

Ю. В. КУРИС, канд. техн. наук

Запорізька державна інженерна академія, м. Запоріжжя

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОБОТИ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

В статті представлено математическа модель получения товарного биогаза с использованием биореакторов – больших контейнеров, в которых искусственно создаются условия для быстрого разложения отходов.

У статті представлено математична модель отримання товарного біогазу с використанням біореакторів – великих контейнерів, в яких штучно створюються умови для швидкого розкладання відходів.

Вступ

У зв'язку із зростанням населення, його концентрацією в містах і розвитком промислового виробництва продуктів харчування, останнім часом стає все більш актуальною проблема ліквідації органічних відходів життєдіяльності людини. Зазвичай побутові відходи просто викидають на звалище. Але в сучасних містах викидається стільки всяких відходів, що вони вже створюють серйозні екологічні проблеми. Одним з шляхів утилізації органічних відходів, є використання біореакторів – великих контейнерів, в яких штучно створюються умови для швидкого розкладання відходів. При цьому можливе використання продуктів розкладання: газ, що виділяється, можна використовувати для опалювання приміщень або для інших подібних цілей, а тверді продукти є хорошим добривом. Для ефективного проектування і управління такими біореакторами необхідно використовувати сучасні математичні методи. Тому виникає актуальна проблема розробки адекватних математичних моделей процесів, що протікають в біореакторах по утилізації органічних відходів і методів управління ними.

Актуальність теми. Органічні відходи є складною екосистемою, що складається з різних видів мікроорганізмів, продуктів їх життєдіяльності і ряду інших речовин, які для одних видів мікроорганізмів служать живленням, а для інших — нейтральною, або отруйливим середовищем. Виникає досить складна система біохімічних процесів, що пов'язана з життєдіяльністю мікроорганізмів, супроводжується тепло- і масообміном, хімічними і іншими перетвореннями. Проблема моделювання та управління біореакторами і біохімічними процесами є актуальною. Їм присвячені чисельні дослідження вчених В. М. Афанас'єва, С. Д. Варфоломєєва, Д. А. Дж. Вейза, В. Вольтера, К. Г. Гуревич, М. В. Гусєва, К. Джеффріза,

Обґрунтування параметрів функціонування біоенергетичного реактора

Сучасні біогазові установки засновані на використанні реакторів, що підігріваються, оскільки для здійснення процесу метаногенеза необхідно постійно витрачати енергію. Ефективне виробництво біогазу можливе тільки у тому випадку, коли сумарна енергія газу буде значно вища за витрати енергії на його виробництво. З метою зниження енергії виробництва біогазу, можливе використання теплоти охолоджуючої рідини ДВС, температури відхідних газів, для нагріву біомаси в біореакторі.

Умова отримання товарного біогазу може бути представлена математично з урахуванням теплового балансу біореактора [1, 2, 3, 4, 8]

$$V_T = V_T - \frac{Q_{CH}}{\lambda}, \text{ м}^3 \quad (1)$$

де: V_T – кількість товарного біогазу, m^3 ; V_{Γ} – загальна кількість отриманого біогазу, m^3 ;
 Q_{CH} – витрата енергії на власні потреби установки, кДж;
 λ – теплотворна здатність біогазу, кДж/ m^3 .

У міру отримання біогазу його кількість при $\tau = \tau_{\min}$ досягає величини, достатньої для повної компенсації витрат тепла на нагрів біомаси та всіх теплоенерговитрат ($V_{\Gamma} \cdot \lambda = Q_{CH}$).

Досягши рівності значенні $\frac{dV_{\Gamma}}{d\tau} \lambda = \frac{dQ_K}{d\tau}$ процес зброджування біомаси слід припинити, оскільки при подальшому утриманні біомаси в метантенці енергія тепловтрат не буде компенсована енергією отриманого біогазу.

Аналогічно, рішення задачі отримання товарного біогазу $V_{\Gamma} = f(\tau)$ та витрати енергії на процес його отримання $Q_{CH} = f(\tau)$, з подальшим визначенням оптимального часу (τ_{opt}) зброджування біомаси в метантенке. Залежність $V_{\Gamma} = f(\tau)$ може бути визначена експериментально для біомаси, вигляд та склад якого залежать від конкретних умов кожної тваринницької ферми.

Математична обробка таких експериментальних даних показує, що залежності $\frac{dV_{\Gamma}}{d\tau} = f(\tau)$ відповідає емпіричне рівняння [4-6]:

$$\frac{dV_{\Gamma}}{d\tau} = \frac{\tau}{a\tau^2 + b\tau + c} \cdot V_H, \text{ м}^3/\text{сут} \quad (2)$$

де: a, b, c – емпіричні коефіцієнти, значення яких визначаються за наслідками обробки досвідчених даних;

τ – тривалість бродіння ($\tau = 19$ діб);

V_H – об'єм зброджуваної біомаси, m^3 .

Тепловий баланс біореактора:

Витрата енергії на власні потреби визначається по залежності:

$$Q_{CH} = Q_H + Q_{\Pi} \cdot \tau, \text{ кДж} \quad (3)$$

де: Q_H – витрата енергії на попередній нагрів біомаси до температури бродіння;

Q_{Π} – добова витрата енергії на компенсацію всіх тепловтрат, кДж/сут.

Тепловтрати Q_{Π} включають енерговитрати на привід перемішувачів пристроїв Q_M , втрати енергії з сбраженою біомасою Q_{BM} , що видаляється, втрати енергії в навколишнє середовище Q_K , втрати енергії з біогазом Q_{BG} (рис. 1), що видаляється, дане питання детально описане та розглянуте в статтях авторів [7, 9].

Тепловтрата через захищаючі поверхні метантенка в добу:

$$Q_K = k \cdot F \cdot (T_B - T_H) \cdot 8,64 \cdot 10^4, \text{ кДж/сут} \quad (4)$$

де: k – коефіцієнт теплопередачі, кВт/ m^2 .

K; F – площа захищаючих поверхонь метантенка, m^2 ;

T_B – температура зовнішнього повітря, К;

T_H – температура біомаси, що подає в метантенк, К.

Теплових втрат, з біогазом, що йде, визначаються по рівнянню:

$$Q_{BG} = V_{\Gamma} \cdot C_{\Gamma} \cdot (T_{\Gamma} - T_B), \text{ кДж/сут} ; \quad (5)$$

де: V_{Γ} – добовий об'єм біологічного газу, що виділився, m^3 /сут;

C_T – об'ємна теплоємність біологічного газу, $\text{кДж/м}^3 \cdot \text{К}$;
 T_T – температура біологічного газу на виході з метантенка; T_B – температура навколишнього повітря, К .

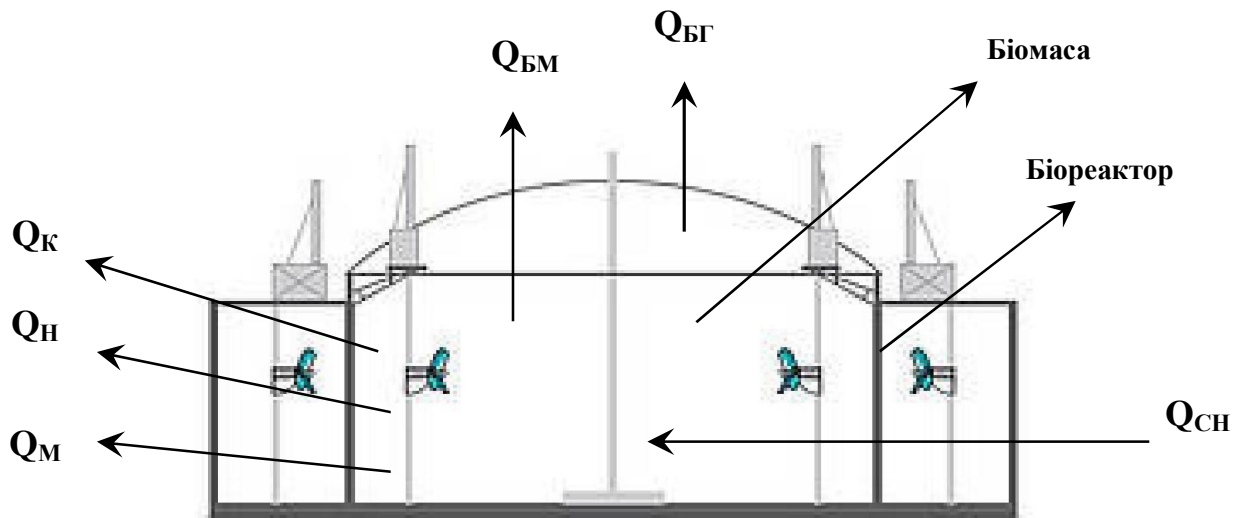


Рис. 1. Розрахункова схема теплового балансу біореактора

Тепловтрат із зброженою біомасою, що видаляється

$$Q_{БМ} = V_H \cdot C_H \cdot (T_2 - T_H), \quad \text{кДж/сут} \quad (6)$$

де: V_H – об'єм біомаси, що видаляється з метантенка в добу, м^3 ;

C_H – об'ємна теплоємність біомаси, кДж/м^3 ;

T_2 – температура біомаси на виході з метантенка.

Витрати енергії на привід перемішуючих пристроїв і допоміжного устаткування визначаються по формулі:

$$Q_M = 24 \cdot \frac{N_M \cdot V_H}{W_H \cdot \eta_M} \cdot \frac{1}{8}, \quad \text{кДж/сут} \quad (7)$$

де N_M – потрібна потужність насоса або перемішуючих пристроїв, кВт ;

W_H – продуктивність насоса, $\text{м}^3/\text{ч}$;

η_M – ККД перемішуючого пристрою;

$1/8$ – означає, що перемішуючий пристрій працює тільки 1/8-му частину (3 години) в добу.

Враховуючи недовантаження метантенка, щільність біомаси ρ_H , коефіцієнт залишку дози добового завантаження метантенка визначається по рівнянню:

$$\gamma = \left(1 - \frac{d}{100}\right)^r \cdot 100 \% \quad (8)$$

де: d – доза добового завантаження, в %;

τ – тривалість бродіння; приймаємо $\tau = 19$ діб = 3...5% [2, 10].

Отже, час, протягом якого відбувається бродіння біомаси з отриманням товарного біогазу можна визначити по залежності:

$$\int_0^{\tau} \frac{\tau}{a \cdot \tau^2 + b \cdot \tau + c} \cdot V_H \cdot (1 - \gamma) \cdot \lambda = \frac{V_H \cdot C_H \cdot (T_2 - T_1)}{\eta} + \left[k \cdot F \cdot (T_B - T_H) \cdot 24 + \frac{N_M \cdot V_H}{W_H \cdot \eta_M \cdot m} \right] \cdot \tau \quad (9)$$

Рішення (9) дає можливість оцінювати як характер теплового балансу процесу бродіння біомаси, так і оптимального режиму отримання товарного біогазу.

Висновки

1. Для коректнішої оцінки енергетичної ефективності роботи анаеробного реактора, представляється бажаним розглядати всі чинники по масових характеристиках.
2. Отримане інтегральне рівняння дає можливість оцінювати як характер оптимального режиму отримання товарного біогазу, так і тепловий баланс процесу бродіння біомаси.
3. Провести вивчення енергетичного балансу біогазових установок і дати енергетичну оцінку їх ефективності стосовно умов України.

Список літератури

1. Куріс Ю. В. Підвищення теплотехнічних та технологічних показників спалювання біогазу в теплогенеруючому обладнанні: Дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук, НУХТ, Київ, 2007.
2. Сельскохозяйственная биотехнология: Учеб./ В. С. Шевелуха, Е. А. Калашникова, Е. С. Воронин и др., Под редак. В. С. Шевелухи – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2003. – 469 с. ил.
3. Скороходов А. Н. Общая методика моделирования технологий и технических средств для их реализации по критериям энерго- и ресурсосбережения. // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. № 4, 2005. – С. 56–61.
4. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В. Теплообмінні та гідродинамічні процеси в елементах енергозабезпечення біогазової установки: Монографія / Вінниц. нац. техн. ун-т. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 132 с.
5. Энергетические установки и окружающая среда. Под ред. проф. Маляренко В. А. Учебное пособие. – Харьков: ХГАГХ, 2002. – 398 с.
6. Jane K. Jensen, Anker V. Jensen.: Biogas and Natural Gas fuel mixture for the future. First World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry. Seveile, 2000.
7. Куріс Ю. В., Ткаченко С. И. Описание расчета потерь теплоты биогазовой установки // Фаховий журнал “Енергетика и электрификация”. г. Киев, – № 9. – 2008. – С. 51–55.
8. Куріс Ю. В., Хейфец Р. Г., Ткаченко С. И. Возможности и перспективы использования альтернативных топлив в ДВС сельскохозяйственного назначения // Фаховий журнал “Енергетика и электрификация”. г. Киев, – № 4. – 2008. – С. 43–47.
9. Куріс Ю.В., Степанов Д. В., Ткаченко С. И., Хажмурадов М.А., Карнацевич Л.В. Увеличение эффективности дальнейшего использования и сжигания биогаза: «Достижения и перспективы». // Фаховий журнал “Енергетика и электрификация”. г. Киев, – № 12. – 2006. – С. 67–79.
10. Мартынюк А.А. Техническая устойчивость в динамике. Киев: Техника, 1973. 188 с.

MATHEMATICAL MODEL OF WORK OF THE BIOGAS SETTING

Ju. V. Kuris, Cand. Tech. Sci.

In the article the mathematical model of receipt of commodity biogas is presented with the use of fermenters – large containers in which terms are artificially created for rapid decomposition of wastes.

Поступила в редакцію 04.08 2010 г.