

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ПРОЦЕСІВ У БІОГАЗОВИХ УСТАНОВКАХ НА СТАДІЇ МЕТАНОГЕНЕЗУ

Гураль І.В.

Тернопільський національний економічний університет, аспірант

І. Вступ

Провідне місце серед складових енергоресурсів посідає біогаз. Процес утворення біогазу називають метановим бродінням. Його суть полягає в анаеробній ферментації, яка відбувається внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів і супроводжується рядом біохімічних реакцій. Кілька видів мікроорганізмів беруть участь у загальних реакціях, які включають в себе такі стадії: гідроліз, ацидогенез, ацетогенез і метаногенез [1].

Разом з тим існуючі макромоделі, які використовуються для моделювання процесу виробництва біогазу [2], не дають можливість керувати цим процесом і не враховують балансу біохімічних процесів на різних стадіях анаеробного мікробіологічного бродіння. Як наслідок в кращому випадку, низький вихід біогазу, а в гіршому – затухання реакції через загибель мезофільних бактерій. Тому метою даної праці є розробка макромоделей процесу анаеробного мікробіологічного бродіння для окремих етапів. Зокрема, розглянуто задачу макромоделювання для етапу метаногенезу.

ІІ. Постановка задачі

Нехай для деякого процесу ферментації на стадії метаногенезу при заданому рівні кислотності середовища рН відомі часові значення утворення метаноутворюючих бактерій у біогазовій установці (БГУ):

$$[\vec{V}^-; \vec{V}^+] = ([v_1^-; v_1^+], \dots, [v_k^-; v_k^+], \dots, [v_N^-; v_N^+])^T, \quad (1)$$

де $[v_k^-; v_k^+]$ – нижнє та верхнє значення вимірних метаноутворюючих бактерій на k - тій дискреті часу.

Необхідно побудувати математичну модель у вигляді дискретної динамічної моделі:

$$v_k = \vec{f}^T(v_0, \dots, v_{k-1}) \cdot \vec{g}, \quad k = p, \dots, K, \quad (2)$$

де $\vec{f}^T(\bullet)$ - вектор невідомих базисних функцій (відомого класу), що визначає структуру дискретної динамічної моделі; символ (\bullet) означає набір базисних функцій в рівнянні (3); v_k – кількість метаноутворюючих бактерій в часовій дискреті $k = p, \dots, K$; $\vec{g} = (g_1, \dots, g_i)^T$ – вектор невідомих параметрів дискретної динамічної моделі.

У результаті, математичну задачу ідентифікації параметрів моделі записуємо у вигляді задачі розв'язування інтервальної системи нелінійних алгебричних рівнянь (ІСНАР) [7]:

$$\begin{cases} [\hat{v}_0^-; \hat{v}_0^+] \subseteq [v_0^-; v_0^+], [\hat{v}_1^-; \hat{v}_1^+] \subseteq [v_1^-; v_1^+], \dots, [\hat{v}_p^-; \hat{v}_p^+] \subseteq [v_p^-; v_p^+], \\ [\hat{v}_k^-] = [\hat{v}_k^-; \hat{v}_k^+] = \vec{f}^T([\hat{v}_0^-; \hat{v}_0^+], \dots, [\hat{v}_{k-1}^-; \hat{v}_{k-1}^+]) \cdot \hat{g}, \\ v_k^- \leq \vec{f}^T([\hat{v}_0^-; \hat{v}_0^+], \dots, [\hat{v}_{k-1}^-; \hat{v}_{k-1}^+]) \cdot \hat{g} \leq v_k^+, k = p, \dots, K. \end{cases} \quad (3)$$

де $[\hat{v}_0^-; \hat{v}_0^+]$, $[\hat{v}_p^-; \hat{v}_p^+]$ – інтервальні оцінки кількості метаноутворюючих бактерій в часовій дискреті $k=0$ та $k=p$ відповідно.

Таким чином задача ідентифікації параметрів інтервальної дискретної динамічної моделі (ІДДМ) кількості метаноутворюючих бактерій є задачею розв'язування ІСНАР (5). Проте в загальному випадку базисні функції $\vec{f}^T(\bullet)$ є невідомими, що призводить до задачі структурної ідентифікації ІДДМ. Суть цієї задачі полягає у формуванні послідовності структур ІДДМ, які забезпечують побудову ІСНАР у вигляді (5). Одна із ІСНАР (5) в послідовності виявиться сумісною, що означатиме завершення процедури побудови ІДДМ у вигляді:

$$[\hat{v}_k^-] = [\hat{v}_k^-; \hat{v}_k^+] = \vec{f}^T([\hat{v}_0^-; \hat{v}_0^+], \dots, [\hat{v}_{k-1}^-; \hat{v}_{k-1}^+]) \cdot \hat{g}. \quad (4)$$

III. Побудова моделі динаміки сумарної кількості метаноутворюючих бактерій в біогазовій установці

Розв'яжемо задачу структурної ідентифікації макромоделі сумарної кількості метаноутворюючих бактерій в БГУ на етапі анаеробного мікробіологічного бродіння у вигляді ІДДМ використовуючи експериментальні дані із праці [3].

Для розв'язання цієї задачі структурної ідентифікації ІДДМ, у праці [4] запропоновано алгоритм бджолоїної колонії. Алгоритм бджолоїної колонії моделює поведінку медоносних бджіл у процесі пошуку джерел нектару [5]. Суть алгоритму діяльності бджолоїної колонії, полягає в оптимізації деякої функції мети, яка залежить від вибраного набору структурних елементів.

В результаті застосування алгоритму бджолоїної колонії отримали ІДДМ, які визначають сумарну кількість метаноутворюючих бактерій в БГУ:

$$\begin{aligned} [\widehat{v}_{k2}^-; \widehat{v}_{k2}^+] = & [0,0067; 0,00672] - [\widehat{v}_{k-2}^-; \widehat{v}_{k-2}^+] \cdot [0,003756; 0,00376] + [\widehat{v}_{k-1}^-; \widehat{v}_{k-1}^+] \cdot [\widehat{v}_{k-2}^-; \widehat{v}_{k-2}^+] \cdot [0,001388; 0,00139] - \\ & - [\widehat{v}_{k-1}^-; \widehat{v}_{k-1}^+] \cdot [\widehat{v}_{k-1}^-; \widehat{v}_{k-1}^+] \cdot [0,004363; 0,004369] - [\widehat{v}_{k-2}^-; \widehat{v}_{k-2}^+] \cdot [\widehat{v}_{k-2}^-; \widehat{v}_{k-2}^+] \cdot [0,000111; 0,000112] + \\ & + [\widehat{v}_{k-1}^-; \widehat{v}_{k-1}^+] \cdot [\widehat{v}_{k-1}^-; \widehat{v}_{k-1}^+] \cdot [\widehat{v}_{k-1}^-; \widehat{v}_{k-1}^+] \cdot [0,00013; 0,000132] \subset [v_{k2}^-; v_{k2}^+] \end{aligned} \quad (5)$$

Отримана структура дискретної динамічної моделі і параметри адекватно відображають процес метаногенезу.

Результати прогнозування сумарної кількості кислотоутворюючих бактерій твердих побутових органічних відходів наведено на рис. 1.

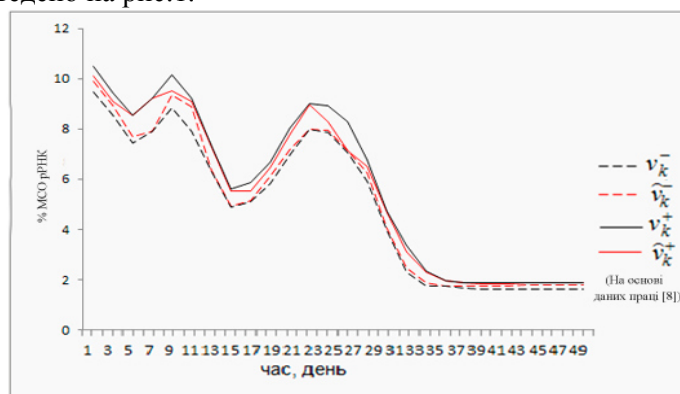


Рисунок 1 – Коридор сумарної кількості метаноутворюючих бактерій в БГУ

Як бачимо, з рис. 1 коридор сумарної кількості метаноутворюючих бактерій в БГУ знаходиться в межах коридору експериментальних даних, що забезпечує адекватність математичної моделі. Отримана модель дає можливість спрогнозувати коридор сумарної кількості метаноутворюючих бактерій в БГУ на стадії метаногенезу. Таким чином, користуючись моделлю, можемо забезпечити на цій стадії оптимальну кількість метаноутворюючих бактерій в БГУ, яка своєю чергою, визначить оптимальний розвиток популяції мікроорганізмів в процесі анаеробного мікробіологічного бродіння.

Висновок

Розглянуто задачу моделювання процесів анаеробного мікробіологічного бродіння з дотриманням балансу на стадії метаногенезу. Вперше отримано макромодель процесу бродіння на стадіях мтаногенезу (5) на основі ІДДМ, яка забезпечує гарантовані прогностичні властивості для різних умов анаеробного мікробіологічного бродіння, при зміні кислотності середовища. Показано, що отримана модель якісно адекватно описує кількість метаноутворюючих бактерій в БГУ.

Список використаних джерел

1. Гелетуха Г.Г., Кучерук П.П., Матвеев Ю.Б. Перспективи виробництва та використання біогазу в Україні. Аналітична записка БАУ № 4, 2013. — 22 с.
2. Дивак М.П. Інтервальне представлення динаміки анаеробного мікробіологічного бродіння в біогазових установках [Електронний ресурс] / М.П. Дивак, І.В. Гураль // Індуктивне моделювання складних систем. – 2014. – Вип. 6. – С. 55-68.
3. Gerber, M. and Span, R., An Analysis of Available Mathematical Model for Anaerobic Digestion of Organic Substances for Production of Biogas, International Gas Union Research conference, 2008.
4. Порплиця Н. П. Синтез структури інтервального різницевого оператора з використанням алгоритму бджолоїної колонії / Н. П. Порплиця, М. П. Дивак // Індуктивне моделювання складних систем. – 2013. – Вип. 5. – С. 256-269.
5. N. Porplytsya, M. Dyvak, Ta. Dyvak, "Method of structure identification for interval difference operator based on the principles of honey bee colony functioning", Computational problems of electrical engineering Journal, Vol. 4, No. 2, 2014. – P.57-68.