

УДК 674.001.5

Доц. Б.П. Поберейко, канд. техн. наук;
доц. Я.М. Гнатишин, канд. техн. наук;
проф. Я.І. Соколовський, д-р техн. наук – УкрДЛТУ

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ АНАЕРОБНОГО ПРОЦЕСУ ЗАЛЕЖНО ВІД ПАРАМЕТРІВ УМОВ ПРОТІКАННЯ

Наведені результати математичного моделювання анаеробного процесу у біомасі. На основі чисельного експерименту виявлені основні закономірності динаміки розмноження мікробних клітин та об'ємного виходу газу залежно від заданого температурного режиму.

Doc. B.P. Pobereyko; Doc. Ya.M. Gnatyshyn; prof. Ya.I. Sokolovs'kyj – USUFWT

Researches of anaerobic process dynamics depending on parameters of flowing conditions

Directed results of mathematical modelling of anaerobic process in biomass. On basis of numerical experiment were obtained basic regularities of dynamics reproduction of cells and volumetric output of gas, depending on given temperature regimen.

Актуальність задачі. Анаеробна деструкція органічних речовин на сьогодні отримала широке поширення в усьому світі. Її використання дає змогу покращити енергетичний потенціал, отримувати цінні мінеральні речовини, а також зменшити негативний вплив органічних відходів на довкілля. Відомо, що інтенсивність анаеробного перероблення біомаси є залежною від кількості мікроорганізмів розкладу органічних молекул на CH_4 та CO . Тому задачі визначення мікробних клітин у біомасі та факторів впливу на їх концентрацію є актуальними. На основі їх рішень можна обґрунтувати динаміку протікання анаеробного процесу, що має практичну цінність для вдосконалення відомих та розробки нових методів переробки органічних відходів, а також для розроблення системи автоматичного управління цими процесами.

Математичне моделювання анаеробного процесу. Динаміка протікання анаеробного процесу в біомасі описується системою рівнянь, отриманих у роботах [1, 2]:

$$\begin{cases} \frac{dx}{d\tau} = k(a-x)N(\tau); \\ \frac{dN}{d\tau} = cN(\tau) - bN(\tau)R; \\ \frac{dR}{d\tau} = eN(\tau); \\ V_{\text{ГАЗ}} = \alpha x, \end{cases} \quad (1)$$

де: a – початкова кількість органічної речовини; x – кількість органічної речовини, що взяла участь у розкладі; $N(\tau)$ – кількість активних бактерій в органічній масі; $R(\tau)$ – функція, яка характеризує кількість отрути, що утворюється у процесі зростання числа мікроорганізмів; b , e , α , k , c – коефіцієнти, залежні від температури середовища у метантенку; τ – час протікання процесу; $V_{\text{ГАЗ}}$ – об'ємний вихід біогазу.

Результати математичного моделювання. Розв'язком системи рівнянь (1) є отримані залежності

$$N = -4N_{max} \frac{\left\{1 - 2 \cdot \beta \frac{N_{max}}{N_0}\right\} \exp(c\tau)}{\left\{\left[1 - 2\beta \frac{N_{max}}{N_0}\right] \exp(c\tau) - 1\right\}^2};$$

$$x = a \left\{1 - \exp\left[-2k \frac{N_{max}}{c} \cdot \left(\frac{N_0}{\beta \cdot N_{max}} + \frac{1}{\left[1 - 2\beta \frac{N_{max}}{N_0}\right] \exp(c\tau) - 1}\right)\right]\right\}; \quad (2)$$

$$V_{GA3} = \alpha x,$$

де: $c = -\frac{\ln\left\{\frac{2N_{max}}{N_0}\beta - 1\right\}}{\tau_{max}}$; N_{max} – максимально можлива кількість бактерій у біомасі; τ_{max} – момент часу, для якого $N = N_{max}$; N_0 – кількість бактерій на початку протікання анаеробного процесу; $\beta = 1 + \sqrt{1 - \frac{N_0}{N_{max}}}$.

Невідомі величини N_{max} , N_0 , τ_{max} , c системи (2) визначаються за даними експериментальних досліджень кривої розмноження мікробних клітин $N(\tau)$. Чисельно значення коефіцієнта k дорівнює масі органічних відходів, яку може переробити одиничний мікробний організм за одиницю часу.

Результати чисельного експерименту та їх аналіз. Для виявлення основних закономірностей протікання анаеробного процесу та розмноження мікробних клітин на рис. 1 і рис. 2 наведено результати чисельного експерименту для органічних відходів з характеристиками: $c = -0,44$ (1/добу); $k = 0,0000002$ (кг/шт. доба); $N_{max} = 3 \cdot 10^6$ шт.; $N_0 = 1,5 \cdot 10^6$ шт. Їх аналіз свідчить про те, що із зростанням часу τ кількість мікробних організмів у біомасі зростає і на момент часу $\tau = 4$ доби досягає максимального значення, яке дорівнює $3 \cdot 10^6$ шт. з подальшим збільшенням τ число мікробних клітин асимптотично зменшується. Така поведінка функції $N(\tau)$ обґрунтовується тим, що на проміжку від 0 діб до 4 діб швидкість розмноження мікроорганізмів переважає над швидкістю їх самознищення, а на проміжку $[4; \infty)$ навпаки.

Графік на рис. 2 та третя залежність системи рівнянь (2) свідчить про те, що із зростанням часу протікання анаеробного процесу об'ємний вихід біогазу також зростає. Однак, на моменти закінчення переробки органічних відходів спостерігається зворотний процес. Об'ємний вихід біогазу зменшується. Згідно із співвідношеннями 2 і 3 системи рівнянь (2), максимально можлива кількість біогазу, яку можна отримати у процесі переробки a кг органічних відходів, дорівнює $V_{GA3} = \alpha x$.

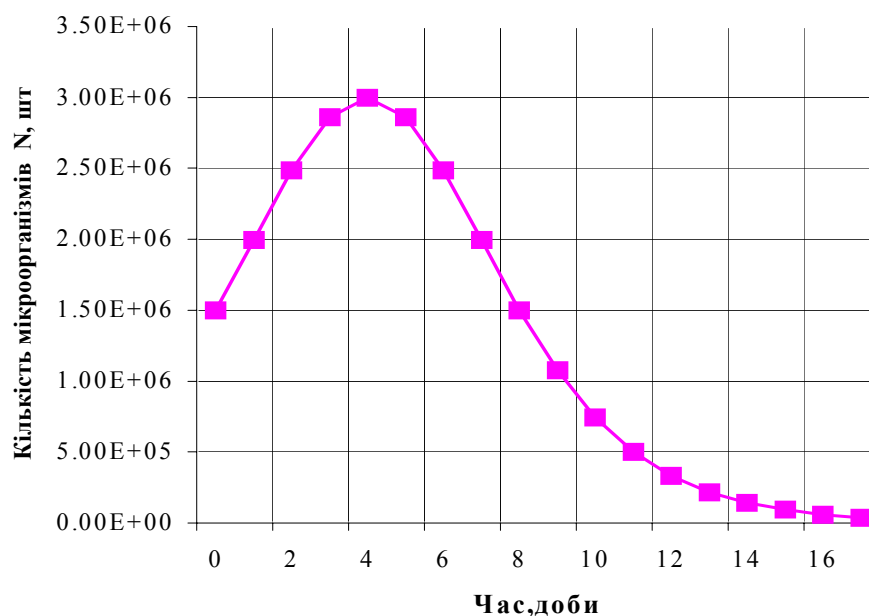


Рис. 1. Динаміка розмноження мікробних клітин в органічній біомасі

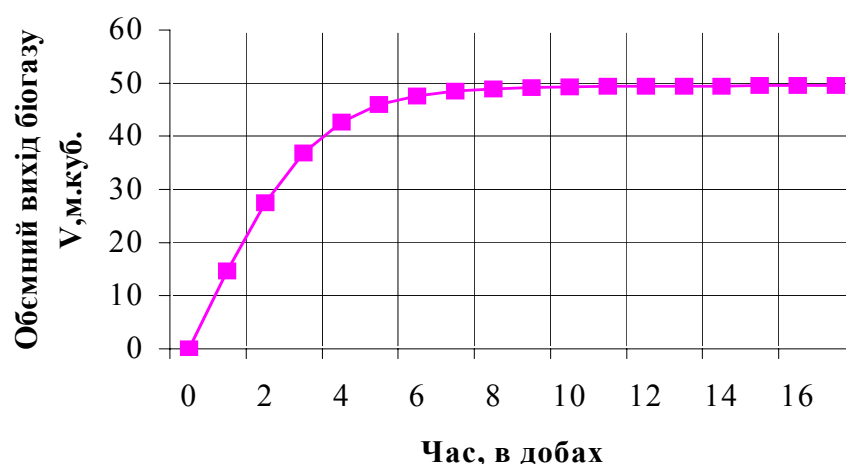


Рис. 2. Залежність об'ємного виходу газу від часу протікання анаеробного процесу

Висновок. Запропонована модель дозволяє прогнозувати протікання анаеробного процесу і дає змогу визначити об'ємний вихід біогазу для заданого температурного режиму, тиску навколишнього середовища і тривалості анаеробного процесу.

Література

1. Гнатишин Я.М., Поберейко Б.П. Ідентифікація анаеробного процесу органічних відходів в метантенку//1-а Міжнародна науково-практична конференція "Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні 31.05-01.06.01. – Львів, 2001.
2. Гнатишин Я.М., Поберейко Б.П., Ацбергер И.Л. Математическая модель анаеробного процесса//Первая в Украине международная конференция "Энергия из биомассы" 23-26.09.02. – Киев, 2002.