

МАКРОМОДЕЛЬ ДИНАМІКИ ПРОЦЕСІВ У БІОГАЗОВИХ УСТАНОВКАХ НА СТАДІЇ АЦЕТОГЕНЕЗУ

Гураль І.В.¹⁾, Гураль Д.В.²⁾, Чечет П.П.³⁾

Тернопільський національний економічний університет,

¹⁾ викладач, ^{2,3)} магістрант

I. Вступ

Проблема утилізації твердих побутових органічних відходів (ТПОВ) для України є найбільш актуальною, оскільки вона є європейським лідером за кількістю відходів на душу населення [1]. Використання біогазових установок (БГУ) для їх утилізації дадуть змогу розв'язати екологічні проблеми, а також отримати високоефективні органічні добрива та енергію у вигляді біогазу [2].

Процес анаеробного мікробіологічного бродіння, що проходить в БГУ включає в себе такі стадії: гідроліз, ацидогенез, ацетогенез і метаногенез [3].

Існуючі математичні макромоделі анаеробного мікробіологічного бродіння в БГУ описують автономну систему [4-6]. Разом з тим, реальний процес є неавтономним, оскільки вимагає урахування основних факторів впливу. Для управління і контролю процесами бродіння потрібно побудувати макромоделі на різних стадіях, а для їх побудови необхідно розв'язати задачі структурної і параметричної ідентифікації [7].

Тому актуальним завданням є побудова макромоделей процесу анаеробного мікробіологічного бродіння для окремих етапів. У даній праці розглянуто задачу макромодельовання на стадії ацетогенезу.

II. Постановка задачі

За основу моделей виберемо дискретні динамічні рівняння, налаштування яких здійснюватимемо із використанням інтервальних даних, отриманих за результатами вимірювання процесів у біогазових установках. Для ідентифікації цих моделей використаємо методи, що ґрунтуються на поведінкових моделях бджолиної колонії

Задача ідентифікації параметрів інтервальних дискретних динамічних моделей (ІДДМ) для макромоделей на стадії ацетогенезу процесу анаеробного мікробіологічного бродіння є задачею розв'язування інтервальної системи нелінійних алгебричних рівнянь (ІСНАР) (1) [8]:

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

де $[\bar{v}_0^-; \bar{v}_0^+]$, $[\bar{v}_p^-; \bar{v}_p^+]$ – інтервальні оцінки модельованої характеристики на часовій дискреті $k=0$ та $k=p$ відповідно.

Проте в загальному випадку базисні функції $\bar{f}^T(\bullet)$ є невідомими, що призводить до задачі структурної ідентифікації ІДДМ. Алгоритм розв'язування цієї задачі полягає у послідовному формуванні множини структур ІДДМ та отримання «нових» ІДДМ, шляхом модифікації попередньо отриманих. Цей процес відбувається доти, поки не буде сформовано таку структуру ІДДМ, яка забезпечує побудову сумісної ІСНАР у вигляді (1) [9].

III. Модель динаміки відсотку МСО рРНК кислотоутворюючих бактерій ТПОВ

Перейдемо до практичної реалізації задачі структурної ідентифікації макромоделей відсотку МСО рРНК кислотоутворюючих бактерій в БГУ.

Для розв'язання задачі структурної ідентифікації ІДДМ, у праці [10] запропоновано метод, який побудовано на основі поведінкових моделей бджолиної колонії, які відтворюють природну поведінку колонії медоносних бджіл у процесі пошуку їжі [11]. Метод структурної ідентифікації ІДДМ побудовано на аналогіях із поняттями та процедурами цієї поведінкової моделі і зорієнтовано на знаходження хоча б одного розв'язку ІСНАР (1).

У результаті проведення етапу структурної ідентифікації, отримано ІДДМ, яка дозволяє оцінити та спрогнозувати відсоток МСО рРНК кислотоутворюючих бактерій в БГУ:

$$\begin{aligned}
[\bar{v}_k^-; \bar{v}_k^+] = & -0,0497 + 0,1026 \cdot [\bar{v}_{k-6}^-; \bar{v}_{k-6}^+] [\bar{v}_{k-6}^-; \bar{v}_{k-6}^+] / [\bar{v}_{k-8}^-; \bar{v}_{k-8}^+] - \\
& - 0,1719 \cdot [\bar{v}_{k-2}^-; \bar{v}_{k-2}^+] \cdot [\bar{v}_{k-6}^-; \bar{v}_{k-6}^+] \cdot [\bar{v}_{k-14}^-; \bar{v}_{k-14}^+] \cdot [\bar{v}_{k-14}^-; \bar{v}_{k-14}^+] + 0,58 \cdot [\bar{v}_{k-4}^-; \bar{v}_{k-4}^+] \cdot + \\
& + 0,0234 \cdot [\bar{v}_{k-10}^-; \bar{v}_{k-10}^+] \cdot [\bar{v}_{k-10}^-; \bar{v}_{k-10}^+] \cdot [\bar{v}_{k-10}^-; \bar{v}_{k-10}^+] + 0,4512 \cdot [\bar{v}_{k-2}^-; \bar{v}_{k-2}^+] \subset [v_k^-; v_k^+]
\end{aligned}
\tag{2}$$

Результати прогнозування сумарної кількості кислотоутворюючих бактерій ТПОВ наведено на рис.1.

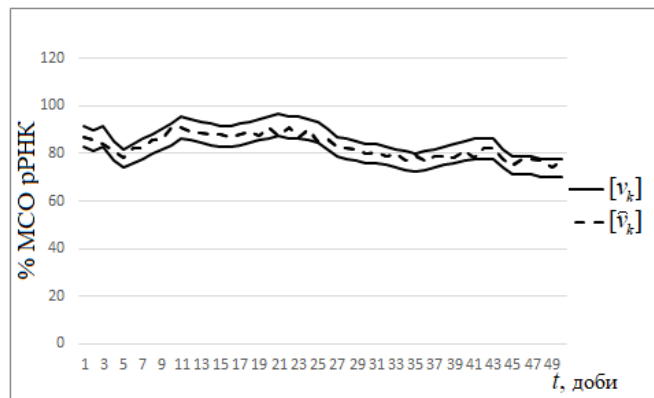


Рисунок 1 – Коридор динаміки відсотку МСО рРНК кислотоутворюючих бактерій в БГУ

Як бачимо, отримана структура дискретної динамічної моделі і параметри адекватно відображають процес ацетогенезу. Коридор динаміки відсотку МСО рРНК кислотоутворюючих бактерій ТПОВ знаходиться в межах коридору експериментальних даних, що забезпечує адекватність математичної моделі.

Висновок

Розглянуто задачу моделювання процесів анаеробного мікробіологічного бродіння з дотриманням балансу на стадії ацетогенезу. Отримано макромодель процесу бродіння на стадії ацетогенезу (2) на основі ІДДМ, яка дає можливість спрогнозувати коридор динаміки відсотку МСО рРНК кислотоутворюючих бактерій на цій стадії та забезпечує гарантовані прогностичні властивості для різних умов анаеробного мікробіологічного бродіння. Показано, що отримана модель якісно адекватно описує кількість кислотоутворюючих бактерій в БГУ, а також вона може бути використана для моделювання процесів у БГУ при відповідному налаштуванні їх параметрів. А саме, визначення об'єму БГУ, режимів процесу бродіння процесу бродіння і вибору початкових умов.

Список використаних джерел

1. Гелетуха Г.Г. Перспективи виробництва та використання біогазу в Україні / Г.Г. Гелетуха, П.П. Кучерук, Ю.Б. Матвеев // Аналітична записка БАУ № 4, 2013. – 22 с.
2. Боднар А.М. Перший крок до екологічного майбутнього – сортування сміття. – Тернопіль, 2013. – 12 с.
3. Gerber M. An Analysis of Available Mathematical Model for Anaerobic Digestion of Organic Substances for Production of Biogas / M. Gerber, R. Span // International Gas Union Research conference. – Paris 2008. – P. 5–7.
4. Гураль І.В. Біохімічний аналіз процесів в біогазових установках та його застосування в задачі макромодельовання процесів виробництва біогазу / І.В. Гураль, М.П. Дивак // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – Хмельницький, 2014 – С.152-158.
5. Hural I. Autonomous Systems Modification of Mono's Differential Equations to Non-autonomous Systems in the Tasks of Modeling Processes Problems at Biogas Plants / I. Hural, M. Dyvak, Yu. Pigovsky, V. Spilchuk // 13-th International Conference "The Experience Of Designing And Application Of CAD Systems in Microelectronics" Polyana Svalyava (Zakarpatty) UKRAINE 24-27 February 2015.– P. 93-96.
6. Дивак М. Ідентифікація параметрів моделей «вхід–вихід» динамічних систем на основі інтервального підходу / М. Дивак, П. Стахів, І. Каліщук // Вісник Тернопільського державного технічного університету. — 2004. —Т. 9, № 4. — С. 109–117.
7. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. – Киев: "Техника", 1975. – 311 с
8. Дивак М.П. Особливості побудови інтервальної системи алгебричних рівнянь та методу її розв'язку в задачах ідентифікації лінійного інтервального різницевого оператора / М.П. Дивак. Т.М. Дивак // Індуктивне моделювання складних систем: Зб. наук. пр. – К.: МННЦ ІТС НАН та МОН України, 2009. – Вип. 1. – С. 35-43.
9. Порплиця Н. П. Порівняльний аналіз ефективності генетичного та "бджолиного" алгоритмів у задачі структурної ідентифікації інтервального різницевого оператора / Н. П. Порплиця // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2015. – № 1. – С. 55-67.
10. Порплиця Н. П. Синтез структури інтервального різницевого оператора з використанням алгоритму бджолиної колонії / Н. П. Порплиця, М. П. Дивак // Індуктивне моделювання складних систем. – 2013. – Вип. 5. – С. 256–269.
11. Porplytsya N. Method of structure identification for interval difference operator based on the principles of honey bee colony functioning / N. Porplytsya, M. Dyvak, T. Dyvak // Computational Problems of Electrical Engineering. – 2014. – Vol. 4, №2. – P. 57-68.