

УДК 631.2:658.261/.262

Вплив теплофізичних властивостей біомаси на метаноутворення у побутових біореакторах

В.М. Желих¹, Е.С. Малкін², Ю.В. Фурдас³, О.І. Дзерин⁴, І.Є. Сухолова⁵, Г.А. Нестерович⁶

¹д.т.н., проф. Національний університет «Львівська політехніка», Україна,

²д.т.н., проф. Київський національний університет будівництва та архітектури,

³к.т.н. Національний університет «Львівська політехніка», Україна,

⁴к.т.н. Національний університет «Львівська політехніка», Україна,

⁵к.т.н. Національний університет «Львівська політехніка», Україна,

⁶студент Національний університет «Львівська політехніка», Україна.

Запропоновано конструкцію побутового біореактора безперервної дії. Розроблено метод інженерного розрахунку для оцінки продуктивності біогазових установок, зокрема визначення максимальної кількості біогазу та ефективного об'єму добового завантаження сировини. Отримано графічні та аналітичні залежності, які можна застосувати під час проектування побутових біогазових установок для утилізації органічних відходів.

Ключові слова: біореактор, біогаз, метанова ферментація, органічні відходи, анаеробне бродіння.

Актуальність роботи. Сьогодні в Україні пріоритетним напрямком економії паливно-енергетичних ресурсів є використання альтернативних джерел енергії. Одним із шляхів задоволення енергетичних потреб є використання біогазу як продукту анаеробного бродіння органічних відходів сільськогосподарського виробництва.

Біореактор є основною складовою біогазової установки. Найбільшого розповсюдження набули резервуари овальної і циліндричної форми. У таких ємностях забезпечуються найменші витрати на перемішування сировини, видалення відпрацьованого субстрату, відбір утвореного біогазу та руйнування кірки яка утворюється в процесі бродіння є найменшими. Використовуючи реактори циліндричної форми в похило-горизонтальному положенні, можна ефективніше розмістити обладнання для перемішування і створити потрібні умови для видалення шламу.

Основні вимоги до зброджувальної сировини є придатність для розвитку метаноутворюючих бактерій, а саме наявність органічної речовини, що біологічно розкладається, достатня кількість води (90 – 94 %), відсутність речовин, які перешкоджають розвитку мікроорганізмів та наявність нейтрального середовища. Найчастіше в якості органічної маси використовують гній сільськогосподарських тварин.

Важливою умовою виробництва біогазу є підтримання постійного температурного режиму зброджувального субстрату. Метанова ферментація починається за температури 6 °С. При нижчій температурі виділення метану припиняється. Одночасно із зростанням температури швидко збільшується кількість газу, що виділяється.

Час гідравлічного відстоювання залежить також від виду сировини, що завантажується. Органічні речовини розкладаються з різною швидкістю. Найдовший час гідравлічного відстоювання буде за підвищеного вмісту целюлози та геміцелюлози, короткий – у разі наявності у сировині білків та жирів, а найкоротший – для цукрів.

Мета та завдання дослідження. Встановити залежність кількості біогазу, що утворюється при різних температурах зброджувальної сировини та часу гідравлічного відстоювання.

Експериментальні дослідження та їх аналіз. Конструкція біореактора відіграє важливу роль для ефективного процесу метаноутворення, при цьому необхідно забезпечити достатньо розвинуту поверхню біомаси для виходу біогазу. Врахувавши попередньо висвітлені рекомендації щодо конструювання біореакторів запропоновано резервуар у вигляді горизонтального циліндра рис.1 [6].

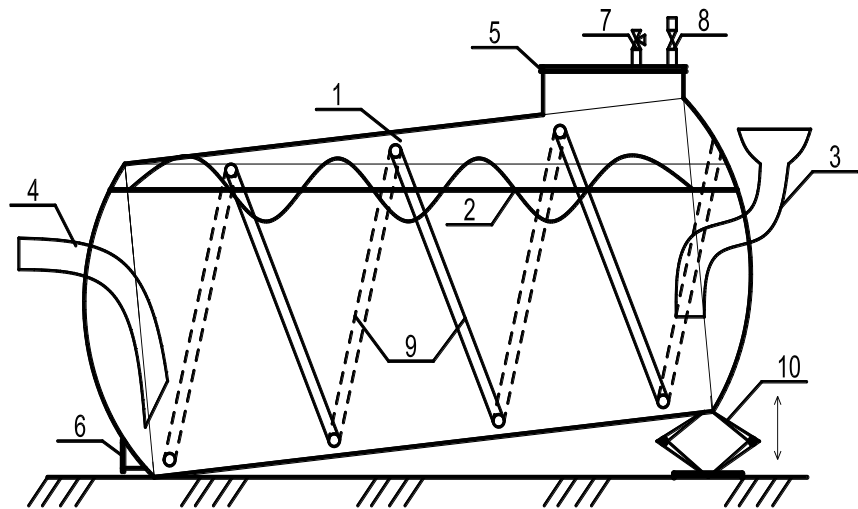


Рис.1 Схема побутового біореактора

1 – резервуар; 2 – система перемішування; 3, 4 – відповідно патрубок завантаження та розвантаження сировини; 5,6 – відповідно верхній та нижній люки обслуговування; 7 – скидний клапан; 8 – патрубок виходу біогазу; 9 – підігрівач; 10 – рухома опора

Розташування завантажувального 3 та розвантажувального 4 патрубків забезпечує поступове подавання сировини та безперервний цикл бродіння, що підвищує ефективність біогазової установки.

Одним із чинників, які впливають на кількість виробленого біогазу, є вид органічної сировини, яка переброджує. Це пояснюється деякими відмінностями в хімічному складі гнойової біомаси від різних видів сільськогосподарських тварин. Тому визначення об'єму резервуара біореактора починають із збору даних про вид тварин, поголів'я та об'єм біомаси, яка потребує утилізації.

Прогнозування об'єму виходу біогазу проводилось шляхом визначення необхідної кількості сировини для забезпечення процесу анаеробного бродіння. Для розрахунку біореактора запропонованої конструкції використано існуючу методику представлену Л. И. Гюнтером [3].

Потрібно прийняти вихідні дані: t_B – температура біомаси, °C; W , % – вологість субстрату; A , % – зольність сухої органічної сировини.

Необхідний об'єм біореактора визначався за формулою

$$V = 100 \cdot \frac{D_D}{D} \quad (1)$$

де V – робочий об'єм реактора, м³; D_D – добова кількість маси завантажуваної сировини, кг/(м³·доба); D – доза завантаження за об'ємом, %;

Визначаємо добове завантаження біореактора D_D , кг/(м³·доба):

$$D_D = S/\tau, \quad (2)$$

де S – концентрація органічних речовин у завантажувальній сировині, кг/м³; τ – час бродіння, доба.

Концентрація органічних речовин визначалась із залежності, кг/м³:

$$S = \rho_{об} \cdot (100 - W) \cdot (100 - A) \cdot 10^{-4}, \quad (3)$$

де W – вологість субстрату, %; A – зольність сухої органічної сировини, %; $\rho_{об}$ – густина біомаси, кг/м³.

Розраховувалась густина біомаси, кг/м³:

$$\rho_{об} = \frac{\rho_{вих}}{100 + W \cdot (\rho_{вих} \cdot 10^{-3} - 1)} \cdot 100, \quad (4)$$

де $\rho_{вих}$ – густина твердої фракції біомаси, кг/м³.

Вираховувався кінематичний коефіцієнт K за формулою

$$K = K_r (\mu_m \cdot S - d) / (B \cdot S - K_r \cdot d), \quad (5)$$

де K_r – коефіцієнт пропорційності.

Визначався коефіцієнт пропорційності:

$$K_r = \frac{(38 \cdot S - 205) \cdot P}{100 \cdot (t_g - 17,8)}, \quad (6)$$

де t_g – температура процесу бродіння, °C; P – поправковий коефіцієнт, ($P=1$ за $t_g=33-53$ °C).

Виравховувалась максимальна швидкість росту мікроорганізмів μ_m в біомасі, доба⁻¹:

$$\mu_m = 0,013 \cdot t_B - 0,129, \quad (7)$$

Визначалась добова кількість біогазу V_B , м³/(м³×доба) :

$$V_B = \frac{B \cdot S}{\tau} \left(1 - \frac{K}{\tau \cdot \mu_m - 1 + K} \right), \quad (8)$$

де B – максимальний вихід біогазу, м³/кг; S – концентрація органічних речовин у завантажувальній сировині, кг/м³; τ – час бродіння, доба.

Дослідження проводились для анаеробного біореактора, при цьому температура зброджувальної біомаси t_b змінювалась у діапазоні від 35 до 50 °C. В якості органічної сировини використано:

- гній великої рогатої худоби з вологістю $W = 88$ % та зольністю сухої речовини – $A = 16$ % з густиною твердої фракції $\rho_{вих} = 1250$ кг/м³.

- гній свиней з вологістю $W = 88$ % та зольністю сухої речовини – $A = 15$ % з густиною твердої фракції $\rho_{вих} = 1400$ кг/м³.

Результати дослідження показано на рис.2 та рис.3.

З рис. 2 та рис. 3 видно, що при певному часі бродіння спостерігаються піки виходу біогазу, це зумовлено добовим завантаженням необхідної кількості органічної сировини.

Також спостерігаємо, що тип зброджувальної біомаси впливає на продуктивність біореактора. Так, використовуючи гній від свиней з температурою анаеробного бродіння $t_g = 50$ °C та терміном гідравлічного відстоювання $\tau = 6$ діб досягається максимум виходу біогазу $V_B = 3,4$ м³/(м³×добу).

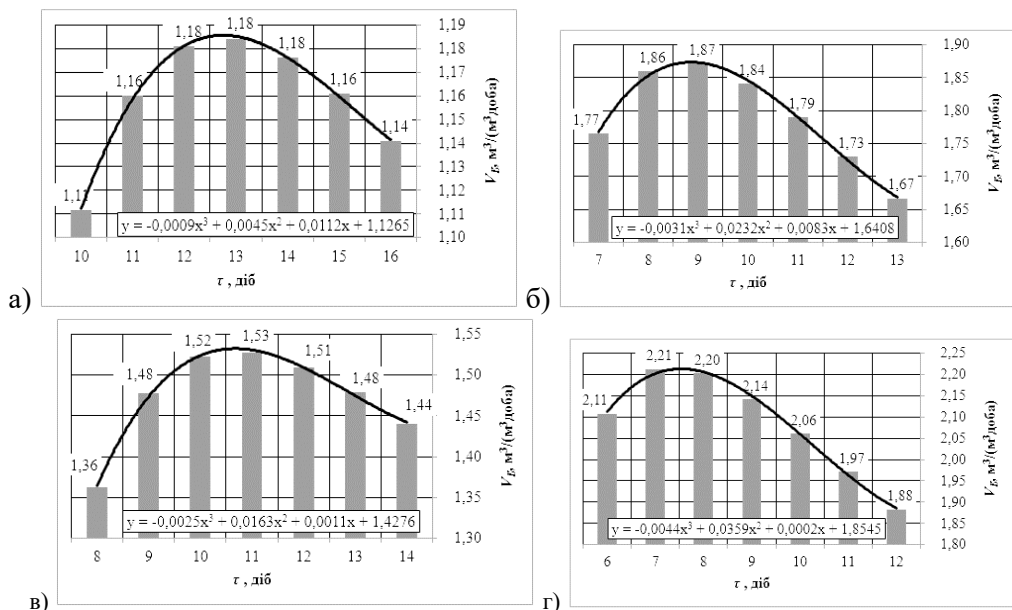


Рис. 2. Добова кількість біогазу з гною ВРХ залежно від часу τ бродіння та температури процесу t_e : а – $t_e=35^\circ\text{C}$; б – $t_e=40^\circ\text{C}$; в – $t_e=45^\circ\text{C}$; г – $t_e=50^\circ\text{C}$

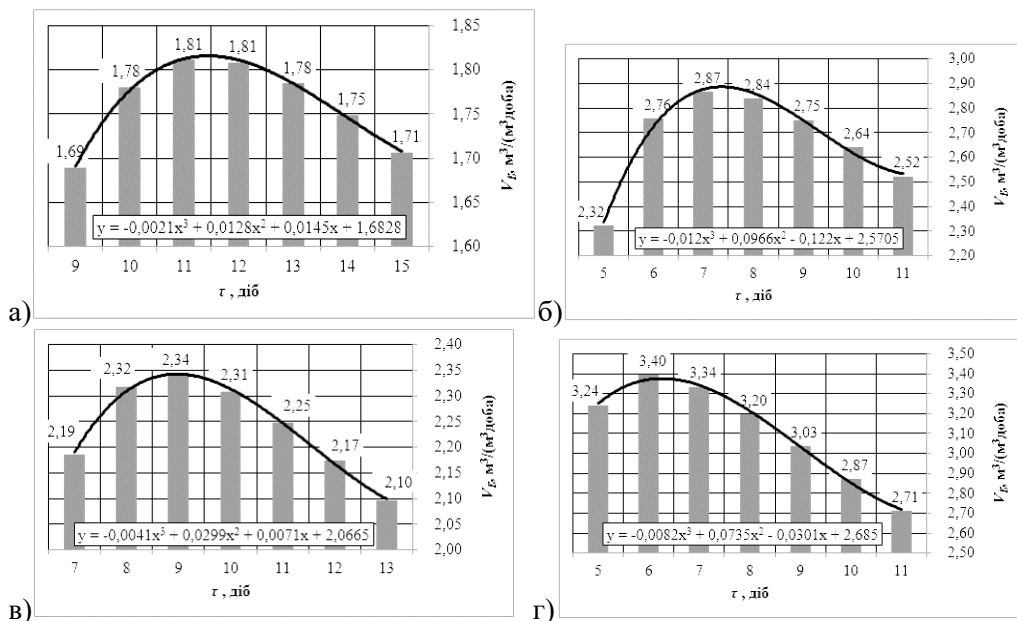


Рис. 3. Добова кількість біогазу з гною свиней залежно від часу τ бродіння та температури процесу t_e : а – $t_e=35^\circ\text{C}$; б – $t_e=40^\circ\text{C}$; в – $t_e=45^\circ\text{C}$; г – $t_e=50^\circ\text{C}$

Висновки: на основі проведеного аналізу було підтверджено ефективність запропонованої конструкції побутового біореактора безперервної дії, який працює в інтервалі температур від 35 °С до 50 °С. Для даного температурного діапазону анаеробного процесу метаногенезу встановлено час утворення максимальної кількості біогазу. Отримано графічні та аналітичні залежності для визначення прогнозованого добового виходу біогазу при використанні відходів великої рогатої худоби та гною свиней.

Література:

1. Баадер Б. Биогаз: Теория и практика. / Б. Баадер, М. Доне Брендерфер; пер. с нем. М. И. Серебрянного. – М. : Колос, 1982. – 148с.
2. Даффи Дж.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж.А. Даффи, У.А. Бекман. — М.: Мир, 1977. — 410с.
3. Гюнтер Л. И. Метантенки [Текст] : монография / Л. И. Гюнтер, Л. Л. Гольдфа. – М.: Стройиздат, 1991. – 129с.
4. Соуфер С. Биомасса как источник энергии / С. Соуфер, О. Заборски; пер. с англ. – М. : Мир, 1985. – 368с.
5. Ратушняк Г.С.: Інтенсифікація біоконверсії коливальним перемішуванням субстрату / Г.С. Ратушняк, В.В. Джеджула. – Вінниця: УНІВЕРСАМ - Вінниця, 2008. – 117с.
6. Желих В.М., Фурдас Ю.В. Біогазовий реактор // Патент на корисну модель №69771 від 10.05.2012 р., Бюл. №9.
7. Желих В.М. Підтримання теплового режиму біореактора під час застосування сонячної енергії. / В.М.Желих, Ю.В. Фурдас // Вісник НУ «Львівська політехніка». «Теорія і практика будівництва». – 2012. – №742 – С. 83-86.

Влияние теплофизических свойств биомассы на метанообразование в бытовых биореакторах

В.М. Желих, Е.С. Малкін, Ю.В. Фурдас, О.І. Дзерин, І.Є. Сухолова, Г.А. Нестерович

Предложена конструкция бытового биореактора непрерывного действия. Разработан метод инженерного расчета для оценки производительности биогазовых установок, в частности определения максимального количества биогаза и эффективного объема суточной загрузки сырья. Получены графические и аналитические зависимости, которые можно применить при проектировании бытовых биогазовых установок для утилизации органических отходов.

Influence of thermo-physical properties of biomass on methane formation in the household bioreactors

V.M. Zhelikh, E.S. Malkin, Yu.V. Furdas, O.I. Dzerin, I.Ye. Sukholova,
G.A. Nesterovich

The construction of domestic continuous action bioreactor has been proposed. The method of engineering calculation was offered to evaluate the performance of biogas plants, including the determination of the maximum number of biogas and effective daily load volume of raw materials. A graphical and analytical dependencies that can be applied in the design of domestic biogas plants for recycling of organic waste was obtained.

Надійшла до редакції 14.04.2016