600 голів ВРХ.

²⁶⁷ Мельник Н. М., Климчик О. М. Оцінка екологічного стану довкілля в межах впливу СТОВ «Перемога» с. Іванківці Житомирської області. *Наука. Молодь. Екологія* : зб. допов. учасників VI-ї наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених. Житомир, 2010. С. 65–66.

²⁶⁸ Агроекологія : навч. посібник / Смаглій Ф.О., Кардашов А.Т., Литвак П.В. та ін. Київ, 2006. 671 с.

²⁶⁹ Никитин Г. А. Метановое брожение в биотехнологии : учеб. пособ. Киев, 1990. 207 с.

Добовий вихід безпідстилкового гною визначаємо [268]:

$$Q_{Гдоб} = (M_{Ej} + B_j) \cdot N_j, \quad (1)$$

де $Q_{Гдоб}$ – добовий вихід гною, т; M_{Ej} – добова маса екскрементів від однієї голови, кг (приймаємо 55 кг); B_j – добова кількість води, яка потрапляє в систему гноєвидалення, кг; N_j – поголів'я тварин, що одночасно утримується на фермі чи комплексі, гол.

Добову кількість води, що потрапляє в систему гноєвидалення, розраховуємо:

$$B_j = K \cdot M_{Ej}, \quad (2)$$

де K – коефіцієнт, який враховує тип конвеєрної системи і розраховується в залежності від добового виходу екскрементів тварин.

Для умов ферми СТОВ «Перемога» приймаємо $K=0,3$ [265]. Добова кількість води, що потрапляє в систему гноєвидалення, дорівнює: $B_j=16,5$ кг, добовий вихід гною становить: $Q_{Гдоб}=33,06$ т.

Добовий вихід гнойової біомаси у разі використання підстилки визначаємо:

$$Q_{ПГ} = (M_{Ej} + B_j + M_{Пj}) \cdot N_j, \quad (3)$$

де $Q_{ПГ}$ – добовий вихід гною, т; M_{Ej} – добова маса екскрементів від однієї голови, кг, B_j – добова кількість води, яка потрапляє в систему гноєвидалення, кг; $M_{Пj}$ – добова маса підстилки на 1 гол., кг. Норми витрат підстилкового матеріалу залежить від способу утримання тварин (для прив'язного способу $M_{Пj} = 1,5$ кг) [268].

Для даної ферми добовий вихід гнойової біомаси з використанням підстилки становитиме: $Q_{ПГ}=43,8$ т.

Річний вихід гнойової маси визначаємо:

$$Q_{Грічн} = Q_{Гдоб} \cdot t, \quad (4)$$

де t – кількість діб у році.

Тоді річний вихід гнойової біомаси становить: $Q_{Грічн}=12066,9$ т.

При стійлово-табірному утриманні з використанням підстилки у приміщеннях і без підстилки у таборах річний вихід гнойової маси розраховуємо [268]:

$$Q_{Грічн}^{cm} = \left[(M_{Ej} + M_{Пj} + B_j) \cdot t_n + (M_{Ej} + B_j) \cdot t_n \right] \cdot \frac{N_j}{1000}, \quad (5)$$

де t – обліковий час, діб: час утримання тварин у приміщенні – t_n (245 діб); у літніх таборах – t_n (120 діб); t – 365 діб.

Тоді для ферми річний вихід гнойової маси при стійлово-табірному утриманні дорівнює: $Q_{Грічн}^{cm}=15879$ т; добовий, відповідно – $Q_{Гдоб}^{cm}=43,5$ т.

Річний вихід гною при стійлово-пасовищному утриманні визначаємо:

$$Q_{Грiчн}^{cn} = \left[(M_{Ej} + M_{Пj} + B_j) \cdot t_{п} + (M_{Ej} + B_j) \cdot 0,3 \cdot t_{п} \right] \cdot \frac{N_j}{1000}, \quad (6)$$

Тоді для ферми річний вихід гною при стійлово-пасовищному утриманні становить: $Q_{Грiчн}^{cn} = 12275,4$ т, добовий – $Q_{Гдоб}^{cn} = 33,63$ т.

На вихід біогазу істотно впливає хімічний склад гнойової біомаси. Оптимальними для вихідної гнойової біомаси є такі фізико-хімічні параметри: концентрація сухої речовини на рівні 8–12 %, вміст органічної речовини – не менше 80 %, рН 6,5–7,5 [269]. Для визначення вмісту сухої речовини в гнойовій біомасі необхідно мати дані щодо вологості гною.

Вологість безпідстилкового гною визначаємо за формулою:

$$W_{Г}^{\sigma} = \frac{W_E + 100z}{1 + z}, \quad (7)$$

де $W_{Г}^{\sigma}$ – відносна вологість гною, %; W_E – відносна вологість екскрементів, %; z – показник, який враховує кількість води, що потрапляє в систему гноєвидалення [268].

Вологість безпідстилкового гною ферми ($z=0,2$): $W_{Г}^{\sigma} = 88$ %.

Вологість підстилкового гною визначаємо за формулою:

$$W_{Г}^{\Pi} = W_E - 0,01 \cdot P_{\Pi} \cdot (W_E - W_{\Pi}) + 0,01 \cdot P_B \cdot (100 - W_E), \quad (8)$$

де $W_{Г}^{\Pi}$ – відносна вологість гною, %; W_E – відносна вологість екскрементів, %; W_{Π} – вологість підстилки (соломи – 19,6 %); P_{Π} , P_B – відсоткове співвідношення в гнойовій масі підстилки і води, %.

Визначення P_{Π} та P_B здійснюємо за наступними формулами:

$$P_B = \frac{B_j \cdot 100}{M_{Ej} + B_j + M_{Пj}}, \quad (9)$$

$$P_{\Pi} = \frac{M_{Пj} \cdot 100}{M_{Ej} + B_j + M_{Пj}}. \quad (10)$$

Тоді $P_B = 20,6$ %, $P_{\Pi} = 2,05$ %;

Тоді вологість підстилкового гною: $W_{Г}^{\Pi} = 87,8$ %.

Вологість гною, який надходить з ферми, розраховуємо:

$$W_{Г} = \frac{(W_1 \cdot 2) + W_2}{3}, \quad (11)$$

де $W_{Г}$ – відносна вологість гною, %; W_1 – відносна вологість гною при підстилковому утриманні, %; W_2 – відносна вологість гною при безпідстилковому утриманні, %.

Тоді вологість гною, який надходить з ферми: $W_{Г}=87,9\%$.

Вміст сухої речовини в гнойовій біомасі визначаємо:

$$P_{аср} = \frac{Q_{Г} \cdot (100 - W_{Г})}{100}, \quad (12)$$

де $P_{аср}$ – вміст абсолютно сухої речовини в гнойовій біомасі; $Q_{Г}$ – вихід гною з ферми (добовий або річний), т; $W_{Г}$ – відносна вологість гною, який надходить з ферми, %.

Вміст сухої речовини в гнойовій біомасі: $P_{аср}=1460,1$ т.

Кількість органічної речовини в гнойовій біомасі, яку одержують від тварин за добу (за рік), визначаємо:

$$Q_{P} = P_{аср} \cdot 0,8, \quad (13)$$

де Q_{P} – добова або річна кількість органічної речовини в гної, кг (т); $P_{аср}$ – добова або річна кількість абсолютно сухої речовини, кг (т).

Тоді кількість органічної речовини в гнойовій біомасі $Q_{P}=1168,08$ т.

Найбільш значущі параметрами системи анаеробного зброджування гнойової біомаси такі: добова продуктивність реактора (метантенка) або його здатність пропускати кількість гною, який виходить з ферми: добовий обсяг завантаження бродильної камери; об'єм реактора БГУ; добовий та річний вихід біогазу, залежно від хімічного складу гнойової біомаси та ін. [269].

Добову продуктивність реактора визначаємо:

$$G_{доб} = \frac{Q_{Грічн}}{t - t_p}, \quad (14)$$

де $G_{доб}$ – добова продуктивність щодо вихідного гною, т/добу; $Q_{Грічн}$ – річна кількість гнойової біомаси, що утворюється на фермі, т; t – кількість діб у році; t_p – тривалість роботи реактора, діб (близько 30 діб).

Тоді продуктивність реактора: $G_{доб}=36,02$ т/добу.

Добовий обсяг завантаження метантенка визначаємо:

$$Q_{доб}^M = \frac{W_{Г1} \cdot Q_{Гдоб}}{W_{Г2} \cdot g_{Г}}, \quad (15)$$

де $Q_{доб}^M$ – добовий обсяг завантаження метантенка, м³; $W_{Г1}$ – відносна вологість гною, який надходить з ферми, %; $W_{Г2}$ – відносна оптимальна вологість гною (88–92 %); $Q_{Гдоб}$ – добовий вихід гною на фермі, т; $g_{Г}$ – питома вага 1 м³ гною при оптимальній вологості, т/м³ (76 т/м³ [268]).

Тоді добовий обсяг завантаження метантенка на даному підприємстві становитиме: $Q_{доб}^M=0,44$ м³.

Рентабельність біогазового виробництва значною мірою залежить від об'єму (місткості) бродильної камери БГУ. При її проектуванні, перш за все, враховується кількість гнойової біомаси, яка підлягає утилізації, та режим роботи БГУ (мезофільний або термофільний):

$$V_K = \frac{Q_{доб}^M \cdot 100}{p \cdot g_k}, \quad (16)$$

де V_K – місткість бродильної камери, m^3 ; $Q_{доб}^M$ – добовий обсяг завантаження метантенка, m^3 ; p – добова доза завантаження, % (для мезофільного процесу – 7%, для термофільного процесу – 15%); g_k – коефіцієнт заповнення камери (у межах 0,8–0,95) [268].

Тоді для умов підприємства $V_K=7,86 m^3$.

Максимальний вихід біогазу на стадії найбільш інтенсивного метаногенезу залежить від хімічного складу біомаси, який визначається видом тварин і відповідно раціоном, який вони одержують. З одного кг сухої речовини гнойової біомаси, внесеної в реактор БГУ, теоретично можна одержати в середньому 0,4–0,6 m^3 біогазу [269]. Враховуючи те, що лише 40–50 % сухої речовини у процесі метаногенезу трансформується в біогаз, реальний вихід біогазу з одного кг сухої речовини гною ВРХ становить у середньому 0,2–0,5 m^3 , за умови, що реактор працює у мезофільному режимі. При ферментації екскрементів від однієї голови ВРХ можна отримати середньодобовий об'єм біогазу – 1,5 m^3 .

Добовий вихід біогазу визначаємо з врахуванням вмісту в гнойовій біомасі сухої (ф. 17) або органічної (ф. 18) речовини:

$$V_{\Gamma} = \frac{P_{аср} \cdot R}{100 \cdot k \cdot \gamma}, \quad (17)$$

де V_{Γ} – добовий або річний вихід біогазу, m^3 ; $P_{аср}$ – добова або річна кількість сухої речовини, кг (т); R – стан розкладання органічної речовини, % (30); k – коефіцієнт розчинності біогазу (1,1–1,5); γ – питома вага біогазу (при вмісті за об'ємом: метану 65 % та діоксиду вуглецю 35 % – дорівнює 0,00117 т/ m^3 або 1,17 кг/ m^3) [268].

Тоді для підприємства СТОВ «Перемога» $V_{\Gamma}=340349,65 m^3$.

$$V_{\Gamma} = P_{аср} \cdot k_p \cdot p_{\delta}, \quad (18)$$

де V_{Γ} – добовий або річний вихід біогазу, m^3 ; $P_{аср}$ – добова або річна кількість сухої речовини, кг; k_p – коефіцієнт зброджування органічної речовини (0,3); p_{δ} – вихід біогазу з 1 кг органічної речовини (гній ВРХ – 0,2–0,5 m^3) [269].

Після зброджування гнойової біомаси та одержання біогазу залишається тверда та рідка фракція гною – шлам і надосадова рідина відповідно. В середньому з одного кг органічної речовини, біологічно розкладеної на 70 %, можна одержати 0,5 кг біогазу, 0,2 кг води і 0,3 кг нерозщепленого залишку шламу [269].

Річний вихід твердої фракції визначаємо:

$$M_{Шрічн} = Q_{Грічн} \frac{W_g - W_{Г}}{W_g - W_{Ш}}, \quad (19)$$

де $M_{Шрічн}$ – річна маса шламу, т; $Q_{Грічн}$ – річний вихід гною, т; W_g – вологість рідкої фракції, % (98–99 %); $W_{Г}$ – вологість гною, що завантажується, % (88–92 %); $W_{Ш}$ – вологість шламу, % (87 %) [265].

Тоді річний вихід твердої фракції $M_{Шрічн}=10969,91$ т.

Добовий вихід шламу визначаємо:

$$M_{Шдоб} = \frac{M_{Шрічн}}{t}. \quad (20)$$

Тоді добовий вихід шламу: $M_{Шдоб}=30,05$ т.

Річний вихід рідкої фракції визначаємо:

$$M_{грічн} = Q_{Грічн} \frac{W_{Г} - W_{Ш}}{W_g - W_{Ш}}, \quad (21)$$

де $M_{грічн}$ – річна маса рідкої фракції, т.

Для даного підприємства $M_{грічн}=1097,0$ т.

Відносну кількість рідкої фракції визначаємо:

$$M_{грічн}^o = \frac{M_{грічн} \cdot 100}{Q_{Грічн}}. \quad (22)$$

Тоді відносна кількість рідкої фракції становить: $M_{грічн}^o = 9,1$ %.

Добовий вихід рідкої фракції визначаємо:

$$M_{гдоб} = \frac{M_{грічн}}{t}. \quad (23)$$

Добовий вихід рідкої фракції становить: $M_{гдоб}=3,0$ т.

Величину теплової енергії, необхідної для підігрівання біомаси, визначаємо:

$$E_{БГУ} = C \cdot Q_{Грічн} \cdot \Delta t, \quad (24)$$

де $E_{БГУ}$ – тепла енергія, потрібна для підігріву гною до температури бродіння, МДж; C – питома теплоємність рідкого гною (4,19 Кдж/кг-град); $Q_{Грічн}$ – річна кількість гною, яка утворюється на фермі, кг; Δt – різниця температури зброджування $t_{збр}$ і температури вихідного гною $t_{г}$, °С ($t_{збр}$

залежить від режиму роботи БГУ, а t_{Γ} гною становить у теплий період року в середньому $+20^{\circ}\text{C}$; в холодний $+10^{\circ}\text{C}$.

Цей показник визначаємо окремо для теплого (245 діб) і холодного періоду (120 діб) [265]:

$$E_{\text{БГУ}_{\text{тн}}} = C \cdot Q_{\text{Гдоб}} \cdot 245 \cdot \Delta t, \quad (25)$$

$$E_{\text{БГУ}_{\text{хн}}} = C \cdot Q_{\text{Гдоб}} \cdot 120 \cdot \Delta t. \quad (26)$$

Тоді $E_{\text{БГУ}_{\text{тн}}}=893098,5$ МДж; $E_{\text{БГУ}_{\text{хн}}}=169091,64$ МДж; $E_{\text{БГУ}_{\text{річн}}} = 1062190,14$ МДж.

Кількість біогазу, необхідного для підігріву біомаси, визначаємо:

$$Q_p^{\circ} = \frac{\sum E_{\text{БГУ}}}{g}, \quad (27)$$

де Q_p° – кількість біогазу, необхідного для підігріву біомаси, м^3 ; g – теплотворна здатність біогазу ($g=22$) [269].

Тоді необхідна кількість біогазу становитиме: $Q_p^{\circ}=48281,37$ м^3 .

Частку біогазу, необхідну для підігріву гною, визначаємо:

$$\eta = \frac{Q_{\Gamma}^{\circ}}{V_{\text{Грічн}}}, \quad (28)$$

де Q_{Γ}° – необхідна кількість біогазу для підігріву біомаси, м^3 ; $V_{\text{Грічн}}$ – річний вихід біогазу, м^3 .

Для БГУ СТОВ «Перемога» $\eta=0,14$.

Максимальний теоретичний коефіцієнт виходу товарного біогазу $K_{\text{тб}}$ визначаємо:

$$K_{\text{тб}} = 1 - \eta. \quad (29)$$

Для БГУ СТОВ «Перемога» $K_{\text{тб}}=0,86$.

Річний обсяг виходу товарного біогазу визначаємо:

$$V_{\text{тб}} = V_{\text{брічн}} \cdot K_{\text{тб}}, \text{ м}^3. \quad (30)$$

Тоді річний обсяг товарного біогазу становитиме: $V_{\text{тб}}=292700,7$ м^3 .

Коефіцієнт ефективності БГУ характеризує енергетичний і техніко-технологічний рівень БГУ:

$$K_{\text{еф}} = \frac{Q_{\text{БГУ}_{\text{повн}}} + E_{\text{БГУ}}}{Q_{\text{брічн}}}, \quad (31)$$

де $Q_{\text{БГУ}_{\text{повн}}}$ – повна теплова енергія, яка виробляється БГУ, МДж, що визначається таким чином:

$$Q_{\text{БГУ}_{\text{повн}}} = V_{\text{Грічн}} \cdot 22, \text{ МДж}; \quad (32)$$

де $E_{БГУ}$ – теплова енергія, необхідна для підігріву гною до температури бродіння, МДж.

Коефіцієнт ефективності БГУ, запроектованої для тваринницької ферми СТОВ «Перемога» становитиме $K_{ef} = 3,23$.

Виконані розрахунки показують, що на базі тваринницької ферми в СТОВ «Перемога» на 600 голів ВРХ можна отримати 32,5 м³ біогазу/год. З нього можна виробити 70 кВт/год електроенергії і тепло для підігріву метантенка; вироблюваної електроенергії буде достатньо для покриття власних потреб господарства.

Таким чином, для умов тваринницької ферми СТОВ «Перемога» с. Іванківці Житомирської області встановлення невеликого метантенку об'ємом 800 м³, який в результаті біоконверсії гнойової біомаси в біогаз утилізуватиме відходи тваринницьких ферм, дасть можливість повністю перероблювати гнійні відходи в добриво та отримувати газ метан, використання якого зменшить власні витрати; дозволить створити незалежні джерела електро- і теплопостачання та отримати високоякісні органічні добрива, а також внести значний вклад у поліпшення екологічної обстановки в зоні впливу підприємства