

УДК 631.333.92 : 631.22.018

АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТАНТЕНКА

Скляр О.Г., к.т.н.,

Скляр Р.В., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Телефон: (0619) 42-05-70

Анотація – в роботі представлено методику теплового та термодинамічного розрахунків метантенку, також наведено аналіз його роботи.

Ключові слова: біогаз, метантенк, субстрат, ефлюент, коефіцієнт тепловіддачі, втрати теплоти, ексергія.

Постановка проблеми. Розвиток тваринницького підприємства на інноваційній основі припускає виробництво конкурентоздатної продукції за технологією, що забезпечує, визначену цією технологією, собівартість продукції. Втримання підвищення собівартості продукції можливо при вирішенні на тваринницьких підприємствах, перш за все, двох проблем – енергетичною і екологічною, що потребує використання певних технологій.

Застосування технології метанізації органічних відходів на основі анаеробної їх переробки в сільськогосподарському виробництві дозволяє вирішити не тільки екологічні проблеми, що встають перед тваринницькими підприємствами, але і збільшити його рентабельність за рахунок отримання високоякісних органічних добрив і біогазу, придатного для отримання електричної та теплової енергії.

Проте, не дивлячись на перераховані переваги технологія анаеробної переробки органічних ресурсів тваринницького підприємства ще не знайшла широкого застосування. Це обумовлено наступними чинниками: низькою продуктивністю процесу метаногенерації і, як слід, високою вартістю біогазового обладнання. При цьому низьку продуктивність процесу зброджування обумовлено недостатньою енергетичною насиченістю субстрату із-за недосконалого технологічного процесу видалення і зберігання цінного органічного ресурсу. Разом з тим, а це є головним, на сьогодні не вирішено проблему визначення енергетичного балансу між органічною сировиною, біогазом і органічними добривами.

Відсутність достовірних даних про енергетичний баланс системи «грунт – корм – тварина – органіка - грунт» і методології обґрунтування параметрів цієї системи методом енергетичної оцінки не дозволяє об'єктивно судити про наявність проблеми ефективного використання органічних ресурсів тваринницьких об'єктів як основного матеріалу підвищення середоформуючих і ресурсопродуючих функцій екосистеми.

Аналіз останніх досліджень. Біогаз утворюється в результаті розкладання бактеріями органічної субстанції. Бактерії розкладають органічні субстрати, що складаються переважно з води, білка, жиру, вуглеводів і мінеральних речовин на їх первинні складові - вуглекислий газ, мінерали і воду [1]. Як продукт обміну речовин, при цьому утворюється суміш газів, яка отримала назву біогаз. У цій суміші, вміст метану (CH₄) коливається від 5 до 85 %, і він є основним компонентом біогазу, а значить і основним компонентом, що містить енергію[2,3].

Формулювання цілей статті. Аналіз та визначення енергетичної ефективності метантенка біогазової установки.

Основна частина. Метантенк – це найбільш енергоємний апарат в технологічній схемі біогазової установки. Проаналізуємо енергетичну ефективність циліндричного метантенка.

Площа поверхні метантенка з плоским покриттям і днищем, м², можна визначається за наступною формулою

$$S_p = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h + 2 \cdot \pi \cdot r^2,$$

де r – радіус метантенку, м;

h – висота метантенку, м.

Показник (темп) охолодження органічного субстрату

$$m = \frac{S_p \cdot k_p \cdot \tau_p}{G_p \cdot c_p},$$

де k_p - коефіцієнт теплопередачі від субстрату в повітря, Вт/(м²·К);

G_p – маса субстрату в метантенку, кг;

c_p – теплоємність субстрату, Дж/кг·К.

Розрахуємо ймовірну температуру субстрату, °С, в реакторі метанового бродіння за формулою

$$t_x = t_{o.cp.} + (t_c'' - t_{o.cp.}) / \exp(m),$$

де $t_{o.cp.}$ - температура зовнішнього середовища, °С;

t_c'' - температура субстрату, °С.

Середня температура субстрату, °С, в реакторі за період підігріву τ

$$\bar{t}_{c.p.} = \frac{t_c'' - t_x \cdot \exp(-m)}{1 - \exp(-m)} - \frac{t_c'' - t_x}{m}.$$

Знаходимо кількість теплоти, кДж, необхідну для розігріву субстрату в метантенку от t_x до t_c''

$$q_{\text{под}} = G_p \cdot c_p \cdot (t_c'' - t_x).$$

Обчислимо втрати теплоти в навколишнє середовище. Для цього задаємося середнім за період підігріву значенням температури стінки метантенка $\bar{t}_{\text{ст.}}$.

Знаходимо теплофізичні характеристики субстрату при $\bar{t}_{\text{с.р.}}$:

- щільність субстрату, кг/м³,

$$\rho_c = 1015,12 - 0,046 \cdot \bar{t}_{\text{с.р.}};$$

- теплоємність субстрату, Дж/(кг·К)

$$c_{p,c} = 4106,16 - 0,00269067 \cdot \bar{t}_{\text{с.р.}}^2;$$

- кінематична в'язкість субстрату, м²/с

$$v_c = \frac{\mu_c}{\rho_c},$$

де μ_c – динамічна в'язкість субстрату, Па·с.

Визначимо теплофізичні характеристики субстрату при $\bar{t}_{\text{ст.}}$:

- щільність субстрату, кг/м³,

$$\rho_c' = 1015,12 - 0,046 \cdot \bar{t}_{\text{ст.}};$$

- теплоємність субстрату, Дж/(кг·К)

$$c_{p,c} = 4106,16 - 0,00269067 \cdot \bar{t}_{\text{ст.}}^2;$$

- кінематична в'язкість субстрату, м²/с

$$v_c' = \frac{\mu_c}{\rho_c}.$$

Знаходимо коефіцієнт тепловіддачі α_{1cm} , Вт/(м²·К), від субстрату в метантенку до стінки при $\bar{t}_{\text{с.р.}}$ і $\bar{t}_{\text{ст.}}$ наступним чином

$$\alpha_{1cm} = 0,5 \cdot \frac{\lambda_c}{d} \cdot (\text{Gr}_c \cdot \text{Pr}_c)^{0,33} \cdot \left(\frac{\text{Pr}_c}{\text{Pr}_{c,\text{ст}}} \right)^{0,25},$$

де λ_c – теплопровідність субстрату, Вт/(м·К);

d – товщина стінки метантенку, м;

$$\text{Pr}_c = \frac{v_c \cdot c_p \cdot \rho_c}{\lambda_c},$$

$$\text{Gr}_c = \frac{d^3 \cdot g \cdot \beta \cdot \Delta t}{v_c^2},$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²;

β – коефіцієнт об'ємного розширення субстрату, 1/°С

$$\Delta t = \bar{t}_{\text{с.р.}} - \bar{t}_{\text{ст.}},$$

$$\text{Pr}_{c.ст} = \frac{v'_c \cdot c_p \cdot \rho'_c}{\lambda_c}$$

Для того, щоб розрахувати коефіцієнт тепловіддачі α_{2cm} , Вт/(м²·К), від стінки резервуара в навколишнє повітря конвекцією при швидкості вітру w , м/с, знаходимо число $\text{Re}_{пов}$ наступним чином

$$\text{Re}_{пов} = \frac{w \cdot d}{v_{пов}}$$

де $v_{пов}$ - кінематична в'язкість повітря, м²/с.

$\text{Re}_{пов}$ повинно бути більше за $5 \cdot 10^4$. Якщо ця вимога виконується, то розрахункові коефіцієнти дорівнюють $C = 0,023$ і $n = 0,8$, то визначаємо коефіцієнт тепловіддачі за формулою

$$\alpha_{2cm} = 0,023 \cdot \frac{\lambda_{пов}}{d} \cdot \text{Re}_{пов}^{0,8}$$

Для розрахунку коефіцієнт тепловіддачі від стінки метантенку в навколишнє повітря α_{3cm} , Вт/(м²·К), за допомогою радіації можна прийняти

$$\alpha_{3cm} = 2\alpha_{2cm}$$

Знаходимо коефіцієнт тепловіддачі k_p , Вт/(м²·К), від субстрату крізь стінки метантенку в повітря

$$k_p = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1cm}} + \frac{1}{\alpha_{2cm} + \alpha_{3cm}}}$$

Визначаємо теплові втрати в навколишнє середовище, кВт,

$$Q_{пот} = S_p \cdot k_p \cdot (t_{с.р.} - t_{о.ср.})$$

Для стаціонарного нагрівача час, необхідний для підігріву субстрату в метантенку від ймовірної температури субстрату t_x до температури t_c''

$$\tau = \frac{q_{под}}{i_b \cdot G_b - Q_{пот}}$$

де i_b - ентальпія мережевої води, кДж/кг

G_b - витрата мережевої води при стаціонарному підігріві метантенка, кг/с.

Визначаємо середню кількість теплоти $Q_{под2}$, кВт, яка передається субстрату в процесі метанового бродіння в метантенку з системою механічного перемішування

$$Q_{под2} = \frac{q_{под}}{\tau} + Q_{пот}$$

Тепловий ККД метантенку

$$\eta_p = \frac{Q_{под2} - Q_{пот}}{Q_{под2}}$$

Термодинамічний розрахунок і аналіз роботи метантенку.

1) Вибір параметрів навколишнього середовища і визначення допоміжних розрахункових величин.

1. Необхідно задатися температурою і тиском навколишнього середовища для зимового періоду роботи біогазової установки T_0 , К; P_0 , Па.

2. Розрахунки при наступних допущеннях. Перемішувачий пристрій представляє собою мішалку з плоскими лопатями з сталі, встановленими перпендикулярно до напрямку їх руху. Мішалка складається з трьох пар лопатей, розташованих під гострим кутом відносно один одного. Лопаті закріплено на валу накладками на болтах і на шпонках.

Ефективність процесу метанового бродіння при мезофільному режимі

$$\eta_{\text{эф}} = \frac{100 - (-200 \cdot (-1,5/T_{\text{пр}}))}{100},$$

де $T_{\text{пр}}$ – тривалість процесу метанового бродіння, діб.

Вихід біогазу розраховуємо за формулою

$$G_{\text{бг}} = G_{\text{орг.суб}} \cdot \omega'_{\text{сух.р}} \cdot \omega_{\text{орг.р}} \cdot \omega_{\text{беззол.р}} \cdot \eta_{\text{эф}},$$

де $G_{\text{орг.суб}}$ – масова витрата органічного субстрату, кг/с;

$\omega'_{\text{сух.р}}$ – вміст сухої речовини в субстраті;

$\omega_{\text{орг.р}}$ – вміст в сухій речовині органічної речовини;

$\omega_{\text{беззол.р}}$ – вміст беззольної речовини в органічній речовині.

2) Визначення суми ексергії, що підводиться до метантенку.

1. Визначаємо ексергію, кВт, що підводиться до реактору метанового бродіння з субстратом.

Хімічна ексергія основного потоку субстрату

$$E'_{\text{Рсуб}}{}^{\text{хим}} = G_{\text{орг.суб}} \cdot Q_{\text{сг}}^{\text{н}} \cdot \omega'_{\text{сух.р}},$$

де $Q_{\text{сг}}^{\text{н}}$ – нижча теплота згоряння ефлюенту, Дж/кг·К.

Теплова ексергія основного потоку субстрату

$$E'_{\text{Рсуб}}{}^{\text{тепл}} = \frac{G \cdot c'_p \cdot \left(T'_{\text{Рсуб}} - T_0 - T_0 \cdot \ln \frac{T'_{\text{Рсуб}}}{T_0} \right)}{1000 \cdot \tau_{\text{стац}}},$$

де G – маса підігріваного органічного субстрату, кг;

c'_p – теплоємність субстрату на вході в метантенк, Дж/(кг·К);

$T'_{\text{Рсуб}}$ – температура субстрату на вході в метантенк, К;

$\tau_{\text{стац}}$ – час роботи стаціонарного нагрівача, с.

2. Визначаємо ексергію, кВт, що підводиться з мережевою водою

$$E'_{P_{вод.}} = G_{в.} \cdot c_{p.в} \cdot \left(T'_{P_{вод.}} - T_0 - T_0 \cdot \ln \frac{T'_{P_{вод.}}}{T_0} \right) \cdot 10^{-3},$$

де $c_{p.в}$ - питома теплоємність води, Дж/кг·К;

$T'_{P_{вод.}}$ - температура води в стаціонарному нагрівачі на вході, К.

3. Потужність, Вт, яка підводиться до метантенку, визначається, виходячи з потужності механічного перемішуючого пристрою

$$L_p = 60 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{\varphi \cdot z}{\eta} \cdot S \cdot D^3 \cdot n^3 \cdot \rho,$$

де φ - коефіцієнт, що залежить від форми лопаті мішалки;

z - число пар лопатей мішалки;

η - механічний ККД передаточного механізму;

S - площа лобової поверхні лопаті, яка витісняє рідину, м²

$$S = b \cdot h \cdot \sin \omega,$$

де b - довжина (виліт) лопаті, м;

h - висота лопаті, м;

ω - кут нахилу лопаті до напрямку руху, град.

D - діаметр кола, який окреслюється лопаттю мішалки, м;

n - частота обертання мішалки, об./хв.;

4. Визначаємо суму ексергій, кВт, на вході в метантенк

$$E_{вх}^P = E'_{P_{суб}}^{хим} + L_p + E'_{P_{вод.}} + E'_{P_{суб}} + E_{вх}^{TO},$$

де $E_{вх}^{TO}$ - тепла ексергія, відведена від теплообмінника з субстратом, кВт.

3) Визначення суми ексергії на виході з метантенку.

1. Визначаємо ексергію ефлюенту, кВт,

$$E''_{P_{суб}}^{хим} = G_{эфф} \cdot Q_{сг.эф}^H \cdot \omega''_{сух.р},$$

де $G_{эфф}$ - витрата ефлюенту, кг/с;

$Q_{сг.эф}^H$ - нижча теплота згоряння, Дж/кг·К;

$\omega''_{сух.р}$ - вміст сухої речовини в ефлюенті.

2. Визначаємо кількість ексергії, кВт, що відводиться від метантенка з гарячою мережевою водою в одиницю часу

$$E''_{P_{вод.}} = G_{в.} \cdot c_{p.в} \cdot \left(T''_{P_{вод.}} - T_0 - T_0 \cdot \ln \frac{T''_{P_{вод.}}}{T_0} \right) \cdot 10^{-3},$$

де $T''_{P_{вод.}}$ - температура води в стаціонарному нагрівачі на виході, К.

3. Визначаємо ексергію біогазу, кВт,

$$E_{P_{бг}}^{хим} = 0,975 \cdot G_{бг} \cdot Q_n^б,$$

де $Q_n^б$ - нижча теплота згоряння біогазу, Дж/кг·К.

4. Визначаємо суму ексергій, кВт, на виході з метантенку

$$E_{вх}^P = E_{P_{бг}}^{хим} + E''_{P_{вод.}} + E''_{P_{суб}}^{хим}$$

4) Визначаємо ексергетичний ККД

$$\eta_p = \frac{E_{\text{вих}}^P}{E_{\text{вх}}^P}$$

Висновок. В результаті енергетичної ефективності метантенка нами обрано параметри навколишнього середовища та отримані залежності теплового балансу в метантенку; ефективності процесу метанового бродіння при мезофільному режимі; суми ексергії, що підводиться до метантенку.

Список використаних джерел.

1. Скляр О.Г. Аналіз методів визначення часу перебування та навантаження на метантенк/ О.Г. Скляр, Р.В. Скляр //Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. - Вип. 148. – С. 405-412.

2. Skliar A. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant/ A. Skliar, R. Skliar// Motrol: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa – Lublin, 2014 - Vol.16. - No2. - 183-188.

3. Баадер В. Биогаз: теория и практика/ В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. - М.: Колос, 1982. – 148 с.

4. Руководство по биогазу. От получения до использования/ Агенство по возобновляемым ресурсам.- 5-е изд., перераб. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://escoecosys.narod.ru/2012_9/art272.pdf.

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТАНТЕНКА

Скляр А.Г., Скляр Р.В.

Аннотация

В работе представлена методика теплового и термодинамического расчетов метантенка, также наведен анализ его работы.

ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY DIGESTERS

A. Skliar, R. Skliar

Summary

In this paper the technique of thermal and thermodynamic calculations of the digester also imposed an analysis of his work.