

MODES OF METHANE FERMENTATION OF CHICKEN MANURE

A. Salyuk, A. Kotinskiy, S. Zhadan, E. Shapovalov

National University of Food Technologies

Key words:	ABSTRACT
<p><i>Chicken manure</i> <i>Biogas</i> <i>Methane fermentation</i> <i>Modeling</i> <i>Mode</i></p> <hr/> <p>Article history: Received 14.01.2017 Received in revised form 28.01.2017 Accepted 25.02.2017</p> <hr/> <p>Corresponding author: S. Zhadan E-mail: zhadan.nuft@gmail.com</p>	<p>The article presents the results of simulation of methane production from poultry manure in a continuous mode. Experimental research on the periodic methane fermentation at different moisture content values of the substrate in the mesophilic and thermophilic conditions has been conducted. Basing on the obtained results, kinetic parameters of acetoclastic methanogenesis reaction have been determined and used for simulation of methane production in a continuous mode. Technological parameters corresponding to different modes of biogas plant operation in the mesophilic and thermophilic conditions have been established. The maximum yield of methane from the unit of volume of the apparatus in the mesophilic mode is observed with a substrate moisture content of 88% and a hydraulic retention time of 14.75 days, and in thermophilic mode — at a substrate moisture content of 92% and a hydraulic retention time of 4.88 days.</p>

РЕЖИМИ МЕТАНОВОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ КУРЯЧОГО ПОСЛІДУ

А.І. Салюк, А.В. Котинський, С.О. Жадан, Є.Б. Шаповалов

Національний університет харчових технологій

У статті наведено результати моделювання виробництва метану з курячого посліду у безперервному режимі. Проведено експериментальні дослідження з періодичної метанової ферментації при різній вологості субстрату у мезофільних і термофільних умовах. На основі отриманих результатів визначено кінетичні параметри реакції ацетокластичного метаногенезу, які використано для моделювання виробництва метану в безперервному режимі. Встановлено значення технологічних параметрів, що відповідають різним режимам роботи біогазової установки у мезофільних і термофільних умовах. Максимальний вихід метану з одиниці об'єму апарата у мезофільному режимі спостерігається при вологості субстрату 88% і часі обороту реактора 14,75 доби, а в термофільному — при вологості субстрату 92% і часі обороту реактора 4,88 доби.

Ключові слова: курячий послід, біогаз, метанова ферментація, моделювання, режим.

Постановка проблеми. Курячий послід є перспективним субстратом для виробництва біогазу, зважаючи на потужність птахофабрик і високу здатність до біологічного розкладу. Для підвищення економічної ефективності метанової ферментації необхідна її оптимізація. Основними технологічними параметрами, що визначають продуктивність біогазової установки, є вологість субстрату, тривалість процесу і температурний режим. Залежно від критерію оптимізації значення цих параметрів буде різним.

Мета статті: визначити значення технологічних параметрів, що відповідають різним режимам роботи біогазової установки у мезофільних і термофільних умовах.

Матеріали і методи досліджень. Курячий послід був отриманий з ПАТ «Птахофабрика «Васильківська»», де курки-несучки утримувались у кліткових батареях. Послід, призначений для проведення досліджень, брали у день його утворення. З нього вилучали пір'я і неперетравлене зерно та гомогенізували до однорідного стану за допомогою блендера.

Як посівний матеріал використовували надлишковий анаеробний активний мул, взятий з метантенків Бортницької станції аерації ПАТ АК «Київводоканал», у яких піддають обробці осад з первинних відстійників. Мул відстоювали та декантували рідину, що відшарувалась.

Досліди з періодичної метанової ферментації проводили у шприцах для інфузійних насосів об'ємом 50 см³ у трикратній повторності.

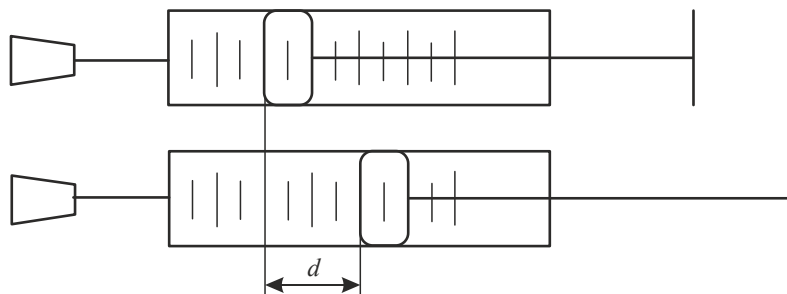


Рис. 1. Використання шприців як анаеробних реакторів

Послід розводили до необхідної вологості водопровідною водою. У кожен шприц завантажували 20 г субстрату. Масова частка анаеробного активного мулу становила 10%. Для герметизації шприців на голки насаджували гумові корки. Шприци поміщали у сухоповітряний термостат. Дослідження проводили у мезофільному режимі при температурі 35 °С і в термофільному режимі при температурі 50 °С. Тривалість експерименту становила 50 діб. Кількість виробленого біогазу визначали за відхиленням поршня шприца d .

Для визначення кінетичних констант використано числовий розв'язок інтегральної форми рівняння Міхаеліса-Ментен у лінеаризованому вигляді [1]:

$$\frac{S_0 - S_\tau}{M_{X_{ac,j}} \cdot \tau_j} = K_S \cdot Y_{X/S} \cdot \frac{\ln \frac{S_0}{S_\tau}}{M_{X_{ac,j}} \cdot \tau_j} + \mu_{X_{ac,max}}$$

де S_0 — початкова маса СОР субстратів, г СОР; S_t — оцінена маса СОР на момент часу τ_i , г СОР; $M_{Xac, j}$ — оцінена клітинна маса ацетокластичних метаногенів на момент часу τ_i , г_{к.м.}; K_S — константа напівнасичення, г СОР/дм³; $Y_{X/S}$ — вихід клітинної маси метаногенів, 0,0419 г_{к.м.}/г СОР; $\mu_{Xac, max}$ — максимальна швидкість росту ацетокластичних метаногенів, доба⁻¹.

Для оцінки питомої швидкості виходу метану P_{CH_4} , дм³ СН₄/(дм³·доба) використано таку залежність [2]:

$$P_{CH_4} = \frac{DY_{P/S}}{0,7\rho_{CH_4}} \cdot \left(S_0 - \frac{DK_S}{K_{max} - D} \right),$$

де D — гідравлічне навантаження реактора, доба⁻¹; k_{max} — константа швидкості реакції ацетокластичного метаногенезу, доба⁻¹; K_S — константа напівнасичення, г_{екв.} Ас/дм³; ρ_{CH_4} — питома густина метану, 0,717 кг/м³; $Y_{P/S}$ — вихід метану при розпаді ацетату, г СН₄/г Ас; S_0 — початкова еквівалентна концентрація ацетату у вхідному субстраті, г_{екв.} Ас/дм³.

Виходячи з того, що для метанової ферментації у безперервному режимі курячий послід повинен мати необхідну для цього консистенцію, математичне моделювання виробництва метану проведено для вологості інфлюенту в діапазоні від 86% до 99%.

Результати і обговорення. Використовуючи результати метанової ферментації курячого посліду різної вологості у періодичному режимі, визначено кінетичні параметри реакції ацетокластичного метаногенезу, а саме: максимальну швидкість k_{max} і константу напівнасичення K_S (табл. 1 і 2).

Таблиця 1. Кінетичні параметри ацетокластичного метаногенезу у мезофільному режимі

№	Вологість субстрату, %	Показник	
		K_S , г СОР/дм ³	k_{max} , доба ⁻¹
1	99	2,937	0,275
2	98	6,886	0,245
3	96	13,195	0,238
4	94	19,815	0,222
5	92	26,853	0,189
6	90	32,972	0,186
7	88	39,809	0,186
8	86	44,343	0,146

Таблиця 2. Кінетичні параметри ацетокластичного метаногенезу у термофільному режимі

№	Вологість субстрату, %	Показник	
		K_S , г СОР/дм ³	k_{max} , доба ⁻¹
1	99	3,588	0,459
2	98	6,706	0,706
3	96	13,706	0,811
4	94	20,319	0,746
5	92	26,047	0,557
6	90	32,319	0,467
7	88	38,89	0,376
8	86	45,612	0,323

Константа напівнасичення субстрату K_S зростала зі зменшенням вологості субстрату в обох температурних режимах. У мезофільних і термофільних умовах її значення суттєво не відрізнялись.

Максимальна швидкість ацетокластичного метаногенезу k_{\max} була вищою у термофільному режимі. У термофільних умовах її значення було в 1,7—3,4 раза вищим, ніж у мезофільних.

Отримані кінетичні параметри ацетокластичного метаногенезу у мезофільних і термофільних умовах використано для моделювання виробництва метану в безперервному режимі.

Швидкість виходу метану в мезофільному режимі зі зниженням вологості субстрату від 99 до 88% збільшується, а з подальшим зниженням вологості до 86% — зменшується (рис. 2).

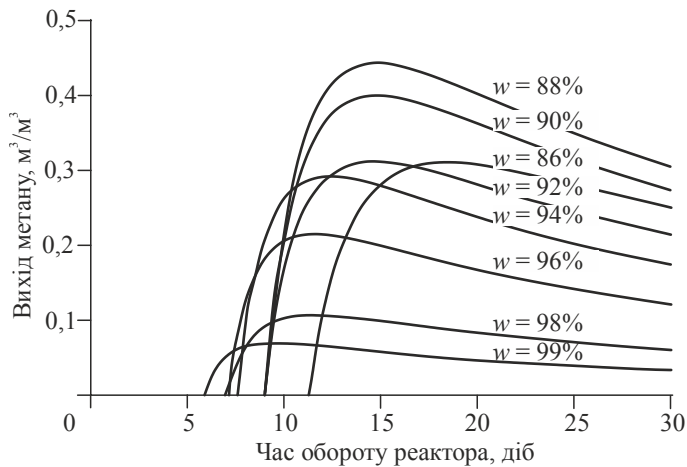


Рис. 2. Вихід метану з одиниці об'єму апарата у мезофільному режимі залежно від вологості субстрату і часу обороту реактора

Закономірності зміни швидкості виходу метану з одиниці об'єму апарата залежно від часу обороту реактора і вологості субстрату у мезофільному режимі відповідають результатам досліджень А. Вебба і Ф. Хоукс, а також З. Пекіна і співав. [4; 6].

Швидкість виходу метану в термофільному режимі зі зниженням вологості субстрату від 99 до 92% збільшується, а з подальшим зниженням вологості до 86% — зменшується (рис. 3). Закономірності зміни швидкості виходу метану з одиниці об'єму апарата залежно від часу обороту реактора і вологості субстрату в термофільному режимі відповідають результатам досліджень Дж. Хуанга і Дж. Шіха, а також Р.Е. Хабібулліна [3; 5].

Встановлено значення часу обороту реактора при різній вологості субстрату в мезофільному і термофільному режимі, що відповідають певному режиму роботи біогазової установки (табл. 3 і 4), а саме:

- швидкість виходу метану падає до нуля внаслідок критичного вимивання популяції метаногенів;

- швидкість виходу метану є найвищою і відповідає максимальному потоку метаногенів (без урахування факторів інгібування процесу);
- значення критеріального комплексу $[P_{CH_4} \cdot Q_{CH_4}]$ є найвищим;
- частка виходу метану становить 95%, а подальше збільшення тривалості процесу є нераціональним.

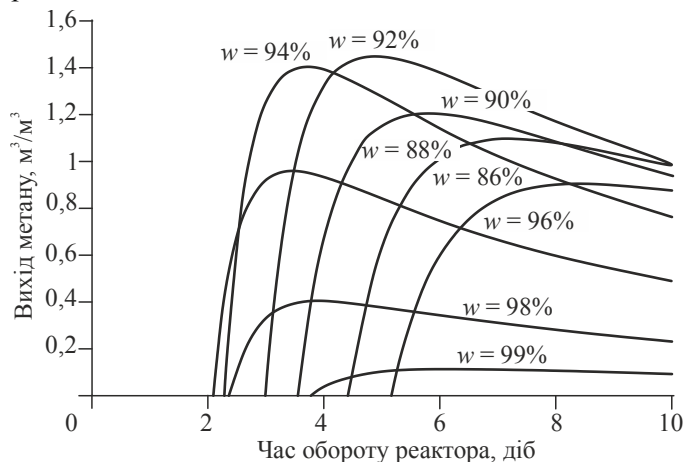


Рис. 3. Вихід метану з одиниці об'єму апарата у термофільному режимі залежно від вологості субстрату і часу обороту реактора

Таблиця 3. Режими роботи біогазової установки у мезофільних умовах

№	Вологість субстрату, %	Час обороту реактора, що відповідає певному режиму, дб			
		Швидкість виходу CH_4 падає до нуля	Швидкість виходу CH_4 є найвищою	Значення $[P_{CH_4} \cdot Q_{CH_4}]$ є найвищим	Частка виходу CH_4 становить 95%
1	99	5,82	9,38	12,06	55,09
2	98	6,95	11,41	14,86	69,33
3	96	7,03	11,49	14,91	67,22
4	94	7,54	12,33	15,99	71,21
5	92	8,92	14,6	18,97	81,82
6	90	9,0	14,7	19,07	82,93
7	88	9,02	14,75	19,14	91,93
8	86	11,28	18,34	23,73	98,17

Таблиця 4. Режими роботи біогазової установки у термофільних умовах

№	Вологість субстрату, %	Час обороту реактора, що відповідає певному режиму, дб			
		Швидкість виходу CH_4 падає до нуля	Швидкість виходу CH_4 є найвищою	Значення $[P_{CH_4} \cdot Q_{CH_4}]$ є найвищим	Частка виходу CH_4 становить 95%
1	99	3,77	6,23	8,13	36,76
2	98	2,39	3,91	5,08	22,7
3	96	2,1	3,44	4,48	17,94
4	94	2,27	3,72	4,83	23,04
5	92	2,99	4,88	6,32	28,25
6	90	3,55	5,79	7,51	34,57
7	88	4,42	7,21	9,34	39,02
8	86	5,15	8,41	10,09	46,78

Максимальний вихід метану з одиниці об'єму апарата у мезофільному режимі спостерігається при вологості субстрату 88% і часі обороту реактора 14,75 доби, а в термофільному — при вологості субстрату 92% і часі обороту реактора 4,88 доби.

Висновки

Встановлено значення технологічних параметрів, що відповідають різним режимам роботи анаеробного реактора. Максимальний вихід метану з одиниці об'єму апарата у мезофільному режимі спостерігається при вологості субстрату 88% і часі обороту реактора 14,75 доби, а в термофільному — при вологості субстрату 92% і часі обороту реактора 4,88 доби.

Література

1. Кучерук П.П. Дослідження кінетичних параметрів при періодичному метановому бродінні суміші гнойових стоків та силосу кукурудзи / Петро Петрович Кучерук // Відновлювана енергетика. — 2016. — № 1. — С. 73—78.
2. Кучерук П.П. Підвищення ефективності виробництва біогазу шляхом сумісного метанового бродіння гнойових відходів та силосу кукурудзи: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.14.08 «Перетворювання відновлюваних видів енергії» / Кучерук Петро Петрович. — Київ, 2016. — 20 с.
3. Хабибуллин Р.Э. Исследование и разработка интенсивной биотехнологии анаэробной переработки куриного помета : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 03.00.23 «Биотехнология» / Р.Э. Хабибуллин. — Казань, 1995. — 18 с.
4. Pechan Z. Anaerobic Digestion of Poultry Manure at High Ammonium Nitrogen Concentrations / Z. Pechan, O. Knappovfi // Biological Wastes. — 1987. — № 20. — P. 117—131.
5. Huang J.J.H. The potential of biological methane generation from chicken manure / J.J.H. Huang, J.C.H. Shih // Biotech. and Bioeng. — 1981. — № 23(10). — P. 2307—2314.
6. Webb A.R. The anaerobic digestion of poultry manure: Variation of gas yield with influent concentration and ammonium — nitrogen levels / A. R. Webb, F. R. Hawkes // Agric. Waste. — 1985. — № 14(2). — P. 135—136.

РЕЖИМЫ МЕТАНОВОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ КУРИНОГО ПОМЕТА

А.И. Салюк, А.В. Котинский, С.А. Жадан, Е.Б. Шаповалов
Национальный университет пищевых технологий

В статье приведены результаты моделирования производства метана из куриного помета в непрерывном режиме. Проведены экспериментальные исследования по периодической метановой ферментации при разной влажности субстрата в мезофильных и термофильных условиях. На основе полученных результатов определены кинетические параметры реакции ацетокластического метаногенеза, которые использованы для моделирования производства метана в непрерывном режиме. Установлено значения технологических параметров, соответствующих различным режимам работы биогазовой установки в мезофильных и термофильных условиях. Максимальный выход метана с единицы объема аппарата в мезофильном режиме наблюдается при влажности субстрата 88% и времени оборота реактора 14,75 суток, а в термофильном — при влажности субстрата 92% и времени оборота реактора 4,88 суток.

Ключевые слова: куриный помет, биогаз, метановая ферментация, моделирование, режим.