

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОДУКТІВ ФЕРМЕНТАЦІЇ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

Подобайло В. Г., Потапенко М. В., Семенова Н. П., Гайдукевич С. В.

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
"Бережанський агротехнічний інститут"

Запропоновано методика оцінювання ефективності продуктів ферментації біогазових установок методом послідовного статистичного контролю.

Постановка задачі. На сьогодні у сільськогосподарському виробництві найбільшим забруднювачем навколишнього середовища є тваринництво. Технологічні схеми, які застосовуються для видалення і використання відходів тваринництва, пов'язані з тривалим зберіганням необроблених відходів або з вивезенням їх на поля, що шкідливо впливає на оточуюче довкілля та на якість продуктів рослинництва [1].

Найбільш перспективним методом утилізації відходів тваринництва, поряд з хімічними та фізичними методами, є метанове бродіння.

Анаеробне бродіння дозволяє вирішити проблеми екологічного, енергетичного та агрохімічного характеру і може бути базовою основою для створення екологічно чистих технологій переробки органічних відходів.

При виконанні державної програми зі створення тваринницьких комплексів, затрати на біогазові установки необхідно віднести до вартості обладнання, яке використовується для обеззаражування відходів тваринництва, виробництва повноцінних добрив та системи заходів із захисту навколишнього середовища. Тобто питання побудови біогазових установок при тваринницьких комплексах, в першу чергу, необхідно розглядати як ефективний засіб охорони довкілля та поліпшення фізико-хімічних властивостей ґрунтів. Це повинно бути основною метою застосування анаеробної ферментації сільськогосподарських відходів, тоді отриманий біогаз можна розглядати як дешевий енергоносіє.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кількість біогазу, який утворюється в метантенку, залежить від кількості перероблюваної за добу продукції, її якісного складу і температурного режиму ферментації. Для нормальної життєдіяльності анаеробних бактерій необхідно, щоб мінімальний вміст азоту складав 7 мг на 100 кг органічної речовини, а оптимальне співвідношення азот-вуглець знаходилось у межах 0,06...0,1. Тому вміст органічної речовини визначає завантаження площі бродіння, а її величина залежить від швидкості розкладу та осідання зважених частинок [1].

Оптимальне завантаження площі бродіння в гноївці окремих видів тварин на 1м³ субстрату становить: корови – 6%, свині – 3%, птиця – 1,5% [2]. Коли вміст сухої речовини буде меншим 1%, то процеси метаноутворення пасивуються, тому підтримання гомогенного середовища в метантенку є обов'язковою умовою, яка виконується шляхом шумування субстрату.

Проте до цього часу деякі важливі технологічні параметри роботи метантенків розроблені недостат-

ньо. Зокрема, мало досліджена структура продуктів ферментації та швидкість її зміни в процесі метаноутворення.

Технологічний процес отримання біогазу потрібно використовувати так, щоб в результаті перемішування субстрату з новою порцією, яка надходить у метантенк, одержати продукт ферментації з оптимальним вмістом дисперсної фази m_{opt} . Підтримуючи гомогенне середовище в метантенку під час циклу бродіння, після закінчення якого здійснюється відбір верхньої частини продуктів ферментації та видалення шламу з нижньої частини, субстрат повинен мати допустимий нижній вміст дисперсної фази m_{don} [3]. Цілком очевидно, що якісні параметри продуктів ферментації, які надходять у метантенк, також повинні бути в межах оптимальності, тобто $m_{opt} - m_{don}$.

Але в літературних джерелах [1,2] подаються лише однозначні дані про вміст сухої речовини в продуктах ферментації, які наведені вище.

Мета статті. Пропонується методика оцінювання ефективності продуктів ферментації методом послідовного статистичного контролю, який дозволяє значно зменшити кількість аналізів у порівнянні з методом однократної вибірки.

Основні матеріали дослідження. Проведені нами дослідження з визначення фракційного складу свинячої гноївки (таблиця 1).

Таблиця 1 – Фракційний склад свинячої гноївки

Розмір частинок, мм	5-4	4-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25
Вміст частинок, %	8,3	17,6	7,8	18,5	11,4	5,7	30,7

За результатами досліджень визначили еквівалентний діаметр суспензії:

$$\frac{1}{d_e} = \sum \frac{p_i}{d_i}, \quad (1)$$

де d_i – діаметр частинок i -ої фракції суспензії;

p_i – відносний вміст фракції.

В результаті розрахунків отримали: $d_e = 0,568 \pm 0,06$ мм.

Гідравлічна крупність частинок, тобто швидкість осідання часток такого діаметру в воді становить:

$V = 2.83 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$ [4]. Для отриманих значень гідравлічної крупності і d_e число Рейнольда дорівнює $R_e = 1$, а $K = 4.2 - 4.5$ [4]. Тоді за формулою (1) [3] можна визначити швидкість осідання частинок в субстраті при його об'ємній концентрації $1 - m_{\text{дон}}$, $v = 1.275 \text{ мм/с}$.

Якщо за $m_{\text{опт}}$ прийняти значення, які наведені вище, то з формули (5) [3] після її перетворень визначимо значення $m_{\text{дон}}$.

$$m_{\text{дон}} = 1 - \frac{v(1 - \alpha)}{g(2 - \alpha)}, \quad (2)$$

де v – гідравлічна крупність часток, мм/с ;

g – швидкість осадження частинок у субстраті, мм/с ;

α – пористість осаду продуктів ферментації

$\alpha = 0,2$ і не залежить від вологості.

Підставивши значення параметрів у формулу (2), отримаємо $m_{\text{дон}} = 0,0135$, тобто мінімально допустима кількість сухої речовини в 1 м^3 субстрату повинна бути $1,35 \text{ кг}$.

Щоб визначити якісні характеристики продуктів ферментації, які будуть задіяні в процесі вироблення біогазу, застосовують метод відбору проб і виділення з них твердої фракції. Одним із головних недоліків зазначеного методу контролю є його значна трудомісткість, що вимагає великих затрат часу. Для здійснення контролю застосовується однократна вибірка, тобто здійснення визначеної заздалегідь фіксованої кількості числа проб, після цього робиться висновок про ступінь відповідності субстрату технічним вимогам.

Проте, незважаючи на наявність великої різниці в показах проб від величини допуску, дана методика не дозволяє зменшити кількість вимірів у вибірці, а отримані результати не мають прогнозованої ймовірності, тому не відображають об'єктивно процес контролю. Застосування методу послідовного аналізу [5], який базується на критерії відношення ймовірностей, дозволяє значно скоротити кількість проб у порівнянні з методикою однократної вибірки і отримувати оцінювання процесу на необхідному рівні ймовірності. При цьому множина W розділяється на дві підмножини: W_0 – прийняття гіпотези H_0 , яка допускає, що контрольований параметр за твердою фракцією знаходиться в межах допуску, або W_1 – прийняття гіпотези H_1 , яка допускає, що контрольований параметр не відповідає вимогам допуску.

Ймовірності $p_{\text{ок}}$ і $p_{1к}$ отриманих вибірок, які належать відповідно підмножинам W_0 і W_1 , виражаються через сумісні розподіли ймовірностей вибірки x_1, x_2, \dots, x_k . При кожному контролі визначається співвідношення ймовірностей $p_{\text{ок}}$ і $p_{1к}$ і результат порівнюється з постійними величинами A і B . Якщо при цьому $p_{1к} / p_{\text{ок}} > A$, то контроль закінчується прийняттям гіпотези H_1 , і вибірки належать до підмножини W_1 , а якщо $p_{1к} / p_{\text{ок}} \leq B$, то процес закінчується прийняттям гіпотези H_0 . Це означає, що вибірка належить до підмножини W_0 , а технологічні параметри субстрату знаходяться в межах допуску. Коефіцієнти A і B визначаються за залежностями:

$$A = \frac{1 - \beta}{\alpha}; \quad B = \frac{\beta}{1 - \alpha}, \quad (3)$$

де α – допустима ймовірність прийняття гіпотези H_1 , тоді коли дійсна гіпотеза H_0 ;

β – допустима ймовірність прийняття гіпотези H_0 , тоді коли дійсна гіпотеза.

У випадку коли $B < [p_{1к} / p_{\text{ок}}] < A$, необхідно зробити наступну вибірку.

Якщо досліджувана вибірка апроксимується нормальним законом розподілу, то умови контролю при послідовному аналізі визначаються за формулою [5].

$$B < \left\{ \frac{1}{S^k \sqrt{(2\pi)^k}} \exp \left[- \sum_{i=1}^k \frac{(x_i - m_i)^2}{2S^2} \right] : \frac{1}{S^k \sqrt{(2\pi)^k}} \exp \left[- \sum_{i=1}^k \frac{(x_i - m_0)^2}{2S^2} \right] \right\} < A, \quad (4)$$

де S^2 – дисперсія контрольованої величини;

k – порядковий номер вимірювання.

Для оцінки ефективності методу послідовного контролю можна визначити кількість вимірів:

$$n = \frac{S^2 t_2^2}{\delta^2}; \quad (5)$$

де t – коефіцієнт Стьюдента;

δ – допустима абсолютна величина відхилення від середнього значення допуску, $\delta = \frac{m_1 - m_0}{2}$.

Щоб значно спростити підрахунки, приймаємо дворівневу систему: субстрат, який знаходиться в допустимих межах змінюваності, отримує оцінку "0", а той, що вийшов за допустимі межі, отримує оцінку "1". В цьому випадку зміна складу дисперсної фази задовільно апроксимується біноміальним розподілом.

Тоді умову перевірки якості субстрату при послідовному аналізі можна визначити з виразу:

$$\frac{\ln \left(\frac{\beta}{1 - \alpha} \right)}{\ln \left(\frac{g_1}{g_0} \right) - \ln \left(\frac{1 - g_1}{1 - g_0} \right)} + k \frac{\ln \left(\frac{1 - g_0}{1 - g_1} \right)}{\ln \left(\frac{g_1}{g_0} \right) - \ln \left(\frac{1 - g_1}{1 - g_0} \right)} < \sum_{i=1}^k x_i \quad (6)$$

$$< \frac{\ln \left(\frac{1 - \beta}{\alpha} \right)}{\ln \left(\frac{g_1}{g_0} \right) - \ln \left(\frac{1 - g_1}{1 - g_0} \right)} + k \frac{\ln \left(\frac{1 - g_0}{1 - g_1} \right)}{\ln \left(\frac{g_1}{g_0} \right) - \ln \left(\frac{1 - g_1}{1 - g_0} \right)},$$

де k – порядковий номер вимірювання;

x_k – результат k -го вимірювання, який може приймати значення "0" або "1";

g_0 – гіпотеза про те, що відхилення від оптимуму не перевищує g_0 ;

g_1 – альтернатива гіпотезі g_0 .

Коли після чергового k -го вимірювання порушується права нерівність, то гіпотеза g_0 не може бути прийнятою, а повинна бути прийнята з ймовірністю $p = 1 - \beta$ гіпотеза g_1 . Ймовірність прийняття гіпотези

g_0 при дійсній частці дисперсної фази g , яка виходить за допустимі межі, визначається за оперативною характеристикою:

$$L(q) = \frac{\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)^h - 1}{\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)^h - \left(\frac{\beta}{1-\alpha}\right)^h} \quad (7)$$

Значення h можна визначити з виразу:

$$g = \frac{1 - \left(\frac{1-g_1}{1-g_0}\right)^h}{\left(\frac{g_1}{g_0}\right)^h - \left(\frac{1-g_1}{1-g_0}\right)^h} \quad (8)$$

Для оцінки ймовірності прийняття нульової гіпотези розглянемо характер зміни оперативної характеристики при зміні g_1 в інтервалі $0,2 \dots 0,9$ і $\alpha = 0,1$; $\beta = 0,1$; $g_0 = 0,1$.

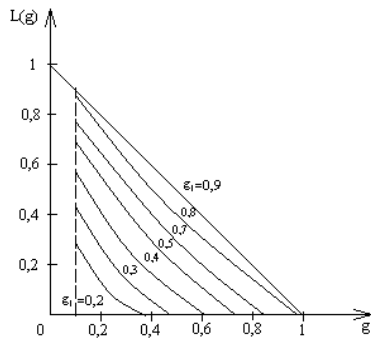


Рисунок 1 – Криві оперативних характеристик при $\alpha = 0,1$; $\beta = 0,1$; $g_0 = 0,1$ і $g_1 = 0,2 \dots 0,9$

Для всіх випадків, коли $g > g_0$ із збільшенням g зростає $L(q)$.

Приймаючи $g_0 = const$ і послідовно змінюючи q від більшого значення до меншого, можна отримати сімейство нерівностей (5), які утворюють у координатах $\sum_{i=1}^k x_k$ області, які характеризують ефективність продуктів ферментації. При $g_1 > 0,8$ протікання технологічного процесу метаноутворення можна визнати незадовільним, при $0,5 < g_2 < 0,8$ – задовільним, а при $0,1 < g < 0,5$ - хорошим або оптимальним.

Відповідальним етапом послідовного контролю є вибір допусків зміни твердої фракції суспензії та коефіцієнтів α і β . Але число вимірів, які необхідні для прийняття рішення, за всіма вибірками різні. Кількість вимірів при різних методах контролю наведена в таблиці 2. При контролі якості суспензії метантенка використовуються випадкові функції з кореляційним зв'язком. Реальну послідовність вимірів доцільно замінити біноміальною, тому що при $K > 6$ нормальний розподіл апроксимується біноміальним при незначних похибках.

Таблиця 2 – Різні методи контролю

Вибірка	Метод послідовного аналізу			Метод однократної вибірки		
	$\alpha = \beta$			$\alpha = \beta$		
	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2
1	8	6	4	32	24	14
2	3	2	2	30	21	12
3	4	3	2	27	19	12
4	6	5	4	23	16	10

Висновок. Застосування методу послідовного аналізу якісного складу продуктів ферментації метантенків дозволяє зменшити в середньому в 6 разів кількість аналізів у порівнянні з методом однократної вибірки, при однаковій надійності отриманих результатів.

Список використаних джерел

1. Баротфи Н. Энергосберегающие технологии и агрегаты на животноводческих фермах / Н. Баротфи, П. Рафаи – М.: Агропромиздат, 1988. – 227 с.
2. Корчемний М. Энергозбереження в агропромисловому комплексі / М. Корчемний, В. Федорейко, В. Щербань – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 975 с.
3. Подобайло В. Г. Оптимізація робочого циклу метантенка періодичної дії / В. Г. Подобайло, А. В. Нестеренко, І. А. Семенген // Науковий збірник НАУ. - №80. – К.: НАУ, 2005. – С.240-244.
4. Минц Д. М. Гидравлика зернистых материалов / Д. М. Минц, С. А. Шуберт - М-Л.: Стройиздат, 1985. – 443 с.
5. Вальд А. Последовательный анализ / А. Вальд. – М.: Физматгиздат, 1980. – 316 с.

Аннотация

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОДУКТОВ ФЕРМЕНТАЦИИ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Подобайло В. Г., Потапенко М. В., Семенова Н. П., Гайдукевич С. В.

Предложено методику оценки эффективности продуктов ферментации биогазовых установок методом последовательного статистического контроля.

Abstract

ANALYSIS EFFECTIVENESS OF FERMENTATION PRODUCTS OF BIOGAS INSTALLATION

V. Podobaylo, M. Potapenko, N. Semenova, S.Gaydukevich

The methods of evaluation of fermentation products effectiveness in biogas devices on the basis of consequent statistic control is suggested.