

УДК: 628.356; 628.113; 628.543.

ECOTECHNOLOGICAL APPLICATION FOR THE PROCESSING OF PORK FARM WASTE

N. Bublenco, O. Semenova, T. Suleyko

National University of Food Technologies

Key words:

pork farm,
sewage,
dry substances,
humidity,
biogas,
fermentation

Article history:

Received 03.04.2019
Received in revised form
08.05.2019
Accepted 11.05.2019

Corresponding author:

tata_t2008@ukr.net

ABSTRACT

The article confirms the expediency of utilization of concentrated wastewater from food and processing industry enterprises by applying methanogenesis. This method is the most optimal, because it has technological, economic and environmental advantages over others.

The process of methane fermentation of sewage of the pork farm in periodic conditions with a humidity of 96.1 is considered; 93.8 and 91.12%. The amount of sewage that was fermented in the reactor (loading dose) was 30 and 50% of the total volume of the culture fluid. It was established that an increase in the concentration of dry matter in the culture fluid leads to an extension of the duration of adaptation of the culture, an increase in the fermentation time and a reduction of the purification effect. The required duration of the methane fermentation process (5—12 days) has been determined, depending on the loading dose and the substrate humidity. The dependence between the volume of generated biogas and the parameters of cultivation was established: the maximum biogas output was recorded in a period corresponding to the average of the accepted duration of the process. It has been verified that the potential amount of biogas decreases with an increase in the loading dose, with the same substrate humidity, and increases at lower humidity, and the rate of removal of organic matter from the substrate decreases with increasing loading of the dose and decrease in the moisture content of the substrate. The appropriateness of the selected parameters of the purification process by analyzing the energy potential of the biogas is confirmed. It is confirmed that the content of methane in biogas depends to a large extent on the parameters of the fermentation process and the composition of the digestible raw material - the content of dry substances in the substrate and loading doses. It was established that the maximum amount of methane in biogas was obtained at the highest humidity and lower loading dose, and the minimum amount of biogas — at the least humidity and more load.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-25-21

ЗАСТОСУВАННЯ ЕКОТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ СВИНОФЕРМИ

Н. О. Бублієнко, канд. техн. наук

О. І. Семенова, канд. техн. наук

Т. Л. Сулейко

Національний університет харчових технологій

Розглянуто процес метанової ферментації стічних вод свиноферм у періодичних умовах. Визначено необхідну тривалість процесу залежно від дози завантаження та вологості субстрату. Встановлено залежність між об'ємом утвореного біогазу та параметрами культивування. Підтверджено доцільність обраних параметрів процесу очищення шляхом аналізу енергетичного потенціалу отриманого біогазу.

Ключові слова: свиноферма, стічні води, сухі речовини, вологість, біогаз, збродження.

Постановка проблеми. Свинарство — динамічна та стратегічно важлива галузь, яка є однією зі складових продовольчої безпеки держави. Хоча в Україні цей сектор тваринництва знаходиться в стані перманентної кризи, екологічні проблеми, пов'язані з вирощуванням свиней залишаються актуальними. Станом на 01 серпня 2018 року поголів'я скоротилося на 4,9% — до 6,517 млн голів [1]. Для виробництва кілограма свинини потрібно 5—6 тис. дм³ води [2], більша частина з якої повертається в навколишнє середовище у вигляді рідких відходів — стічних вод, «збагачених» продуктами життєдіяльності тварини. Здійснювати скид таких стоків у відкриті водойми — справжній екологічний злочин, наслідками якого може бути повна непридатність водних джерел для використання їх в господарсько-побутових цілях.

Вирішальна роль у запобіганні забрудненню водойм стічними водами агропромислового комплексу та свиноферм, зокрема, належить і, безумовно, буде належати способам біологічного очищення стічних вод, що зумовлюється технологічними, економічними й екологічними перевагами цих способів перед іншими.

Основною стадією біологічного очищення висококонцентрованих стоків (якими є і стоки свиноферм) є метанова ферментація, якій підлягають або весь загальний стік, або лише його найбільш концентрована частина, оскільки мало-забруднені води суттєво розбавляють загальний стік. Попередньо очищена вода після метанового бродіння направляється в загальний стік, який очищається в типових аеротенках. Причому таке “попереднє очищення” дає змогу знизити концентрацію забруднень на 60—95% залежно від субстрату та умов проведення процесу. Крім того, метанове бродіння дозволяє отримати економічно цінний біогаз, що містить 50—80% метану та є газоподібним паливом.

На сьогодні практично всі розвинені країни світу для утилізації концентрованих стоків підприємств харчової та переробної промисловості застосовують метаногенез як основну стадію очищення. Широко використовується метанова обробка концентрованих стоків підприємств тваринництва, при цьому ефект очищення становить 63—85% за ХСК [3].

Мета дослідження: вивчення процесів біотрансформації висококонцентрованих стічних вод підприємств агропромислового комплексу.

Матеріали і методи. Була створена лабораторна установка для метанової ферментації рідких органічних відходів тваринництва та підприємств харчової

промисловості, здійснена модернізація деяких елементів традиційної установки для метанової ферментації з метою підвищення точності вимірювання кількості утвореного біогазу.

Враховуючи малі об'єми змодельованого обладнання та фізичні властивості субстрату, що ускладнює реалізацію безперервного метаногенезу, в лабораторних умовах проведена серія дослідів з періодичного збродження рідких стоків Броварської свиноферми з метою з'ясування енергетичного потенціалу сировини.

Метановому бродінню піддавались рідкі стічні води свиноферм з вологістю 96,1; 93,8 та 91,12%. Бродіння проводилось у метантенку з корисним об'ємом 2 дм³. Кількість стічної води, що зброджувалась у реакторі (доза завантаження), складала 30 та 50% від загального об'єму культуральної рідини. Початкові значення параметрів субстрату наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Початкові значення параметрів субстрату

Вологість, %	Сухі речовини, г/дм ³	pH початкове	ХСК, мг О ₂ /дм ³
96,1	39,15	6,9	12 592
93,8	61,92	6,8	13 350
91,12	88,63	6,8	20 025

Для визначення основних гідрохімічних і технологічних показників очищення води (ХСК, кількість біогазу, вміст метану в ньому, зброджуваність субстрату за сухими речовинами тощо) використані стандартні методики [4—5].

Результати досліджень. Процес періодичного збродження здійснювався при температурі 45°C, що, з одного боку, забезпечує необхідну інтенсивність процесу ферментації порівняно з мезофільним режимом (27—40°C), а з іншого — потребує менших енергозатрат, порівнюючи з термофільним (50—60°C).

Таблиця 2. Вплив вологості субстрату та дози завантаження на показники бродіння

Вологість субстрату, %	Доза завантаження, %	Об'єм біогазу, дм ³ /дм ³	Вміст метану, %	pH кінцеве	ХСК, кінцеве мг О ₂ /дм ³	Ефект очищення за ХСК, %
96,1	30	3,210	83,2	8	1 047	91,5
	50	5,240	80,1	8,2	1 220	90,3
93,8	30	5,202	80,9	8	1 480	88,9
	50	8,125	74,5	8,2	1 686	87,4
91,12	30	7,521	75,3	8,3	2 445	87,8
	50	11,750	68,4	8,5	2 680	86,2

Метанова ферментація при кількості субстрату 30% залежно від вологості (96,1; 93,8 та 91,12%) тривала 5, 7 та 9 діб, а при кількості субстрату 50% — 7, 9 та 12 діб відповідно. Результати дослідів наведені в табл. 2.

Для визначення максимальної активності популяції метаноутворюючих мікроорганізмів (*Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanococcus*, *Methanosarcina*, *Methanothrix*) проводилось щоденне вимірювання ХСК, кількості утвореного біогазу та вмісту метану в ньому. Динаміка утворення біогазу та зниження ХСК представлена на рис. 1—3.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що максимальний вихід біогазу зафіксовано в період, що відповідає середині прийнятої тривалості процесу.

З рис. 1—3 видно, що синтез біогазу та зменшення ХСК взаємопов'язані. Це пояснюється тим, що на початку процесу бродіння культура має найбільшу

активність і досягає піку свого розвитку, після чого спостерігається поступове уповільнення процесу метанової ферментації.

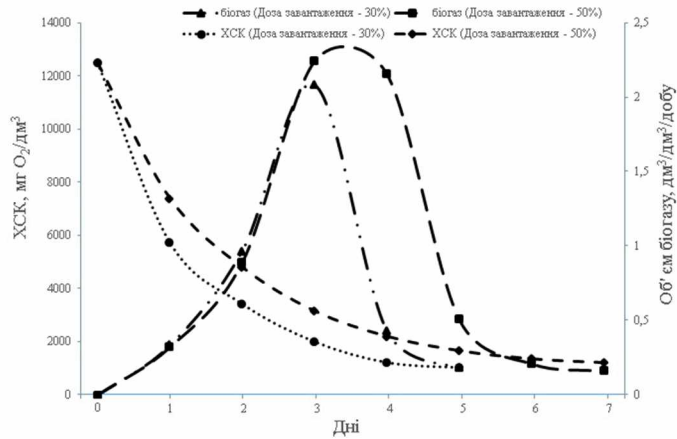


Рис. 1. Зміна об'єму біогазу та ХСК при вологості субстрату 96,1%

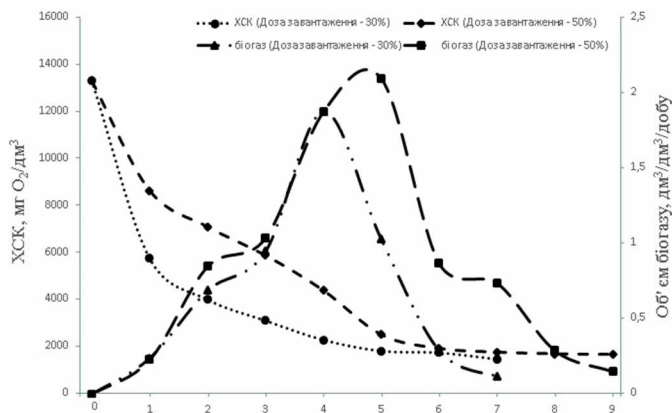


Рис. 2. Зміна об'єму біогазу та ХСК при вологості субстрату 93,8%

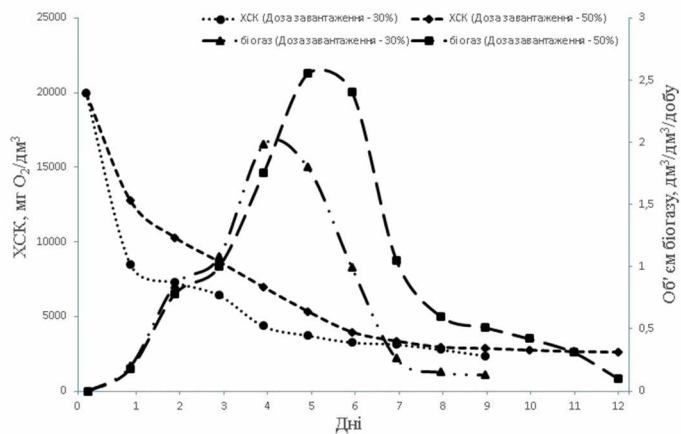


Рис. 3. Зміна об'єму біогазу та ХСК при вологості субстрату 91,12%

Максимально інтенсивне зниження ХСК відбувається на 1—2 добу процесу бродіння, в той час як період максимального газоутворення приходить на середину періоду бродіння, що пояснюється логарифмічною фазою росту культури.

Аналізуючи вихід біогазу з одиниці завантаженої сухої біомаси (табл. 3), стає зрозуміло, що потенційна кількість біогазу зменшується зі збільшенням дози завантаження при однаковій вологості субстрату та збільшується при нижчій вологості. Це свідчить про те, що підвищена кількість сухих речовин у культуральній рідині не дає змоги популяції організмів активного мулу здійснювати повну їх асиміляцію. Це, у свою чергу, впливає на тривалість бродіння та підтверджується кінцевими значеннями ХСК.

Таблиця 3. Глибина збродження і вихід біогазу з одиниці завантаженої та збродженої сировини

Вологість субстрату, %	Доза завантаження, %	Доза завантаження, г СР ¹ /дм ³ КР ²	Об'єм біогазу дм ³ /кг СР ^{завант.}	Об'єм біогазу дм ³ /кг СР ^{збродж.}	Глибина збродження, %
96,1	30	11,75	273	525	52,1
	50	19,58	260	578	46,3
93,8	30	18,58	280	588	47,6
	50	30,96	262	629	41,7
91,12	30	26,59	283	646	43,8
	50	44,32	265	694	38,2

Примітка: ¹ СР — суха речовина; ² КР — культуральна рідина.

На рис. 4 представлена залежність утворення біогазу від кількості сухих речовин дози завантаження. Видно, що більша доза завантаження спричинює зменшення об'єму утвореного газу. Але така залежність спостерігається тільки при 50-відсотковій заміні культуральної рідини свіжою порцією субстрату, а при 30%-відсотковій дозі завантаження спостерігається зворотна тенденція. Це, вочевидь, можна пояснити тим, що при меншій заміні субстрату популяція метаноутворюючих організмів може швидше адаптуватись до нової порції та більше продукувати біогазу.

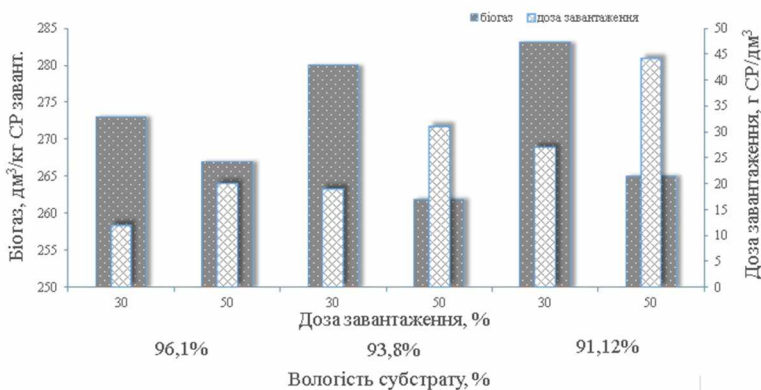


Рис. 4. Продуктивність виходу біогазу залежно від дози завантаження

Аналіз динаміки ХСК показує, що збільшення концентрації сухих речовин у культуральній рідині веде до подовження тривалості адаптації культури, збіль-

шення часу бродіння та зниження ефекту очищення (табл. 2). Так, збільшення дози завантаження при однаковій вологості субстрату знижує ефективність очищення за ХСК на 1,3; 1,7 та 1,8% відповідно вологостям 96,1; 93,8 та 91,12%. Дані дають змогу припустити, що збільшення концентрації сухих речовин субстрату призводить до того, що деякі компоненти субстрату проходять неповний шлях трансформації в гази. Це спричинює їх накопичення в культуральній рідині та зменшує ефективність очищення за ХСК і глибину збродження.

У кінцевий період бродіння криві динамік ХСК і виділення біогазу також збігаються, що свідчить про поступове затухання процесу та інактивацію культури. Процес бродіння може продовжуватись і далі, але його ефективність та продуктивність порівняно з попереднім періодом різко падає, що вказує на межі доцільності тривалості процесу.

Відомо [6—7], що кількість активного мулу при періодичному режимі відіграє значну роль для часу розбродження культуральної рідини, швидкості трансформації субстрату, якісного та кількісного складу продуктів бродіння. Так, при вологості субстрату 93,8% та дозі завантаження 50% біогазу синтезується в період розбродження на 3,7% менше, ніж при вологості 91,12% з заміною 30% культуральної рідини, незважаючи на те, що в останньому випадку сухих речовин на одиницю об'єму реактора йде менше. Це пояснюється тим, що в першому випадку концентрація активного мулу нижча, ніж у другому, і процеси відтворення культури більш інтенсивні, ніж метаногенерації, що відображається на кількості синтезованого біогазу.

Енергетична цінність біогазу визначається вмістом метану в ньому. В промислових умовах вміст метану може сягає 50—85%. Ця величина значною мірою залежить від параметрів процесу бродіння та складу зброджуваної сировини. Дані табл. 2 підтверджують, що кількість метану в біогазі залежить від вмісту сухих речовин у субстраті та дози завантаження. Так, максимальна кількість метану в біогазі (83,3%) була отримана при найбільшій вологості та дозі завантаження 30%, а мінімальна (68,4%) — при найменшій вологості та 50-відсотковому завантаженні. При меншій кількості сухих речовин у субстраті процеси біотрансформації більш ефективні, можливо культура більш економно використовує його складові, що й впливає на кількісний вміст метану в біогазі.

При цільовій утилізації забруднень метановою ферментацією одним з найважливіших показників є глибина збродження субстрату — показник, що характеризує величину вилучення органічних речовин з субстрату. На початку бродіння швидше засвоюються речовини, що легко розкладаються, а для тих, що розкладаються важче, потрібен більш тривалий час. Біорозклад свинячого гною при тривалій ферментації може досягати 90% [8], але на практиці досягнення такої величини є малодоцільним, бо потребує значного часу бродіння, що призводить до нераціонального використання об'єму реактора.

Як правило, при правильному проведенні процесу ця величина в промислових умовах складає 20—55%. Як видно з результатів, представлених у табл. 3, величина збродження зменшується зі збільшенням дози завантаження та зменшенням вологості субстрату, що також підтверджується даними інших дослідників [9].

Найбільша глибина збродження субстрату за сухими речовинами була досягнута при вологості субстрату 96,1% та дозі завантаження 30 % і становила 52,1%, а найменша — при вологості 91,12% з 50-відсотковим завантаженням і

сягала 38,2%. Аналізуючи дані, можна зробити висновок, що різниця між глибиною збродження при 30- та 50-відсотковому завантаженні та зменшенні вологості субстрату зростає, і становить, відповідно, 11,1; 12,4 та 12,8%.

Зрозуміло, що між глибиною збродження та кількістю завантажених сухих речовин існує чітка залежність, причому ці величини є обернено пропорційними: чим більше завантаженої сухої біомаси, тим менша її зброджуваність (рис. 5).

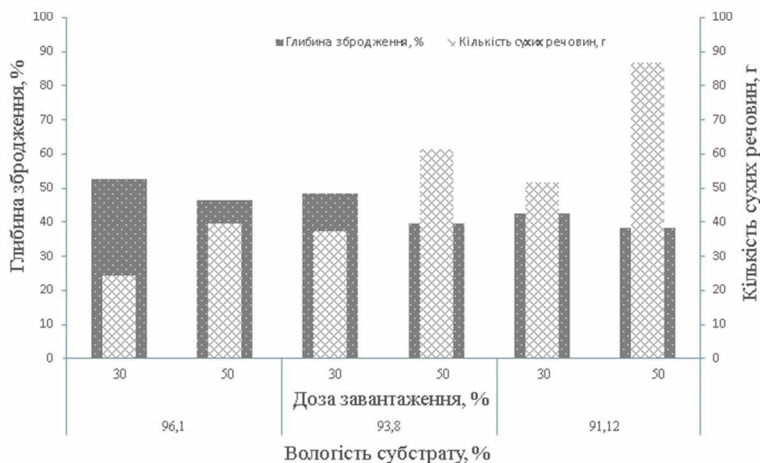


Рис 5. Залежність глибини збродження від завантажених сухих речовин субстрату

Така залежність обумовлюється тим, що при збільшенні концентрації сухих речовин у субстраті не всі його складові трансформуються до кінця, що призводить до накопичення продуктів його неповного розкладу в культуральній рідині.

Висновки. Періодичне метанове бродіння стічних вод свиноферм може бути застосовано на невеликих фермах з метою їх утилізації й отримання додаткової енергії. Залежно від вологості та дози завантаженого субстрату можна отримати біогаз у кількості 260—280 $\text{дм}^3/\text{кг}$ завантаженої сухої речовини. При вибраних дозах завантаження доцільна тривалість метанової ферментації з заданою вологістю буде 5—12 діб. Енергетична ємкість біогазу значною мірою залежить від характеристики субстрату і параметрів культивування та коливається в межах 68—83%. При метановому бродінні стічних вод свиноферм можна досягти значної ефективності процесу очищення — на рівні 86,91% вилучених забруднень за ХСК.

ЛІТЕРАТУРА

1. УкрАгроКонсалт: Інформація. Стратегії. Рост. Поголов'є свиней в Україні скоротилось почти на 5% — статистика. URL: <http://www.ukragroconsult.com/news/pogolove-svinei-v-ukraine-sokratilos-pochti-na-5-statistika> (дата звернення 20.02.2019).
2. Food Эстет. Кулинарный портал. Ученые подсчитали затраты воды на производство еды. URL: <http://www.foodeset.ru/2012/10/uchenye-podschitali-zatraty-vody-na-proizvodstvo-edy/> (дата звернення 20.02.2019).
3. Силин И. И. Экология и экономика природных ресурсов бассейна реки Протвы (Калужская и Московская области) / Силин И. И. — Калуга, ВИЭМС, 2003. — 324 с.
4. Муравьев А. Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. 3-е изд. / Муравьев А. Г. — СПб: Кримас+, 2009. — 248 с.
5. Жмур Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Жмур Н. С. — М.: АКВАРОС, 2003г. — 512с.

6. Митчел Р. Микробиология загрязненных вод / Митчел Р. — М.: Медицина, 1976. — 319 с.

7. Влияние водопотребления на эффективность метанового брожения куриного помета / А. И. Салюк, С. А. Жадан, Е. Б. Шаповалов, Р. А. Тарасенко. // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEE). — 2015. — № 15—16. — С. 53—58.

8. Рассолов С. Н. Биологический способ утилизации свиного навоза / Рассолов С.Н., Багно О. А., Беспоместных К. В. // Вестник Красноярского государственного аграрного университета, 2015, № 11. — С. 220—225.

9. Muradin M. Potential for Producing Biogas from Agricultural Waste in Rural Plants in Poland / Muradin M., Foltynowich Z. // Sustainability. — 2014. — Vol. 6(8). — P. 5065—5074.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ СВИНОФЕРМЫ

Н. А. Бублиенко, Е. И. Семёнова, Т. Л. Сулейко

Национальный университет пищевых технологий

Рассмотрен процесс метановой ферментации сточных вод свиноферм в периодических условиях. Определена необходимая продолжительность процесса в зависимости от дозы загрузки и влажности субстрата. Установлена зависимость между объемом образованного биогаза и параметрами культивирования. Подтверждена целесообразность выбранных параметров процесса очистки путем анализа энергетического потенциала полученного биогаза.

Ключевые слова: свиноферма, сточные воды, сухие вещества, влажность, биогаз, сбраживание.