УДК 631.147:63.002.68

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

Сенчук М.М. канд. техн. наук, доцент кафедри механізації та електрифікації БНАУ

Нині в усьому світі набувають поширення біогазові технології переробки органічних відходів, які дозволяють одночасно вирішити чотири проблеми: екологічну – ліквідація відходів виробництва, енергетичну – отримання палива і енергії, агрохімічну – отримання екологічно чистих добрив і продуктів, підвищення родючості ґрунтів та соціальну – покращення умов праці і побуту населення.

Доступний потенціал біомаси безпідстилкового гною і посліду, придатних для отримання біогазу, складає до 52,1 млн. тонн, а енергетичний потенціал – 1,59 млн. тонн у. п. [1].

Виробництво біогазу з сільськогосподарських відходів здійснюється в багатьох розвинутих країнах світу. Сировиною для виробництва біогазу, який є продуктом анаеробного зброджування органічних відходів, є гній, а також інші види відходів тваринного та рослинного походження і побутові відходи.

На основі аналізу експозицій щорічних міжнародних спеціалізованих виставок сільськогосподарської техніки в містах Ганновер (Німеччина), Брно (Чехія) та Познань (Польща) біогазові установки, які створюються в Європі, можна умовно поділити на три категорії.

До першої категорії належать біогазові установки для фермерських господарств. Таке обладнання розраховане на отримання біогазу з гною, який виробляється в фермерському господарстві, при цьому зброджена маса використовується як органічне добриво, а за рахунок біогазу забезпечуються потреби господарства в опаленні та електроенергії. Установки цього типу складаються, як правило, з резервуарів для попереднього накопичення і

зберігання гнойової маси, біореакторів з системами керування, перемішування та обігрівання, резервуарів для зберігання і подальшої переробки збродженої біомаси, гнойових насосів для завантаження та вивантаження, обладнання для зберігання та транспортування біогазу, а також теплоенергетичного модуля для опалення та виробництва електроенергії .Такі установки вирізняються конструктивною простотою та високим рівнем стандартизації.

Перевагою таких систем є простота, порівняна дешевизна і можливість швидкого переобладнання вже існуючих систем нагромадження і переробки гною в біогазові установки.

До другої категорії слід віднести потужні установки з переробки гною, розраховані як на використання у великих тваринницьких господарствах, так і на задоволення спільних потреб декількох фермерських господарств. На таких біогазових установках, як правило, переробляють гній у суміші з іншими видами органічних відходів, і складаються вони з декількох блоків. Блок попереднього зберігання містить окремі резервуари для гною і органічних відходів і резервуари для гомогенізації біомаси. Біореактори являють собою сталеві резервуари і обладнуються системами автоматичного керування. Зброджена біомаса в подальшому використовується господарствами як органічне добриво, а отриманий біогаз перетворюється на теплову та електричну енергію за допомогою універсального теплоенергетичного модуля. В таких біогазових установках широко застосовуються теплообмінники, в яких тепло вже переробленої маси використовується для попереднього розігрівання вихідної сировини. Анаеробна ферментація гною відбувається здебільше в термофільному режимі через ліпшу відповідність такого зброджування санітарним вимогам. Ефективність такого типу біогазових установок напряму залежить від їх розмірів: чим потужніше підприємство, тим менша вартість переробки кожного кубометра біомаси.

До третьої категорії належать найпотужніші біогазові установки, на яких переробляють органічні відходи різноманітного походження. Ці

установки найбільш технологічно досконалі і дозволяють одержувати біогаз як з рідких, так і з твердих органічних відходів.

В таких установках велика увага приділяється підготовці сировини до зброджування, тому що стан окремих видів органічних відходів не завжди відповідає гігієнічним вимогам. Для підвищення ефективності анаеробної ферментації в деяких випадках додатково передбачають технологічну операцію гідролізу біомаси. Зброджені відходи з великим вмістом сухої речовини можуть, з метою підвищення якості їх як органічного добрива, піддаватися подальшій переробці шляхом аеробного компостування, а рідина утилізуватися після додаткового очищення.

В конструкціях сучасних біогазових установок широко впроваджуються нові технологічні рішення, направлені на підвищення ефективності цієї технології. Так, в технологічному процесі переробки відходів фірма “Ліпп ГмбХ” (Німеччина) застосовує попереднє нагрівання сировини перед зброджуванням до 70 ^{o}C. Цим досягається значна стерилізація субстрату, більш високий вихід і поліпшення якості біогазу, значна дезодорація продуктів зброджування, а також безпосереднє нагрівання біореактора підігрітим субстратом. В інших розробках використовуються після-ферментаційне витримування біомаси в спеціальних резервуарах, коферментація, часткове продування повітрям та інші технологічні рішення.

Вдосконалення конструкцій мікробіологічних реакторів йде в напрямку зниження енергоємкості процесу перемішування субстрату і створення оптимальних умов для нагромадження активної біомаси.

Деякі фірми застосовують в конструкціях біогазових установок реактори горизонтального типу з механічним перемішуванням, але частка таких біореакторів в загальній кількості розроблених і збудованих установок поступово зменшується.

Характерним для багатьох розробок є виготовлення резервуарів різного призначення, що входять до складу біогазових установок, у тому числі і

біореакторів, зі збірних елементів з листового або гофрованого металу з високоякісним антикорозійним покриттям.

Наостанок слід зазначити, що в конструкціях біогазових установок за рубежем широко використовуються найсучасніші конструкційні матеріали, високоефективне теплоенергетичне обладнання та надійні системи автоматичного керування технологічними процесами на базі сучасного комп'ютерного обладнання.

Не дивлячись на широку пропаганду та використання біогазових установок за рубежем, нині в Україні широкого розповсюдження вони не набули. Тому вивчення енергетичних питань переробки рідкого гною в біореакторах є актуальним.

Мета досліджень - встановити основні закономірності енергетичних витрат на процес анаеробного бродіння рідкого гною при використанні біогазової установка для підвищення ефективності її роботи.

Результати досліджень

Рідкий гній, як сировина, отриманий від сільськогосподарських тварин складається в основному із органічних речовин. Органічна речовина складає 60-80 % від загальної кількості сухої речовини. Органічна речовина без доступу повітря під впливом бактерій бродить, в результаті чого виробляється багатий метаном газ, який є результатом обміну речовин бактерій. Газ, що виділяється складається в основному із 65-75% метану та 30 – 35 % вуглекислого газу.

В залежності від температури, при якій проходить бродіння, розрізняють два типи процесу – мезофільний при температурі 30-35 ^{0}С і термофільний – при температурі 50-55 ^{0}С. Термофільне бродіння відрізняється великою інтенсивністю і закінчується приблизно в 2 рази швидше, чим мезофільне.

Органічні відходи, які можуть використовуватися для метанового бродіння, різні. Дані досліджень [2] про виділення біогазу в процесі розпаду

трьох основних груп органічної речовини: жирі, вуглеводів і білків приведені в табл.. 1.

Таблиця – 1. Вихід біогазу і вміст в нім метану при метановому бродінні жирів, вуглеводів і білків

Компонент	Метан, %	Вихід біогазу $м^3$/кг розпаду	Ступінь розпаду речовини
Вуглеводи	50,0-60,0	0,790-0,885	64,0-65,0
Жири	62,0-72,0	1,12-1,43	69,0-70,0
Білки	72,0-84,0	1,44-0,58	47,0-48,0

Питомий вихід біогазу (г/л) можна визначати за формулою [2,3]:

$$Ï_{á} = 0{,}92æ + 0{,}62â + 0{,}34á; \qquad (1)$$

де *ж, в, б* – вміст жирів, вуглеводів і білків на 1 частину сухої органічної речовини (СОР).

При метановому бродінні одним із важливих факторів є відношення C/N.

Якщо відношення C/N в гної достатньо велике, то недостаток азоту буде служити фактором, який уповільнює процес метанового бродіння. Якщо указане відношення достатньо мале, то виділяється така кількість ам’яку, що він негативно впливає на розвиток бактерій.

Органічні відходи (вихідна сировина для метанового бродіння) мають різні відношення C/N і відрізняються великою різновидністю, часто вони бувають не оптимальними для процесу (табл. 2).

Таблиця 2 – Відношення C/N в сільськогосподарських відходах, які поступають на переробку [4].

Відходи	C/N	Відходи	C/N
Свинячий гній	4-15	Кінський гній	25
Гній ВРХ	9-18	Силосний сік	10
Гній дійних корів	18-19	Пташиний послід	7-15
Суміш відходів бойні	2	Сеча	0,8
Кров	3	Рисові стебла	83,5
Солома	4,8-150	Сира стружка	208
Відходи льону	56		

Для досягнення оптимального відношення C/N змішують різні відходи і отримують більш високу продукцію биогазу (табл.. 1.3).

Таблиця 3 - Вихід біогазу [4].

Відходи	Вихід біогазу, $м^3$/кг СОР	Вміст метану. %	Збільшення продукції, %
Гній ВРХ	0,380	52	-
Свинячий гній	0,569	77,5	-
Кінський гній	0,250	60	
Пташиний послід	0,617	79,2	-
Силосні відходи	0,250	84,0	-
Солома	0,342	58,0	-
Бур'ян	0,277	64,0	-
Гній ВРХ + свинячий гній (1:1)	0,510	60	7,0
Гній ВРХ + бур'ян (1:1)	0,363	55	5,0
Гній ВРХ + пташиний послід (1:1)	0,528	55	6,0
Свинячий гній + куриний послід + гній ВРХ	0,585	62	11

Вважається, що для тваринницьких відходів процес метанового бродіння протікає при вологості субстрату від 90 до 97 %.

Дослідженнями встановлено, що оптимальне значення pH для метаноутворюючих бактерій знаходиться в межах 6,4 – 7,5 і що дані бактерії дуже чутливі до зміни цього показника.

На практиці оптимальну тривалість бродіння вибирають в залежності від температури в наступних інтервалах: при 10-25 ^{0}C - до 30 діб, при 25-40 ^{0}C – від 10 до 20 діб, при 40-60 ^{0}C – від 8 до 4 діб [5].

Технолгічний розрахунок параметрів біореактора (метантенка) проводять, виходячи із кількості гною, який підлягає переробці:

$$G = G_e + G_b, \qquad (2)$$

де G_e – кількість екскрементів, кг

G_b – витрата води на технологічні потреби, кг

Кількість екскрементів від різних груп тварин розраховують за формулою:

$$G_e = A_1 a_1 + A_2 a_2 + ... + A_n a_n, \qquad (3)$$

де A_1, A_2, ... A_n – число тварин по видах;

a_1, a_2 ...a_n – кількість екскрементів на добу від однієї голови.

Витрата води на технологічні потреби:

$$G_в = A_1 в_1 + A_2 в_2 + ... + A_n в_n, \qquad (4)$$

де $в_1$, $в_2$ ...$в_n$ – кількість екскрементів на добу від однієї голови.

Таблиця 4. Середня маса экскрементів, які виділяють різні за віком группи тварин і птиці [6].

Групи тварин	Вихід на І голову, кг за добу		
	кал	сеча	всього
Корови	35	20	55
Нетелі	20	7	27
Молодняк на відгодівлі, місяців			
12	14	12	26
9	10	9	19
6	10	5	15
Телята до 6 месяців	5	2,8	7,5
Свині			
Свиноматки дорослі	3,1	3,0	6,1
Поросята 2- місячн.	0,8	2,5	3,3
3-4 міс.	1.4	2,2	3,5
Підсвинки 6-міс.	1,6	2,6	4,2
Свині на відгодівлі	1,5	3,5	5,0
Кури			
яйценосні репродуктивного стада	-	-	0,189
яйценосні промислового стада			0,175
м’ясні кури репродуктивного стада			276…0,300
Індики			0,450
Качки			0,423
Гуси			0,594
Молодняк яйценосних м’ясних курей			0,097…0,188
Бройлери в клітках			0,135
Бройлери на підлозі			0,158

Таблиця 5 - Добові норми споживання води на 1 голову для комплексів і ферм великої рогатої худоби, л [6].

Група тварин	Гаряча вода	Холодна вода	Всього
Корови:			
молочні	15	85	100
м’ясні	-	70	70
Бички та нетелі	5	55	60
Телята	2	18	20
Молодняк	2	28	30

Таблиця 6 - Добові норми споживання води на 1 голову для свиноферм, л [6].

Група тварин	Напування	Технологічні потреби	Всього
Кнурі-плідники	10	15	25
Матки:			
порісні	12	13	25
холості			
підсосні	20	40	60
Порята відлучені	2	3	5
Ремонтний молодняк	6	9	15
Свині на відгодівлі	6	9	15

Таблиця 7- Початкова вологість екскрементів тварин і птиці [6].

Вид тварин і птиці	Вологість, %		
	кал	сеча	суміші екскре-ментів
Велика рогата худоба	83-64	94,8-95	86-87
Свині	76-78	94-95	87-68
Вівці	67-69	94-35	74-75
Коні	71-72	95-96	77-79
Кури	-	-	73-76
Індики	-	-	73-76
Качки, гуси	-	-	83-65

Безпідстилковий послід , який отримують при клітковому утриманні курей містить 75...80 % води

Таблиця 8 - Властивості безпідстилкового гною (Заїка, 2002) [7].

Вологість ,%	Гній свиней			Гній дійних корів		
	Щільність, км/м^3	В'язкість, Па·с	Межа текучості, Н/м^2	Щільність, км/м^3	В'язкість, Па·с	Межа теку-чості, Н/м^2
86	1054,4	0,90	66	1034,2	4,6	140
87	1050,4	0,80	50	1032,2	4,0	100
88	1046,4	0,60	38	1029,6	3,6	70
89	1042,4	0,40	32	1026,9	3,0	45
90	1038,4	0,30	30	1024,4	2,4	27
91	1034,4	0,24	10	1021,8	1,6	18
92	1030,3	0,20	1,8	1019,1	1,4	11
93	1026,3	0,18	1,6	1016,5	1,1	9

94	1022,3	0,10	0,9	1013,9	0,9	7
95	1018,5	0,02	-	1011,3	0,7	-
96	1014,3	-	-	1008,7	0,2	-

Таблиця 9 - Питома теплоємкість складових частин гною (Заїка, 2002) [7].

Речовина	Вміст сухої речовини, %	Питома теплоємність, кДж/(кг· К)
Вода	0	4,20
Сеча	4,35	3,27
Рідкий гній	9,49 – 13,8	2,99 – 2,77
Кал	15,34	1,73

Вологість гною ω, який надходить із ферми:

$$\omega = \frac{G_e \omega_e + G_b \omega_b}{G_e + G_b}, \qquad (5)$$

де ω_e – середня вологість екскрементів, %;

$\omega_в$ – вологість технічної води, %.

Вміст абсолютно сухої речовини в гної визначають за формулою:

$$P_c = \frac{G(100 - \omega)}{100}. \qquad (6)$$

З умови, що в середньому в гної міститься до 20% неорганічних речовин, кількість сухої органічних речовин у масі гною визначається за формулою

$$Ð_l = 0{,}8Ð_ñ. \qquad (7)$$

Кількість біогазу (м^3), який отримують у процесі бродіння гною, визначається за формулою:

$$W = P_o k_o k_b, \qquad (8)$$

де $к_о$ – коефіцієнт розкладання органічної речовини ($к_о$=0,3);

$к_в$ – віхід біогазу при розкладанні 1 кг органічної речовини ($к_в$=0.7 м^3/кг).

Об’єм біореактора (м^3) визначаємо за формулою:

$$V = \frac{GT}{k}, \qquad (9)$$

де T – тривалість бродіння, діб;

$к$ – коефіцієнт завантаження біореактора ($к$=0,9).

На практиці тривалість бродіння вибирають залежно від температури в наступних інтервалах: при 10 – 25 ^{o}С – 30 діб, при 25 – 40 ^{o}С – від 10 до 20 діб, при 45 – 60 ^{o}С – від 8 до 4-х діб.

Загальні втрати тепла становлять:

$$Q_í = Q_o + Q_b + Q_a, \qquad (10)$$

де Q_0 – втрати тепла в тепломережі, кДж;

Q_b – тепло, яке необхідне для підігріву рідких відходів до температури технологічного процесу, кДж;

Q_a – втрати тепла в біореакторі , кДж;

Слід відмітити, що втрати тепла в тепломережі за результатами досліджень складають до 1 %, тому при проведенні аналізу їх можна не враховувати.

Необхідна кількість теплоти для підігрівання гною, який потрапляє в біореактор, розраховується за формулою:

$$Q_b = Cm\Delta t_{í}\,, \qquad (11)$$

$$\Delta t_{í} = t_1 - t_{â},$$

де C – питома теплоємність гною, кДж/кг · град, C = 2,99 кДж/кг · град (табл. 9) ;

t_1 – температура технологічного процесу, °С ;

$t_в$ – температура гною, °С;

m – маса гною (продуктивність за добу), кг

Витрати теплоти визначаються за формулою, кДж:

$$Q_a = 0{,}001 \cdot \frac{\Delta t_{â}\tau F_c}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_1^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \qquad (12)$$

де $\Delta t_{â} = t_1 - t_{à}$

λ_i – коефіцієнт теплопровідності, кДж/кг °С для металу приймається 45 Вт/м град; скловата 0,037 Вт/м град;

δ_i - товщина стінки, м

t_a – розрахункова температура навколишнього середовища, ^{0}С

F_c – загальна площа поверхні біореактора, м^2;

τ – розрахунковий період, с, τ = 24 год = 86400 с

α_1, α_2 – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м^2 град, для рідини при природній конвекції α_1 = 116, 3-1163 Вт/м^2 град; для газів при природній конвекції α_2 = 5,82-34,9 Вт/м^2 град [8].

Для проведення енергетичної оцінки біогазової установки необхідно враховувати витрати енергії на її виготовлення та встановлення [9, 10]

$$Q_{â} = 24qm \qquad (13)$$

де q – енергетичний еквівалент на 1 кг маси обладнання, кДж/кг·год; (рекомендується приймати 32000 кДж/кг·год;

m – маса обладнання, кг;

24 – кількість годин в добі, год.

Коефіцієнт виходу товарного біогазу розраховуємо за формулою:

$$\eta_b = 1 - \frac{n}{W}\,, \qquad (14)$$

де W – добовий вихід біогазу, м^3/добу,

n – кількість біогазу необхідного для підтримання технологічного процесу, м^2;

$$n = \frac{Q_{í}}{q_{á.ã.}\eta}, \qquad (15)$$

де $q_{á.ã.}$ - чиста теплотвірна властивість біогазу, кДж/м^3, $q_{á.ã.}$ = 23000 кДж/м^3;

η – коефіцієнт корисної дії котла,

$$W = G \cdot 0{,}8 \cdot \frac{(100-\omega)}{100} v_{á.ã} q_{á.ã.} \qquad (16)$$

де $v_{á.ã}$ - вихід біогазу м^3/кг СОР;

Коефіцієнт енергетичної ефективності біогазової установки

$$\eta = \frac{W \cdot q_{á.ã.}}{Q} \qquad (17)$$

де $Q = Q_{í} + Q_{â}$

Біогазава установка вважається енергетично ефективною при η › 1

Висновки

Подані вище методичні основи розрахунку біогазових установок дають можливість проводити розрахунки, необхідні для ефективного їх використання.

Л І Т Е Р А Т У Р А

1. Концепція розвитку біоенергетики в Україні / Ін-т технічної теплофізики НАН України, НТЦ “Біомаса”, ТО “Енергія майбутнього століття”. – К., 2001.- 14 с.

2. Бистру Э., Шмите И., Жилевич А. «Биотехнология» - Рига, 1987 – 290 с

3. Баадер В., Доне Е., Брандарфер М. «Биогаз». Теория и прауктика – М., Колос., 1982.

4. Дубровский В.С., Виестур У.Э. Метановое сбраживание сельскохозяй-ственных отходов, Рига, «Знание», 1988 – 230 с.

5. Отчет о НИР «Провести исследования и обосновать технологические режимы замкнутого безотходного производства продуктов анаэробного сбраживания навоза в биогазовых установках второго поколения № гос. регистрации 01890045840 (В.А. Ермоленко, В.С. Таргоня, Г.м, Осьмак и др.) Дослиднецкое 1991 – 395 с.

6. Линник Н.К. Технологии и средства механизации использования органических удобрений в условиях интенсивного земледелия Украины Дис. раб. докт.с.-г. наук, - Глеваха: ИМЕСГ. 1994. – 378 с.

7. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 1 (ч.3). Машини для приготування і внесення добрив.- Харків: Око. 2002.- 352 с.

8. Дозорець М.П. Основи теплотехніки і теплопостачання тваринницьких ферм.- К.: Вища школа, 1973. – 256 с.

9. КНД 46.16.02.11-95. Техніка сільськогосподарська. Випробування. Методи виз-начення біоенергетичної ефективності машин для рослинництва. Введ. 01.04.96.- Дослідницьке: УкрНДПТВТ, 1995.-24с.

10. Медведовський О.К., Іваненко І.П. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві.-К.: Урожай,1988.- 208 с.

Аннотация

Сенчук Н.Н.

ПОВЫШЕНИЕ ЕФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Дано анализ биогазових установок которие используються на животноводческих фермах. Рассмотрены возможные пути повышения эффективности биогазовых установок. Поданы методические основы расчета биогазовых установок.

Annotation

Senchuk M.M.

Improving the efficiency of the biogas plant

The analysis of biogas plants that are used on livestock farms is given. Possible ways to increase the efficiency of biogas plants are considered. The methodological foundations of calculating biogas plants are presented.