

УДК 628.385

Утилізація відходів тваринництва з отриманням біогазу.

Воронцов О.О., к.т.н., НУХТ

Анотація

Стаття займає 16 сторінок, містить 4 рисунка, 12 таблиць, список використаної літератури (16 джерел).

Ключові слова: очищення стічних вод, біогаз, метан, лабораторна установка (метантенк), анаеробна (метанова) ферментація, гідрохімічні показники (ГПК, БКП₅), глибина зброджування, стоки тваринницького комплексу.

Відпрацьовано режими очищення стоків, розрахована глибина зброджування (ефективність очищення), швидкість вилучення забруднень. Визначено склад біогазу і його вихід при розкладанні забруднюючих речовин. Оптимальним режимом очищення тваринницьких і близьких до них за складом стоків можна вважати безперервну метанову ферментацію зі швидкістю розбавлення 0,021 год.⁻¹ в термофільних умовах.

Таким чином, інтенсивний розвиток промислового товарного тваринництва стає реальною екологічною загрозою внаслідок суттєвого збільшення концентрованих органічних відходів в довкіллі.

Анаеробне зброджування тваринних відходів не тільки нівелює цю загрозу, але й сприяє отриманню екологічно чистої відновленої енергії та знезаражує стоки.

Переробка стоків комплексу по вирощуванню свиней потужністю 6 000 голів на рік дає можливість отримати приблизно 400 тис. м³ біогазу, переробка стоків комплексу по вирощуванню корів потужністю 15 000 голів на рік дає можливість отримати приблизно 1 500 тис. м³ біогазу.

Аннотация

Статья занимает 16 страниц, содержит 4 рисунка, 12 таблиц, список использованной литературы (16 источников).

Ключевые слова: очистка сточных вод, биогаз, метан, лабораторная установка (метантенк), анаэробная (метановая) ферментация, гидрохимические показатели (ХПК, БКП₅), глубина сбраживания, стоки животноводческого комплекса.

Отработаны режимы очистки стоков, рассчитана глубина сбраживания (эффективность очистки), скорость изъятия загрязнений. Определен состав биогаза и его выход при разложении загрязняющих веществ. Оптимальным режимом очистки животноводческих и близких к ним по составу стоков можно считать непрерывную

метановую ферментацию со скоростью разбавления $0,021 \text{ ч}^{-1}$ в термофильных условиях.

Таким образом, интенсивное развитие промышленного товарного животноводства становится реальной экологической угрозой вследствие существенного увеличения концентрированных органических отходов в окружающей среде.

Анаэробное сбраживание животных отходов не только нивелирует эту угрозу, но и способствует получению экологически чистой восстановленной энергии и обеззараживает стоки.

Переработка стоков комплекса по выращиванию свиней мощностью 6000 голов в год дает возможность получить около 400 тыс. м³ биогаза, переработка стоков комплекса по выращиванию коров мощностью 15000 голов в год дает возможность получить примерно 1500 тыс. м³ биогаза.

Abstract.

Article occupies 16 pages, includes 4 figures, 12 tables, bibliography (16 sources)

Keywords: wastewater treatment, biogas, methane, laboratory plant (digester), anaerobic (methane) fermentation, hydro chemical (CCO BCO_5), depth attenuation, drains livestock complex.

Modes of wastewater, calculated depth fermentation (cleaning efficiency), the rate of removal of contaminants. The composition of biogas and its exit from the decomposition of pollutants. Optimal cleaning mode and livestock close to them in wastewater composition can be considered continuous methane fermentation with dilution rate of 0.021 h^{-1} in thermophiles conditions.

Thus, the intensive development of industrial commodity livestock becomes a real environmental threat due to a substantial increase of concentrated organic waste in the environment.

Anaerobic digestion of animal waste not only eliminates this threat, but also helps to ensure a clean and disinfect the recovered energy drains.

Wastewater complex hog capacity of 6,000 head per year gives you the opportunity to get about 400 thousand m³ of biogas, waste processing complex to grow cows capacity 15,000 heads per year gives you the opportunity to get about 1500 thousand m³ of biogas.

Сировинна база для виробництва біогазу.

У багатьох країнах світу достатньо сировини для організації промислового виробництва біогазу з органічних відходів сільськогосподарського виробництва. В основному це відходи тваринництва та рослинництва. Найбільш придатні для цього гнойові стоки тваринницьких ферм і комплексів.

Так, у сільському господарстві США вихід гнойових стоків становить 185 млн. т на рік (у перерахунку на суху речовину), а з урахуванням втрат щорічний обсяг гною, який може бути повністю утилізований в енергетичних цілях, оцінюється в 26 млн. т [14]. За даними Міністерства сільського господарства США, у країні є 718 тис. відгодівельних підприємств, з яких 95,5 тис. відноситься до числа великих, з високою концентрацією стоків [15]. Таким чином, існують економічні передумови для організації промислового виробництва біогазу на спеціалізованих підприємствах. Підраховано, наприклад, що анаеробна переробка гною відгодівельних ферм в біогаз в межах тільки одного штату Каліфорнія (США) дозволить щодоби виробляти 800-900 тис. м³ біогазу [16].

У тваринництві ФРН щорічний вихід гною перевищує 200 млн. т, у тому числі приблизно 30% - в рідкому вигляді. За підрахунком західнонімецьких фахівців, при анаеробній переробки такого обсягу гною в біогаз можна отримати енергію, що дорівнює 4% загальнонаціональної потреби [10].

У Великобританії частка біогазу потенційно може скласти до 3,2% від загальної кількості споживаного в країні природного газу. Переробка гною від всього поголів'я ВРХ (не рахуючи відходів від свиней і птахів) дозволить отримати щорічно кількість газу, еквівалентне 2-3 млн. т нафти [12].

У сільському господарстві Японії щорічно утворюється 56 млн. т гнойових стоків. З переходом на інтенсивне виробництво тваринницької продукції, при сучасному рівні технології фахівці країни вважають економічно доцільним переробляти всю гнойову масу для отримання біогазу в обсязі 1,7 млрд. м³, що становить майже 18 % всіх енерговитрат у сільському господарстві, а залишилася маси переробленого гною вистачить як добрива на 5,7 млн. га сільськогосподарських угідь [13].

За умови використання сучасних технологій анаеробної переробки в КНР в рік можна переробити 230 млн. т відходів і виробляти до 110 млрд. м³ біогазу [3].

За даними Індійського національного ради з прикладних досліджень, в сільському господарстві Індії утворюється 1335 млн. т вологого гною на рік. З цієї кількості можна отримати $8,5 \times 10^{10}$ м³ біогазу, а залишковий шлам буде містити 2,65 млн. т азоту, 1,22 млн. т P₂O₅ і 2 млн. т K₂O, а також інші поживні елементи [1].

З зростанням народонаселення та підвищення півня життя у країнах Азії суттєво зростає споживання м'яса, що в свою чергу сприяє інтенсивному розвитку тваринництва та птахівництва. В середньому за 2007 рік поголів'я скота становило:

Таблиця № 1.

Поголів'я скота (млн. голів)

Регіон	ВРХ	Свині	Вівці
1	2	3	4
Європа, у тому числі:			
Австрія	2,0	3,2	0,3
Албанія	0,6	0,2	1,8
Беларусь	4,0	3,6	0,1
Бельгія	2,7	6,3	0,2
Болгарія	0,6	0,9	1,6
Венгрія	0,7	3,9	1,4
Германія	12,7	26,5	2,6
Греція	0,6	0,9	8,8
Данія	1,6	12,6	0,2
Ірландія	6,9	1,6	6,0
Іспанія	6,5	25,1	22,5
Італія	6,5	9,2	8,0
Латвія	0,4	0,4	0,04
Літва	0,8	1,1	0,03
Нідерланди	3,7	11,3	1,7
Норвегія	0,9	0,8	2,4
Польща	5,6	18,9	0,3
Португалія	1,4	2,3	3,6
Македонія	0,2	0,2	1,2
Молдова	0,3	0,5	0,9
Росія	21,5	15,9	17,5
Румунія	2,9	6,6	7,6
Словакія	0,5	1,1	0,3
Словенія	0,5	0,5	0,1
Великобританія	10,2	4,9	34,7
Україна	6,2	8,1	1,6
Фінляндія	0,9	1,4	0,1
Франція	19,4	14,8	8,9
Чехія	1,4	2,8	0,1
Швейцарія	1,6	1,7	0,4
Швеція	1,6	1,7	0,5
Естонія	0,2	0,3	0,05
Азія, у тому числі:			
Азербайджан	2,4	0,02	7,7

1	2	3	4
Бангладеш	25,4		1,3
Вірменія	0,6	0,1	0,6
В'єтнам	9,4	26,1	...
Грузія	...	0,5	0,8
Ізраїль	0,4	0,2	0,4
Індія	278	14	62,9
Індонезія	13,6	6,8	8,3
Іран	10,2		52,2
Казахстан	5,7	1,3	14,3
Киргизія	1,1	0,1	3,9
Китай	141	489	171
Пакистан	53,9		24,9
Корея	2,5	9	
Таджикистан	1,4	0,001	3,1
Таїланд	7,8	8	0,04
Туркменія	...		16,6
Турція	10,6		25,2
Узбекистан	7,0	0,1	11,4
Філіппіни	5,9	12,1	0,03
Японія	4,4	9,6	0,01
Африка, у тому числі:			
Алжир	1,6		18,9
Ангола	4,2	0,8	0,3
Конго	0,8	1,0	0,9
Єгипет	8,4		5,2
Марокко	2,7		16,9
Нігерія	15,9	6,7	23,0
Танзанія	17,7	0,5	3,5
Судан	40,5		49,8
Ефіопія	43,1		20,7
Південна - Африканська Республіка	13,8	1,7	25,3
Америка, у тому числі:			
Аргентина	50,8	1,5	12,5
Болівія	7,5	2,4	8,8
Бразилія	208	34,1	15,6
Канада	14,8	14,6	1,0
Мексика	28,6	15,3	7,6
США	96,7	61	6,1
Чилі	4,2	3,5	3,4

1	2	3	4
Австралія та Океанія, у тому числі:			
Австралія	28,6	2,5	101
Нова Зеландія	9,7	0,3	39,9
Індія	278		

В зв'язку з цим значно збільшуються обсяги навозу та пташиного посліду і утилізація його стає нагальною проблемою.

Таблиця № 2.

Кількість відходів від тварин і птахів у світі, млн. т (в перерахунку на сухі речовини (СР))

Регіон	ВРХ	Свині	Вівці	Птиця
1	2	3	4	5
Європа, у тому числі:	495,39	60,91	22,68	38,26
Беларусь	9,99	0,99	0,07	0,75
Бельгія	4,07			0,48
Болгарія	2,39	0,75	1,02	
Венгрія	2,58	1,66	0,28	
Германія	19,71	4,45	0,11	1,35
Данія	3,94	1,85		0,23
Ірландія	6,47		0,34	
Іспанія	6,04	2,3	1,41	0,82
Італія	11,3	1,93	0,84	1,82
Латвія	1,88	0,33	0,02	0,19
Літва	3,29	2,53	0,01	0,27
Нідерланди	6,7	1,91		1,17
Польща	16,31	4,14	0,36	
Молдова	1,58	0,39	0,12	0,37
Росія	78,84	7,62	6,26	10,48
Румунія	8,56	2,15	1,55	
Словачія	3,21	0,75	0,04	
Великобританія	17,74	1,37	2,91	1,85
Україна	35,08	4,12	0,19	4,45
Франція	30,88	2,31	1,16	3,00
Чехія	3,24	0,79	0,07	
Швеція		0,53		
Естонія	1,18	0,22	0,02	0,12
Азія, у тому числі:	497,80	85,89	14,42	
Азербайджан	2,63	0,04	0,53	0,48

1	2	3	4	5
Вірменія	1,18	0,06	0,18	0,20
Грузія	2,10	0,22	0,18	0,38
Індія	238,89		4,00	
Іран			3,27	
Казахстан	11,83	0,53	3,50	0,89
Киргизія	1,45	0,06	1,02	0,20
Китай	84,1	60,20	9,25	
Таджикистан	1,71	0,04	0,30	0,13
Туркменія	0,92	0,04	0,44	0,1
Турція			4,26	
Узбекистан	5,39	0,14	0,92	0,56
Японія	5,39	2,03		4,6
Африка, у тому числі:	312,95	3,46	12,12	
Південна - Африканська Республіка			3,06	
Америка	557,94	34,03	5,24	21,87
Аргентина	79,10	0,75	3,43	0,51
Бразилія	118,26	6,60		4,86
Канада	16,16	1,57		1,48
Мексика	39,29	3,55	0,63	2,60
США	145,72	11,84	1,18	6,17
Австралія	65,50	0,93	20,70	
Австралія	35,61	0,49	13,04	0,67
Нова Зеландія	11,17	0,08	6,03	0,94

Із зазначеного в табл.1 кількість відходів для виробництва біогазу можна використовувати лише частину, розмір якої залежить від можливості та економічної доцільності збору цих відходів. Найбільш вигідне виробництво біогазу при концентрації тварин і птахів на великих фермах, де відходи збирають у сховища. Ці умови в різних країнах не однакові. У Великобританії вважають, що в середньому з виділених екскрементів ВРХ можна отримати енергію біогазу, рівну 15,7 ГДж / рік, що становить 33,2 % від усього потенціалу енергії, що утворюється при переробці всіх екскрементів [7]. Так як свині в основному містяться в закритих приміщеннях, в яких простіше здійснити збір екскрементів, то в Данії, наприклад, вважають, що при переробці екскрементів від свині в середньому можна отримати 1,22 ГДж енергії на рік, що становить 68,5 % від потенціалу енергії, при переробці всіх екскрементів свиней [7]. У Великобританії вважають [7], що при використанні посліду курей для виробництва біогазу

можна отримати 68,3 % від енергії, одержуваної при переробці всього посліду.

Визначення оптимальних режимів біоконверсії.

Залежно від мети ферментації (очищення стічної рідини, отримання добрив, кормового вітаміну B12 або біогазу) необхідні різні режими роботи метантенків.

На тваринницьких комплексах існує можливість використання нероздільного стоку і стоку роздільного на фракції. У табл. Знаведені фізико – хімічні показники фільтрованого стоку свиногокомплексу.

Таблиця № 3.

Фізико - хімічний склад стічних вод свиногокомплексу.

№	Показники	Величина
1	pH	6,8 ± 0,1 - 7,5 ± 0,2
2	ХПК , г O ₂ × л ⁻¹	6,0 ± 0,5 - 12,0 ± 0,17
3	БПК , г O ₂ × л ⁻¹	2,8 ± 0,2 - 6,7 ± 0,1
4	Летючі жирні кислоти , г × л ⁻¹	0,24 ± 0,09 - 1,40 ± 0,11
5	Молочна кислота , г × л ⁻¹	0,067 ± 0,007 - 0,100 ± 0,002
6	Карбонати , г × л ⁻¹	4,0 ± 0,5 - 8,0 ± 0,7
7	Нітрати , г × л ⁻¹	0,010 ± 0,001 - 0,055 ± 0,002
8	Нітрити , г × л ⁻¹	0,009 ± 0,001 - 0,012 ± 0,001
9	Хлориди , г × л ⁻¹	0,045 ± 0,002 - 2,700 ± 0,017
10	Фосфати , г × л ⁻¹	0,015 ± 0,003 - 0,065 ± 0,010
11	Амонійний азот , г × л ⁻¹	0,20 ± 0,02 - 0,40 ± 0,03
12	Сечовина , г × л ⁻¹	1,0 ± 0,3 - 3,0 ± 0,2
13	Сульфати , г × л ⁻¹	0,26 ± 0,01 - 0,30 ± 0,01
14	Загальна лужність , г екв. × л ⁻¹	0,02 ± 0,01 - 0,05 ± 0,01
15	Жорсткість , г екв. × л ⁻¹	0,020 ± 0,009 - 0,130 ± 0,014
164	Зважені речовини , г × л ⁻¹	1,5 ± 0,5 - 5,0 ± 1,0
17	Сухий залишок , г × л ⁻¹	1,2 ± 0,1 - 1,5 ± 0,2
18	Зольність , %	0,4 ± 0,1 - 0,25 ± 0,01
19	Загальний азот , %	0,15 ± 0,02 - 0,25 ± 0,01

У практиці очищення стічних вод прийнято вважати, що при співвідношенні БПК / ХПК > 0,5 необхідно застосовувати біохімічні методи очищення (1). Для даної категорії стоків (за усередненими даними) відношення БПК до ХПК, в основному , перевищує цю величину, що відповідає вимогам , пред'явленим до стічній воді, що надходить на біохімічну очистку. Вміст азоту і фосфору має задовольняти співвідношенню БПК: N: = 100:5:1. Для даної категорії стічної води це співвідношення становило: при нижньої межі значень 100:37:0,9; при верхній - 100:53 , 6:0,45. Слід враховувати, що в процесі розкладання органічних речовин кількість амонійного азоту буде збільшуватися.

Попереднє очищення таких стоків доцільно проводити в анаеробних умовах з використанням метанової ферментації. Процес очищення стоків

проводили в навіл безперервному режимі. Швидкість розбавлення дорівнювала $0,0042 \text{ ч}^{-1}$; $0,0084 \text{ ч}^{-1}$; $0,0168 \text{ ч}^{-1}$, тобто доза завантаження становила 10, 20 і 40% від робочого об'єму метантенка. На 5-7 добу після запуску метантенків процес стабілізувався, при цьому вміст летючих жирних кислот становив $0,40 \pm 0,01 - 0,60 \pm 0,05 \text{ г} \times \text{л}^{-1}$. Контроль за ходом процесу здійснювали за кількістю утворився біогазу, ХПК, БЛК₅, рН та концентрації легких жирних кислот. При початковому значенні рН $7,5 \pm 0,2$ стічних вод, що надходить в метантенки, біогаз виділяється протягом усього періоду бродіння з оптимум рН $7,8 \pm 0,1$ і $7,6 \pm 0,2$ для мезофільних і термофільних умов відповідно. Результати досліджень процесу метанового бродіння в мезофільних і термофільних умовах при різних швидкостях розбавлення наведені в табл. 4-9.

Таблиця № 4 .

Показники процесу метанового бродіння в мезофільних умовах при швидкості розведення $0,0042 \text{ ч}^{-1} / \text{М} \pm \text{m} /$

Тривалість, діб.	Газ, $\text{л} \times \text{сут}^{-1}$	ХПК, $\text{г} \times \text{л}^{-1}$, БПК ₅ , $\text{г} \times \text{л}^{-1}$	Зброджування, E, %	
				по ХПК	по БПК ₅
0	-	$6,0 \pm 0,5$	$2,80 \pm 0,20$	-	-
1	0,6	$4,0 \pm 0,4$	$1,80 \pm 0,21$	33 ± 4	35 ± 9
2	1,7	$2,0 \pm 0,1$	$1,20 \pm 0,09$	88 ± 2	57 ± 2
3	1,9	$1,7 \pm 0,1$	$1,10 \pm 0,05$	72 ± 1	63 ± 1
4	2,1	$1,6 \pm 0,1$	$1,00 \pm 0,02$	73 ± 1	64 ± 1
5	2,3	$1,5 \pm 0,1$	$0,92 \pm 0,01$	75 ± 1	67 ± 1
6	2,3	$1,4 \pm 0,1$	$0,80 \pm 0,03$	77 ± 1	71 ± 1
7	2,5	$1,0 \pm 0,2$	$0,80 \pm 0,02$	83 ± 3	71 ± 2
8	2,5	$1,0 \pm 0,1$	$0,67 \pm 0,06$	83 ± 2	76 ± 2
9	2,5	$1,0 \pm 0,1$	$0,67 \pm 0,04$	83 ± 4	76 ± 4
10	2,5	$1,0 \pm 0,2$	$0,67 \pm 0,03$	83 ± 3	76 ± 2

Таблиця № 5.

Показники процесу метанового бродіння в мезофільних умовах при швидкості розведення $0,0084 \text{ ч}^{-1} / \text{М} \pm \text{m} /$

Тривалість, діб.	Газ, $\text{л} \times \text{сут}^{-1}$	ХПК, $\text{г} \times \text{л}^{-1}$, БПК ₅ , $\text{г} \times \text{л}^{-1}$	Зброджування, E, %	
				по ХПК	по БПК ₅
0	-	$8,0 \pm 0,5$	$4,2 \pm 0,1$	-	-
1	0,5	$6,3 \pm 0,2$	$3,8 \pm 0,1$	23 ± 1	12 ± 1
2	1,0	$6,0 \pm 0,3$	$3,6 \pm 0,2$	25 ± 1	14 ± 1
3	1,8	$4,2 \pm 0,2$	$2,8 \pm 0,1$	48 ± 1	33 ± 2
4	2,4	$4,0 \pm 0,1$	$2,6 \pm 0,1$	50 ± 2	38 ± 1
5	3,0	$2,5 \pm 0,3$	$1,8 \pm 0,3$	69 ± 2	57 ± 5
6	3,0	$2,0 \pm 0,1$	$1,2 \pm 0,1$	75 ± 1	71 ± 2
7	3,1	$2,0 \pm 0,1$	$1,1 \pm 0,1$	75 ± 2	74 ± 1
8	3,1	$7,1 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,2$	78 ± 2	76 ± 2
9	3,2	$1,5 \pm 0,1$	$1,0 \pm 0,2$	81 ± 1	76 ± 1
10	3,2	$1,5 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,1$	81 ± 3	76 ± 1

Таблиця № 6.

Показники процесу метанового бродіння в мезофільних умовах при швидкості розведення $0,0168 \text{ ч}^{-1} / \text{M} \pm \text{m} /$

Тривалість, діб.	Газ, $\text{л} \times \text{сут}^{-1}$	ХПК, $\text{г} \times \text{л}^{-1}$, БПК ₅ , $\text{г} \times \text{л}^{-1}$	Зброджування, E, %	
				по ХПК	по БПК ₅
0	-	$7,2 \pm 0,1$	$4,00 \pm 0,30$	-	-
1	2,5	$6,5 \pm 0,2$	$3,30 \pm 0,10$	12 ± 4	17 ± 1
2	2,7	$5,2 \pm 0,4$	$3,10 \pm 0,07$	28 ± 5	22 ± 1
3	2,7	$3,2 \pm 0,3$	$1,85 \pm 0,07$	56 ± 1	54 ± 1
4	3,4	$3,0 \pm 0,2$	$1,70 \pm 0,02$	58 ± 1	57 ± 1
5	3,7	$2,1 \pm 0,1$	$1,20 \pm 0,01$	71 ± 1	70 ± 2
6	4,8	$1,8 \pm 0,1$	$0,97 \pm 0,04$	75 ± 1	76 ± 1
7	4,8	$1,2 \pm 0,02$	$0,94 \pm 0,02$	83 ± 2	76 ± 2
8	4,9	$1,2 \pm 0,1$	$0,85 \pm 0,01$	83 ± 3	76 ± 1
9	5,0	$1,2 \pm 0,2$	$0,85 \pm 0,02$	83 ± 2	76 ± 3
10	5,2	$1,2 \pm 0,1$	$0,85 \pm 0,02$	83 ± 1	76 ± 1

Таблиця № 7.

Показники процесу метанового бродіння в термофільних умовах при швидкості розведення $0,0042 \text{ ч}^{-1} / \text{M} \pm \text{m} /$.

Тривалість, діб.	Газ, $\text{л} \times \text{сут}^{-1}$	ХПК, $\text{г} \times \text{л}^{-1}$, БПК ₅ , $\text{г} \times \text{л}^{-1}$	Зброджування, E, %	
				по ХПК	по БПК ₅
0	-	$6,0 \pm 0,5$	$2,80 \pm 0,20$	-	-
1	0,6	$4,80 \pm 0,11$	$2,00 \pm 0,17$	20 ± 4	28 ± 3
2	2,0	$2,00 \pm 0,20$	$1,20 \pm 0,13$	66 ± 3	57 ± 2
3	2,2	$1,38 \pm 0,30$	$0,98 \pm 0,01$	75 ± 2	66 ± 1
4	2,4	$1,30 \pm 0,10$	$0,95 \pm 0,02$	78 ± 1	68 ± 1
5	2,8	$1,15 \pm 0,07$	$0,82 \pm 0,03$	81 ± 1	71 ± 1
6	3,6	$1,00 \pm 0,08$	$0,80 \pm 0,02$	83 ± 1	74 ± 1
7	4,1	$0,95 \pm 0,01$	$0,74 \pm 0,02$	84 ± 1	77 ± 2
8	4,1	$0,90 \pm 0,01$	$0,74 \pm 0,01$	85 ± 2	77 ± 1
9	4,6	$0,80 \pm 0,03$	$0,60 \pm 0,03$	87 ± 3	78 ± 3
10	4,6	$0,80 \pm 0,02$	$0,60 \pm 0,02$	87 ± 1	78 ± 2

Таблиця № 8.

Показники процесу метанового бродіння в термофільних умовах при швидкості розведення $0,0084 \text{ ч}^{-1} / \text{M} \pm \text{m} /$

Тривалість, діб.	Газ, $\text{л} \times \text{сут}^{-1}$	ХПК, $\text{г} \times \text{л}^{-1}$	БПК ₅ , $\text{г} \times \text{л}^{-1}$	Зброджування, E, %	
				по ХПК	по БПК ₅
1	2	3	4	5	6
0	-	$8,0 \pm 1,4$	$4,20 \pm 0,77$	-	-
1	1,8	$4,1 \pm 0,4$	$2,80 \pm 0,21$	49 ± 2	33 ± 3
2	2,0	$3,4 \pm 0,1$	$1,70 \pm 0,06$	57 ± 2	59 ± 4
3	2,5	$2,8 \pm 0,2$	$1,10 \pm 0,04$	65 ± 1	74 ± 1
4	2,5	$2,5 \pm 0,1$	$0,98 \pm 0,01$	69 ± 1	76 ± 1
5	3,0	$2,1 \pm 0,1$	$0,97 \pm 0,01$	74 ± 1	77 ± 1

1	2	3	4	5	6
6	4,5	1,8 ± 0,1	0,92 ± 0,02	77 ± 2	78 ± 1
7	4,6	1,1 ± 0,3	0,70 ± 0,05	86 ± 3	83 ± 2
8	4,6	1,1 ± 0,2	0,70 ± 0,03	86 ± 2	83 ± 3
9	4,9	1,0 ± 0,1	0,60 ± 0,02	87 ± 1	86 ± 2
10	4,9	1,0 ± 0,2 0,	60 ± 0,01	87 ± 2	86 ± 1

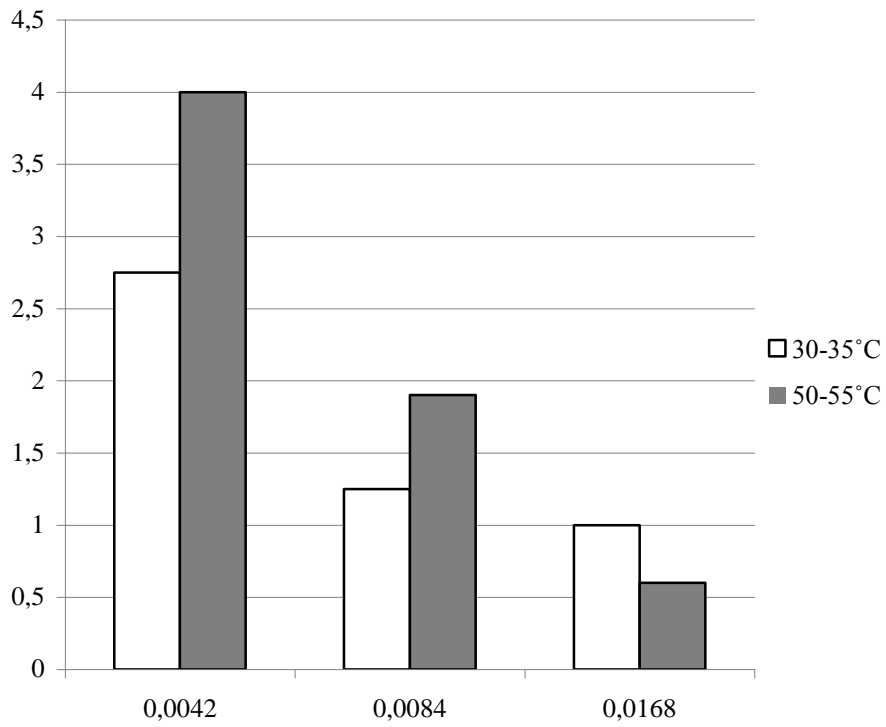
Таблиця №. 9.

Показники процесу метанового бродіння в термофільних умовах при швидкості розведення $0,0168 \text{ ч}^{-1} / \text{М} \pm \text{m} /$.

Тривалість, діб.	Газ, л × сут ⁻¹	ХПК, г × л ⁻¹	, БПК ₅ , г × л ⁻¹	Зброджування, E, %	
				по ХПК	по БПК ₅
0	-	7,20 ± 1,10	4,00 ± 0,03	-	-
1	2,4	3,50 ± 0,34	1,90 ± 0,21	51 ± 2	52 ± 3
2	3,5	2,70 ± 0,11	1,10 ± 0,04	65 ± 3	72 ± 1
3	3,7	2,7 ± 0,04	0,94 ± 0,01	76 ± 1	75 ± 1
4	4,0	1,60 ± 0,01	0,90 ± 0,02	77 ± 1	77 ± 1
5	4,7	1,30 ± 0,01	0,83 ± 0,02	82 ± 1	78 ± 1
6	4,9	1,00 ± 0,01	0,81 ± 0,01	86 ± 1	79 ± 1
7	5,0	0,92 ± 0,02	0,75 ± 0,02	87 ± 2	81 ± 1
8	5,0	0,92 ± 0,01	0,70 ± 0,01	87 ± 1	82 ± 2
9	5,0	0,80 ± 0,02	0,70 ± 0,01	88 ± 2	82 ± 1
10	5,0	0,80 ± 0,03	0,70 ± 0,02	88 ± 3	82 ± 1

Отримані дані свідчать про те, що глибина зброджування субстрату залежить від швидкості розведення і температурних умов. У мезофільних умовах глибина зброджування по ХПК становить 81-83 %, по БПК₅ - 76 %, в термофільних умовах глибина зброджування збільшується до 87-88% за ХПК та до 86% по БПК₅. Якщо метою ферментації є очищення води від органічних забруднень, то час її перебування в метантенку необхідно збільшувати. Для досягнення найбільшої продуктивності по газу слід підібрати такі значення швидкості розведення, щоб з одиниці об'єму реактора знімати найбільшу кількість газу, але глибина зброджування при цьому буде зменшуватися. При збільшенні швидкості розведення вихід біогазу при видаленні одиниці забруднень зменшується як в мезофільних, так і в термофільних умовах (рис.1 та 2.)

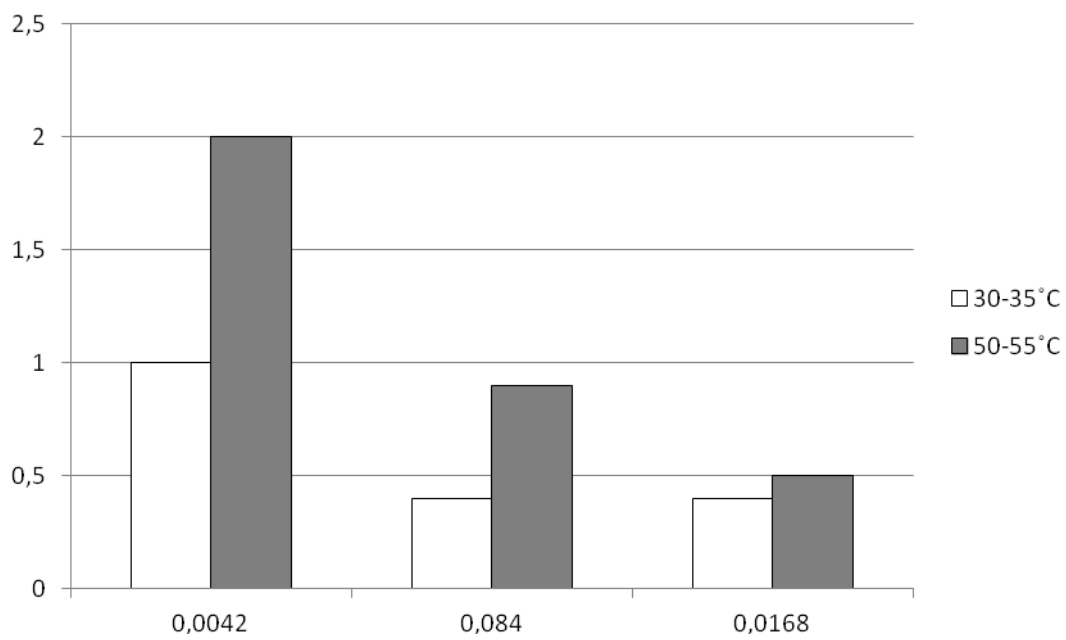
$P, \text{л} \times \text{дiб}^{-1}$



D, τ^{-1}

Рис. 1. Вихід біогазу з одиниці забруднень (по ХПК) залежно від швидкості розбавлення.

$P, \text{л} \times \text{дiб}^{-1}$



D, τ^{-1}

Рис. 2. Вихід біогазу з одиниці забруднень (по БПК₅) залежно від швидкості розбавлення.

Вихід біогазу при знятті одиниці забруднень визначався за формулою:

$$P = \frac{F}{V(S^0 - S\tau) \times D} \quad (1)$$

де :

F - вихід газу , л . добу –¹

V - робочий об'єм метантенка , л;

D - швидкість розведення , ч⁻¹

Наприклад , на 1 кг забродженого БПК виділяється, за даними [8], 0,334 м³ біогазу. З 1 кг забродженої органічної речовини може бути отримано від 0,222 м³ [2] до 0,7 м³ [5] .

Максимальна продуктивність може бути визначена з умови :

$$\frac{E}{\tau} \rightarrow \max \quad (2)$$

де глибина зброджування E по ХПК , БПК₅ , вуглецю та ін. залежить від швидкості розведення $D = \frac{1}{\tau}$, при E і $\tau \rightarrow \infty$.

Швидкість вилучення забруднень з визначення пов'язана з навантаженням по речовині / N / і, отже , зі швидкістю розбавлення :

$$A = D \times S \quad (3)$$

Або

$$N = \frac{S^0 - S\tau}{\tau} = (S_0 - S\tau) \times D \quad (4)$$

Відомо, що з підвищенням температури до певної межі процес утилізації субстрату протікає інтенсивніше.

N, г×л⁻¹×τ⁻¹

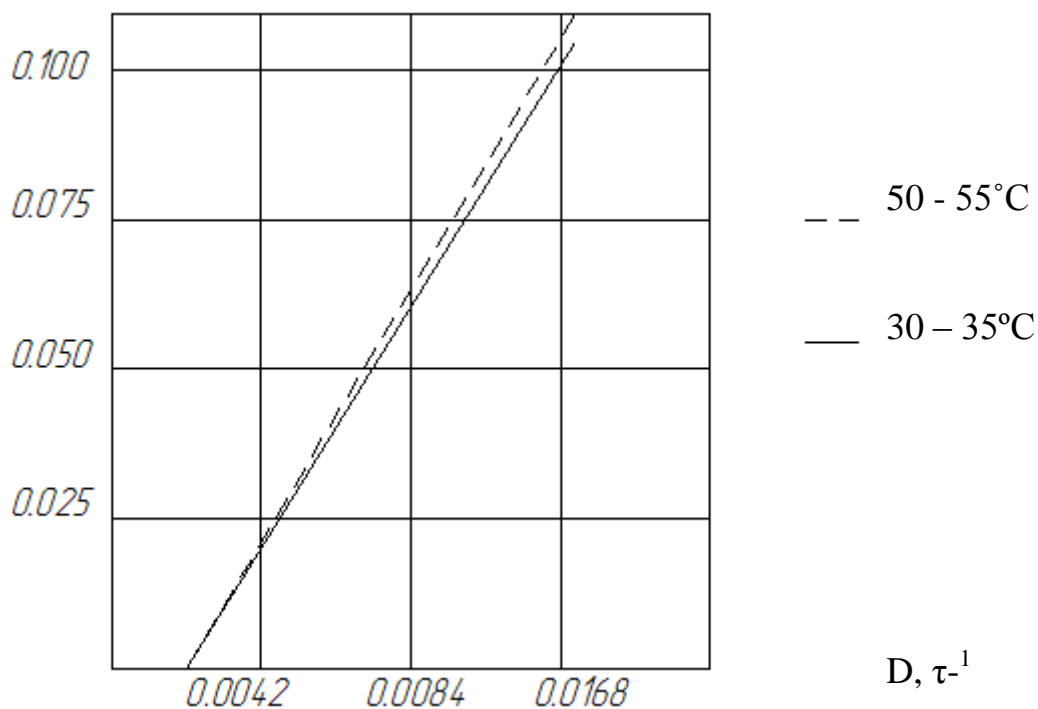


Рис. 3. Залежність швидкості видалення забруднень (по ХПК) від швидкості розведення
 $N, \text{г} \times \text{л}^{-1} \times \tau^{-1}$

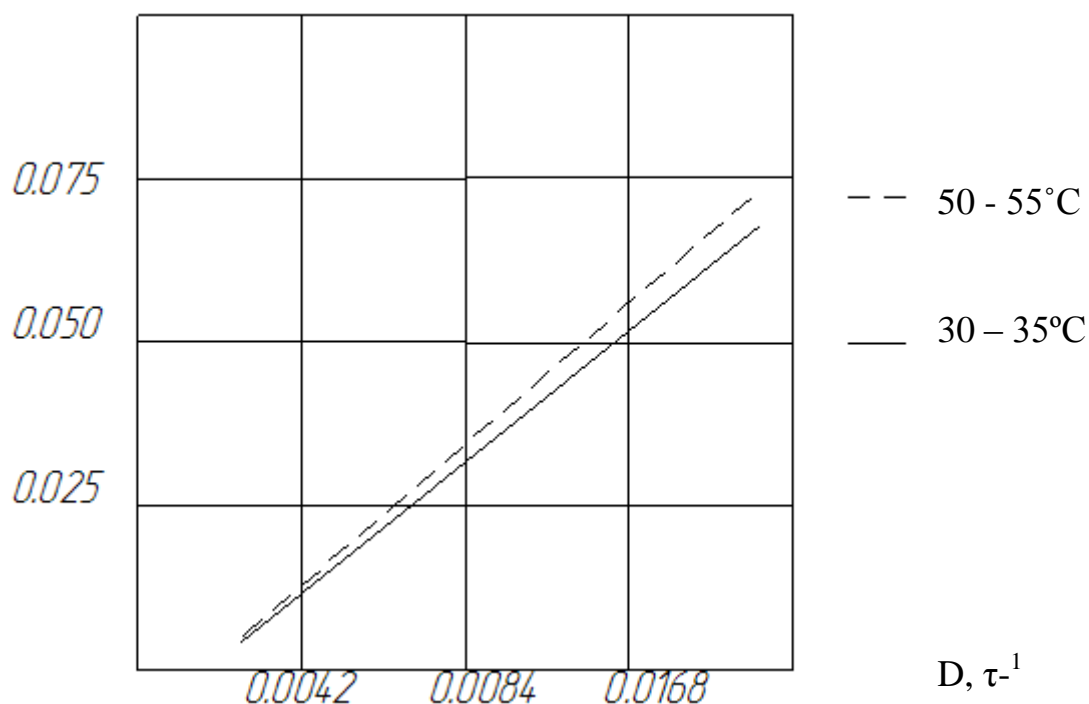


Рис. 4. Залежність швидкості видалення забруднень (по БПК₅) від швидкості розведення.

Так, із збільшенням швидкості розведення швидкість вилучення забруднень збільшаться від 0,02 до 0,10 за ХПК і від 0,01 до 0,55 по БПК₅ по лінійної залежності. Для визначень кінцевих гідрохімічних показників метанової ферментації проведені дослідження в безперервному режимі зі швидкістю розбавлення $0,021 \text{ ч}^{-1}$, близькій з розрахункової ($0,026 \text{ ч}^{-1}$).

Таблиця № 10.

Гідрохімічні показники стічної води після метанового зброджування (термофільні умови) при швидкості розведення $0,026 \text{ ч}^{-1}$ ($M \pm m$).

№	Показники	Вхідна вода	Очищена вода
1	2	3	4
1	pH	$7,0 \pm 0,2$	$7,8 \pm 0,1$
2	ХПК, $\text{г} \text{O}_2 \times \text{л}^{-1}$	$18,0 \pm 0,05$	$-0,8 \pm 0,1$
3	Летючі жирні кислоти, $\text{г} \times \text{л}^{-1}$	$1,53 \pm 0,02$	$0,75 \pm 0,04$
4	Карбонати, $\text{г} \times \text{л}^{-1}$	$17,92 \pm 0,31$	$1,4 \pm 0,04$
5	Нітрати, $\text{г} \times \text{л}^{-1}$	$0,050 \pm 0,009$	$0,006 \pm 0,001$
6	Хлориди, $\text{г} \times \text{л}^{-1}$	$0,99 \pm 0,07$	$0,14 \pm 0,02$
7	Фосфати, $\text{г} \times \text{л}^{-1}$	$0,063 \pm 0,002$	$0,032 \pm 0,002$
8	Амонійний азот, $\text{г} \times \text{л}^{-1}$	$0,155 \pm 0,012$	$0,285 \pm 0,012$
9	Сечовина, $\text{г} \times \text{л}^{-1}$	$3,0 \pm 0,3$	0

1	2	3	4
10	Загальна лужність , г екв. \times л ⁻¹	0,028 \pm 0,007	0,022 \pm 0,007
11	Жорсткість , г екв. \times л ⁻¹	0,042 \pm 0,002	0,022 \pm 0,001
12	Зважені речовини , г \times л ⁻¹	3,46 \pm 0,32	0,90 \pm 0,05
13	Сухий залишок , г \times л ⁻¹	1,27 \pm 0,11	0,80 \pm 0,03

Рекомендованими кінцевими показниками перед очистки фільтрованого стоку тваринницького комплексу можна вважати : рН - 7,8; ХПК- 0,8 г О₂ \times л⁻¹; летючі жирні кислоти - 0,75 г \times л⁻¹; хлориди - 0,14 г \times л⁻¹; нітрати - 0,006 г \times л⁻¹; карбонати 1,4 г \times л⁻¹; фосфати - 0,092 г \times л⁻¹; амонійний азот - 0,285 г \times л⁻¹. Така вода придатна для обробки в аеробних умовах.

При обробці тваринницьких стоків у метантенках відбувається значне зниження бактеріологічних показників. Так в мезофільних умовах коли-титр підвищується по 10-3 , а в термофільних умовах ріст кишкової палички на середовищі Ендо не спостерігалось, що підтверджує знезаражувальний ефект термофільного метанового бродіння.

Таблиця № 11.

Санітарно - бактеріологічні показники стічних вод тваринницького комплексу при метанової ферментації.

Показники	Вхідна вода	Очищена вода, режими	
		мезофільний	термофільний
КУО в 1 мл	20 \times 10 ⁶ - 50 \times 10 ⁸	8 \times 10 ⁶	2 \times 10 ⁵
Колі титр	10 ⁷ - 10 ⁹	10 ⁴ - 10 ³	-

Отже , оптимальним режимом на тваринницьких і близьких до них за складом стоків можна вважати безперервну метанову ферментацію зі швидкістю розбавлення 0,021 ч⁻¹ в термофільних умовах. Біогаз , що утворюється в процесі метанового бродіння стічних вод тваринницьких комплексів , містить в середньому 60-65 % метану і 35-40 % діоксиду вуглецю. Якісний склад газу не залежить а ні від розпаду органічної речовини, а ні від швидкості розведення субстрату , але змінюється при порушенні температурного режиму.

У таблиці 12 наведено якісний склад біогазу, що утворюється в процесі метанового бродіння стічних вод тваринницького комплексу.

Таблиця № 12.

Якісний і кількісний склад біогазу.

Показники	Зброджування, режими	
	мезофільний	термофільний
Метан , %	58 \pm 4	64 \pm 4
Діоксид вуглецю , %	36 \pm 4	42 \pm 4
Водень , %	0,5	-

На склад газу впливає кислотність середовища, при порушенні лужного режиму склад газу змінюється.

Сірководень утворюється при закисанні середовища виявляється характерним запахом.

Теплотворна здатність біогазу, що утворюється в процесі метанового бродіння тваринницьких стоків, наближається до теплотворної здатності природного газу і перевищує 5000 ккал. Так, при вмісті в біогазі 56 % метану, теплотворна здатність його дорівнює 5331 ккал/м³; при вмісті 70 % метану - відповідає 6664 ккал/м³. Таким чином, теплотворна здатність генеруемого газу може бути прийнята 5792 ккал/м³. Паливна характеристика біогазу може бути підвищена шляхом відділення діоксиду вуглецю.

Таким чином, інтенсивний розвиток промислового товарного тваринництва стає реальною екологічною загрозою внаслідок суттєвого збільшення концентрованих органічних відходів в довкіллі.

Анаеробне зброджування тваринних відходів не тільки нівелює цю загрозу, але й сприяє отриманню екологічно чистої відновленої енергії та знезаражує стоки.

Переробка стоків комплексу по вирощуванню свиней потужністю 6 000 голів на рік дає можливість отримати приблизно 400 тис. м³ біогазу, переробка стоків комплексу по вирощуванню корів потужністю 15 000 голів на рік дає можливість отримати приблизно 1 500 тис. м³ біогазу.

При термофільному анаеробному зброджуванні стоків тваринництва в лабораторних умовах отримувалося 2-5 л біогазу на добу з 1л стоків.

Література

1. *Баадер В., Доне Е., Брендофер М.* Биогаз: теория и практика. Пер. с нем. М.И. Серебряного. – М: 1982. -148с.
2. *Бабич О.С., Кухаренко П.М., Улексін В.О.* Біогаз як місцевий енергоресурс для сільськогосподарських підприємств: Матеріали науково-технічної конференції. Дніпропетровськ. – 2010. – С. 88-90.
3. *Бородавченко И.И.* Проблема государственного значения // Материал VI международного совещания ученых социалистических стран по использованию сточных вод в сельском хозяйстве. – М: 1979.
4. *Брага С.* Нарацивать темпы производства свинины // Свиноводство. - 1985. - №6 – с.6-8.
5. *Бондаренко Б.І., Жовтянський В.А.* Проблема утилізації твердих побутових відходів та знешкодження небезпечних відходів в Україні / Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2008. — № 4. — С. 63-69.
6. *Войтович І.Г.* Анаеробне перероблення курячого посліду в біогаз / Науковий вісник. – 2008. - вип. 13.2. – С. 116-119.
7. *Дубровський В.С., Вієстур У.Е.*, Метанове бродіння сільськогосподарських відходів. - Рига. : Зінатне, 1988. – 204
8. *Пятничко А.И., Баннов В.Е.* Утилизация биогаза закрытых полигонов ТБО / Экология плюс. — 2009. — № 4. — С. 12-14.
9. *Braun R.* Anaerobic pretreatment of industrial wastewater II Eur. Congr. Diotechnol. - Munchen 10-14 sept. weihheim.a. - 1984. - Vol.3. - p. 104-114

10. *Blanken G., Gregor E., Greif G.*, Verwertung von Mistüberschüssen in der Landwirtschaft // Kuratorium Techn. Bauwesen Landwirtsch. -1977. –N 219. –p. 7-87.
11. *Dung-power heating by 1975* // Farmers Weekly. -1974 –vol.80, N5. –p.38.
12. *Haga K., Tanaka K., Higaki S.* Methane production from animal wastes and its prospects in Japan // Agr. Wastes. /1979. -vol 1, N1. –p.45-55.
13. *Jain M.K., Mishra M.M.* Biogas plant: An alternative technology for energy and manure // Food Farming Agr. -1978. –vol8, N 10. –p.292-296.
14. *Jeck R.* Methane from biomass // Environment, - 1979. –vol.21, N1 - p.28-29.
15. Update of national and state programs presently underway to curb point and nonpoint sources of water pollution from animal product on facilities // animal sci. -1979 –vol. -48,N1-p.223-227.
16. Utility companies open experimental manure-to methane conversion plant // Dairyman. -1978. Vol.58, N 12. – p.34.