

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ФЕРМЕРСЬКОЇ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ.

Постановка проблеми.

Сучасні масштаби тваринництва настільки великі, що накопичення відходів тваринницьких ферм ставить під загрозу само їх існування.

Проблеми ефективного використання та управління відходами розглядалися у роботах таких дослідників: Гелетука [1]; І. Гончарук [2]; Г. Калетнік [3, 4, 5]; Д. Токарчук [6]; О. Ходаківська [7]; О. Шпикуляк [8] та ін.

Одним із найбільш ефективних методів очистки і переробки будь яких тваринницьких є метанове бродіння. При чому одночасно вирішується і питання охорони навколишнього середовища. Тому питання використання метанового бродіння актуальне для всіх країн, незалежно від їх енергозабезпечення. Зарубіжні вчені Piero N., Giuliano A., Giocoli A., Barletta D., De Bari I. [9] здійснили техніко-економічний аналіз секції модернізації біогазової установки для перетворення CO₂ на біометан. Вітчизняні науковці Гончарук І. В. і Вовк В. Ю. [10] дослідили потенціал виробництва біометану з агробіомаси в Україні; Калетнік Г. М. і Токарчук Д. М. [11] обґрунтували варіанти вирощування і подальшого використання енергетичних культур у ролі палива; Купчук І. М., Гончарук Я. В. і Присяжнюк Ю. С. [12] запропонували напрямок вирішення завдань щодо підвищення рівня автономізації переробних підприємств за рахунок біогазового комплексу; Трипольська Г. [13] доводить необхідність державної підтримки для виробництва біометану в Україні; Гелетука Г. Г. із складом авторів [1; 14] розкриває перспективи виробництва біометану в Україні як альтернативу природньому газу.

Переробка відходів від чотирьох корів дозволяє отримати біогаз в кількості, достатньої для всіх потреб однієї сім'ї.

Переваги використання індивідуальних біогазових установок у сільській місцевості незаперечні, що підтверджується досвідом країн, які активно впроваджують біогазові технології. Серед таких Китай, Індія, Данія, Австрія, Швеція, Німеччина, Чехія та ін. [3].

Пришляк Н. В. доводить, що у Китаї для вироблення біогазу встановлено більше 30 млн індивідуальних біогазових установок, які виробляють понад 20 млрд м³ біогазу на рік, в Індії – за 4 млн біогазових установок, у Німеччині – 11 тис. (переважно на фермах з утримання свиней та ВРХ). Також значного поширення біогазові технології набули в Голландії, Канаді, Росії, Білорусі, Киргизстані, Казахстані. Виробництво біогазу домогосподарствами дасть змогу зменшити споживання або відмовитися від природного газу, на який припадає вагома частка у вартості житлово-комунальних послуг. Зекономлені кошти можна буде використати на задоволення інших потреб домогосподарств. Таким чином, економічні переваги

полягають у тому, що біогазові технології дадуть можливість зменшити витрати домогосподарств завдяки енергетичній автономії. Вартість виготовлення біогазової установки різниться залежно від обраних матеріалів і встановленої потужності. У Китаї та Індії, де індивідуальні біогазові установки набули значного поширення, для будівництва реакторів застосовують цеглу, бетон, пластик, армоване волокно. Варто зауважити, що такого поширення у цих країнах біогазові установки набули завдяки державним дотаціям на спорудження [15,16].

Отже, до позитивних аспектів впровадження біогазових технологій можна віднести як економіко-екологічні, так і соціальні аспекти: утилізацію відходів тваринництва і рослинництва, знезараження відходів, збільшення тривалості життя населення, скорочення витрат на лікарські засоби і лікування кишкових захворювань, виробництво екологічно чистих органічних добрив, енергозабезпечення сільських територій, зайнятість населення, розвиток тваринництва, економію коштів на газифікацію села [3].

На сьогоднішній день ціна природного газу в Україні з доставкою до споживача складає близько 275 €/1000 куб. м, і, як відомо, вона постійно зростає. Ціна ж на біогаз в перерахунку на енергетичну цінність становить лише 150 €/1000 куб. м., тому альтернативою створення газопроводів може стати встановлення біогазових установок [17].

Біогазова технологія дозволяє прискореними методами отримати за допомогою анаеробного бродіння натуральне біодобриво, яке вміщує біологічно активні речовини мікроелементами.

Гуцуляк В.Д. вказує, що основною перевагою біодобрива в порівнянні із традиційними добривами, є форма, доступність і збалансованість всіх елементів живлення, високий рівень гуміфікації органічної речовини і як наслідок, врожайність підвищується на 30-40% [18].

Після біогазової установки добрива можна використовувати відразу ж, адже маса, що перебродила, - це готові екологічно чисті рідкі або після сепарування, тверді біодобрива (гумус) без нітратів, насіння бур'янів та патогенної мікрофлори. В звичайному гної мінералізація складає приблизно 40 % і мінерали зв'язані з органікою, тому засвоюються рослинами гірше, а в перебродженій масі мінералізація складає 60 % і мінерали переходять у форму, доступну рослинам.

Вартість твердих біодобрив такої якості на сьогоднішній день в Україні в середньому становить 0,075 €/кг, тобто 75 €/т, а ціна на рідкий біогумус дорівнює 3 €/ куб. м. [19].

В умовах зростаючого дефіциту палива в сільській місцевості складності центрального забезпечення газом окремих районів складається очевидним використання фермерських біогазових установок.

Метою дослідження є визначення оптимальної тривалості бродіння гною в біореакторі фермерської установки.

Матеріал і методи дослідження.

Будова експериментальна біогазові установка для сімейної ферми.

Біогазова установка для сімейної ферми складається: з вузла підготовки і подачі відходів на бродіння, реактора для бродіння відходів з вузлом видалення продуктів і газгольдер.

Конструктивна схема якої представлена на рис.1.

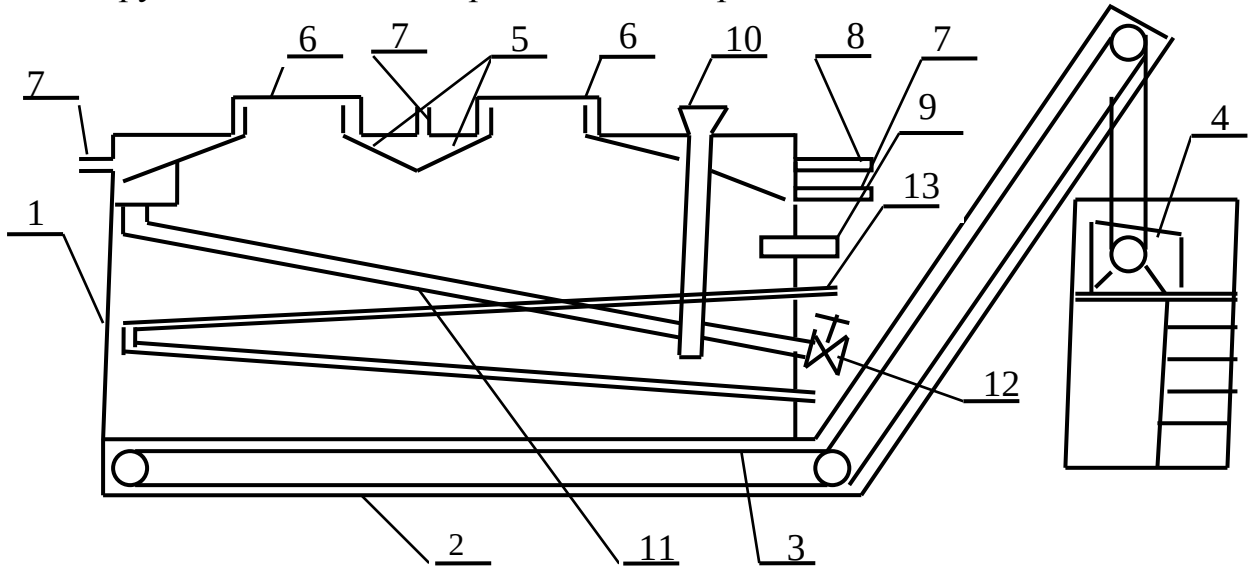


Рис. 1. Конструктивна схема біогазової установки.

1- корпус реактора; 2 – короб транспортера; 3 – скребковий транспортер; 4 – привод транспортера; 5- пірамідальне перекриття реактора; 6 – газовий ковпак; 7 – патрубок для відбору біогазу; 8 – пристрій для підключення манометра; 9 – пристрій для установки термометра; 10 – завантажувальна горловина; 11 – труба для видалення рідкої фракції; 12 – засувка; 13 – теплообмінник.

Корпус реактора виготовлений із металевих листів, з'єднаних за допомогою зварювальних з'єднань, і має форму паралелепіпеда, який звужується до основи. Знизу до корпусу реактора закріплений короб 2, в якому розміщений скребковий транспортер 3. Короб транспортера складається із двох частин: горизонтальної і похилої. Привод транспортера 4 виконується від мотор-редуктора через редуктор і ланцюгову передачу. Транспортер призначений для вивантаження і реактора осаду, який утворюється під час бродіння.

Всередині реактор розділений за допомогою перекриття пірамідальної форми 5 на дві частини: одна для бродіння відходів, друга – для біогазу, яка виділяється. Газові ковпаки і пірамідальна форма перекриття дозволяє зруйнувати кірку, що утворюється на поверхні маси із-за підвищення рівня гною під час завантаження, і запобігаючи газову порожнину від попадання гною. В верхній частині корпусу реактора є три патрубки для відбирання біогазу 7. Крім цього є пристрої для встановлення приладів, які контролюють тиск газу 8 а температуру маси що зброджується 9.

Гній завантажується в завантажувальну горловину 10, в якій встановлена захисна сітка.

Рідка зброджена маса відбирається із верхньої частини і по трубопроводу 11 який встановлений всередині реактора, за допомогою засувки 12 видаляється в відстійник.

Всередині реактора всередині бокових стінок встановлені два теплообмінники 13 для нагрівання маси, гарячою водою яка протікає по трубах.

Технічні характеристики експериментальної установки подано в таблиці 1.

Таблиця 1 - Технічні характеристики експериментальної установки.

№ п/п	Показники	Значення
1.	Добова продуктивність установки, м ³ :	
	- Вихідний матеріал – гній	4,0 – 5,5
	- З отриманого біогазу	28,5 – 34,0
2.	Температура метанового бродіння, °С	31 - 33
3.	Об'єм реактора, м ³ :	
	- Повний	51,3
	- За рідким гноєм (відходах)	40,8
4.	Встановлена потужність, кВт	1,6
5.	Габаритні розміри реактора, мм:	
	- Довжина	15600
	- Ширина	3450
	- висота	3800
6.	Чисельність обслуговуючого персоналу, осіб	1
7.	Вага реактора, кг	10500

Умови проведення досліджень.

Умови досліджень подано в таблиці 2.

Таблиця 2. - Умови проведення випробувань

№ п/п	Показники	Значення
1.	Характеристика тваринницького комплексу:	Виробництво молока Силосно- сінажний Комбінований Корови
	- спеціалізація	780
	- тип годівлі тварин	70-85
	- спосіб утримання тварин	
	- вид тварин	
	- кількість голів	
	- середньодобовий вихід гною, м ³	
2.	Характеристика гною, що надходить до реактора:	
	- вологість, %	95,6-96,4
	- рН	7,3-7,9
	- щільність, кг/м ³	1009-1033
	- вміст органічних речовин в асв, %	73,9-78,8
	- вміст зважених речовин, мг/л	24600-68800

	- середньозважений розмір частин, мм - вміст азоту, % : аміачного - загального - вміст фосфору, % - вміст калію, % - вміст водню, % - відношення C : N - вміст летких жирних кислот, мг/л	1,52-3,90 0,05-0,07 0,08-0,12 0,09-0,10 0,13-0,15 0,88-1,07 9,8-13,4 1080-2260
3.	Характеристика умов навколишнього середовища: - температура повітря, °С - відносна вологість повітря, %	18-30 70-85

Опис технологічного процесу, методика, та організація досліджень.
Технологічна схема роботи біореактора приведена на рис 2.

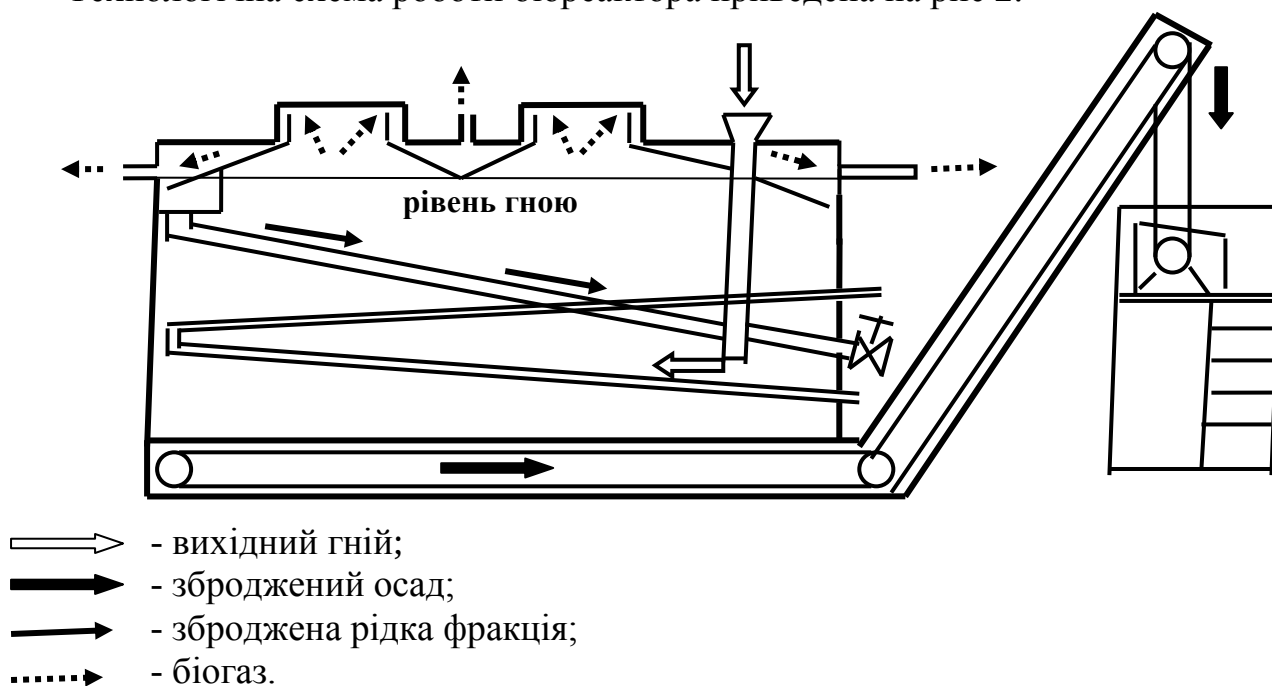


Рис. 2. Технологічна схема мікробіологічного реактора.

Корпус реактора виготовлений із металевих листів, з'єднаних з Перед першим запуском установки була проведена перевірка роботи здатності вузлів підготовки і подачі відходів в реактор і вузла вивантаження відходів із реактора. Реактор був заповнений попередньо підігрітими до 35 °С відходами до робочої помітки – гною в пірамідальну форму перекриття реактора. Вміст реактора при температурі 31-33 °С витримували до появи біогазу з вмістом метану не менше 50%. Після чого проводили щоденне завантаження реактора. Завантаження реактора проводилася один і той же час доби. Відповідно об'єм одноразового завантаження біореактора дорівнював об'єму тогочасного вивантаження відходів.

Послідовність операцій така: на початку завантаження частини вихідних відходів – завантаження до моменту переливання відходів через край приймальної горловини, після чого часткове вивантаження осаду із реактора з допомогою скребкового транспортера, в подальшому завантажуються решта вихідних відходів, після чого – випускається рідка фракція зброджених відходів до пониження їх рівня в реакторі до відмітки низу пірамідальної частини перекриття реактора. Періодичність завантаження 24 години.

До початку утворення біогазу з вмістом метану не менше 50 % випуск його із реактора проводиться в атмосферу, минуючи газгольдер; а після – в газгольдер.

Постійність температури відходів в реакторі підтримувалось з допомогою теплообмінника, в якому теплоносієм є гаряча вода. Температура відходів підтримується автоматично.

План експериментальних досліджень.

План експериментальних досліджень подано в таблиці 3.

Таблиця 3 – Планові показники для проведення дослідження біореактора.

№ п/п	Показники	Значення			
		I	II	III	IV
1.	Режим роботи установки:				
2.	Доза завантаження, м ³ /добу	2,5	4,0	5,5	7,0
3.	Температура бродіння, °C	32±1	32±1	32±1	32±1
4.	Надлишковий тиск біогазу в реакторі, МПа	0,005	0,005	0,005	0,005
5.	Кратність завантаження, разів/добу	1	1	1	1
6.	Тривалість бродіння, діб	16	10	7	6

Методика виконання розрахунку

Максимально можливий (теоретичний) вихід біогазу розраховується за формулою:

$$Q_{\text{б}} = M \cdot \frac{100 - w}{100} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot q, \text{ м}^3,$$

де М – маса завантаженого гною, кг;

w – вологість гною, %;

K₁ – доля органічної речовини в абсолютно сухій речовині гною;

K₂ – доля розкладання органічної речовини в процесі бродіння;

q – теоретичний вихід біогазу з 1 кг органічної речовини, м³/кг; q = 0,8 (20).

Результати дослідження.

Показники якості роботи біореактора.

Показники якості роботи біореактора подані в таблиці 4.

Таблиця 4 - Показники якості роботи біореактора.

№ п/п	Показники	Значення			
		I	II	III	IV
1.	Режим роботи установки:				
2.	Показники якості виконання технологічного процесу:				
	Продуктивність за вихідним гном, м ³ /добу	2,5	4,0	5,5	7,0

	Вихід біогазу, м ³ /добу	16,0	28,5	34,5	35,5
	Питомий вихід біогазу з одиниці об'єму завантаженої маси, м ³ /м ³	6,4	7,1	6,3	5,1
3.	Кількість гною після анаеробного бродіння Рідка фракція:				
	- вологість, %	98,3	97,9	97,7	97,5
	- рН	7,3	7,6	7,6	7,4
	- щільність, кг/м ³	1030	1018	1016	1004
	- вміст органічних речовин в асв, %	69,8	70,8	69,8	68,1
	- вміст зважених речовин, мг/л	16120	37660	56680	27030
	- середньозважений розмір частинок, мм	1,59	2,10	1,29	2,76
	- вміст азоту, % :				
	загального	0,05	0,07	0,07	0,06
	аміачного	0,07	0,07	0,06	0,06
	- вміст фосфору, %	0,03	0,09	0,08	0,09
	- вміст калію, %	0,10	0,10	0,12	0,13
	- вміст водню, %	0,34	0,44	0,50	0,48
	- вміст летких жирних кислот, мг/л	680	1085	1610	825
	Осад:				
	- вологість, %	88,4	87,8	87,8	88,0
	- рН	7,6	8,0	8,1	7,8
	- щільність, кг/м ³	1525	1520	1533	1539
	- вміст органічних речовин в асв, %	70,1	71,1	69,2	68,4
	- вміст азоту, % :				
	загального	0,10	0,11	0,13	0,16
	аміачного	0,08	0,08	0,07	0,06
	- вміст фосфору, %	0,18	0,15	0,13	0,13
	- вміст калію, %	0,15	0,14	0,15	0,10
	- вміст водню, %	2,97	2,44	2,61	2,27
4.	Склад біогазу, %				
	- метан	61,4	59,8	57,6	55,1
	- вуглекислий газ	38,4	39,9	42,1	45,0

Аналіз результатів оцінки режимів бродіння.

На рис. 3 і табл. 5 за результатами досліджень подано залежності фактичного виходу біогазу від добового завантаження біореактора $Q_6 = f_1(D)$ і максимально можливого (при тих же умовах) виходу біогазу від добового завантаження біореактора $Q_{6\text{ теор}} = f_2(D)$. Доза завантаження представлена в процентах до повного об'єму сировини в реакторі (40,8 м³).

На рис. 4 і табл. 6 приведені результати ті залежності, але значення величини вихода біогазу перераховані на кілограм сухої органічної речовини (кг СОР), яка поступає в реактор під час завантаження, та доза завантаження представлена по вмісту органічної речовини, яка поступає на 1 м³ об'єму сировини реактора.

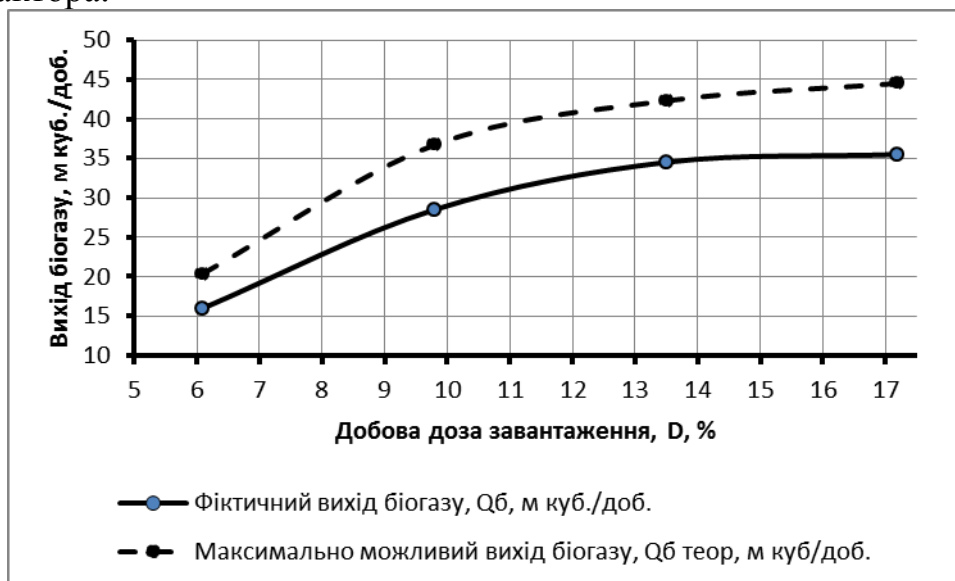


Рис. 3. Залежність виходу біогазу від добового завантаження реактора.

Таблиця 5 – Залежність виходу біогазу від дози завантаження біореактора

Режим роботи реактора	I	II	III	IV
Добова доза завантаження, D, %	6,1	9,8	13,5	17,2
Фіктичний вихід біогазу, Q _б , м ³ /доб.	16,0	28,5	34,5	35,5
Максимально можливий вихід біогазу, Q _{б теор} , м ³ /доб.	20,4	36,7	42,3	44,5

Таблиця 6 – Залежність виходу біогазу від дози сухої органічної речовини (СОР) завантаження біореактора.

Режим роботи реактора	I	II	III	IV
Добова доза завантаження, D, кг СОР/м ³ реактора	1,75	3,19	4,18	5,95
Фактичний вихід біогазу, Q _б , м ³ /кг СОР	0,22	0,21	0,19	0,15
Максимально можливий вихід біогазу, Q _{б теор} , м ³ /кг СОР	0,28	0,27	0,23	0,19

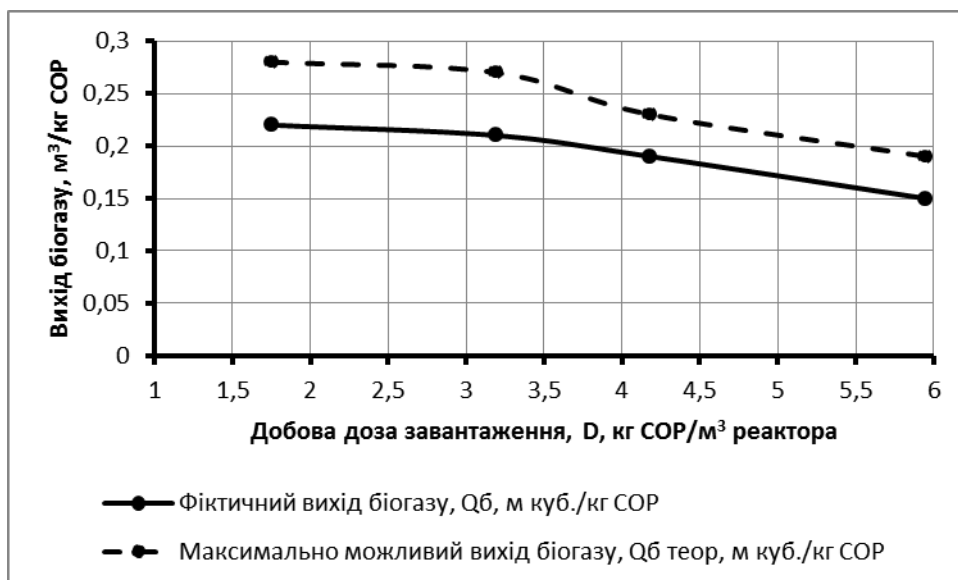


Рис. 4. Залежність виходу біогазу від дози сухої органічної речовини (COP) завантаження біореактора.

Фактичний вихід біогазу при різних режимах бродіння (рис.3) складав 77,7-81,6% від максимально можливого (розрахункового). Це зменшення обумовлено, імовірно, властивостями завантаженого гною (його свіжістю, складом органічної речовини, відношенням вуглецю до азоту).

Результати досліджень свідчать, що при малій добовій дозі завантаження питомий вихід біогазу з одиниці маси завантаженої сухої органічної речовини (рис. 4) вищий за рахунок збільшення тривалості протікання процесу бродіння і відповідно, підвищення ступеня розкладання органічної речовини (від 24,1% при дозі завантаження 7,0 м³/добу до 35,0% при дозі завантаження біореактора 2,5 м³/добу).

При даних умовах досліджень більш ефективна робота реактора при дозі завантаження в межах від 4,0 до 5,5 м³ гною на добу з тривалістю бродіння 10-7 діб.

На практиці тривалість бродіння вибирають в залежності від температури в наступних інтервалах: при 10-25 °C - 30 діб. При 25-40 °C – від 10 до 20 діб, при 45-60 °C – від 8 до 4 діб [20].

Висновки.

Для дослідження біогазової установки було використано біореактор ємністю 50 м³ з вузлом вивантаження продуктів анаеробного бродіння, обладнання підготовки і подачі відходів в реактор, газгольдер і технічне обладнання для підігріву води, іку використовують в якості теплоносія в теплообміннику реактора.

Визначення показників якості роботи мікробіологічного реактора проводилось на чотирьох режимах – при добовому завантаженні 2,5; 4,0; 5,5; і 7 м³ рідкого гною вологістю 95,6-96,4% з вмістом органічної речовини в абсолютно сухій речовині гною 73,9-78,8%. Отримані дані по добовому виходу біогазу при чотирьох досліджуваних режимах завантаження свідчать, що при

даній характеристиці гною, завантаженого в реактор, більш ефективна робота установки забезпечується при добових дозах завантаження 10-13% від об'єму сировини в біореакторі, то є при добовому завантаженні реактора 4,0-5,5 м³ гною з тривалістю бродіння 10-7діб.

На практиці тривалість бродіння вибирають в залежності від температури: при 25-40 °С (32 °С) в наступних інтервалах від 10 до 20 діб.

Результати дослідження дають можливість рекомендувати, що при температурі 32°С можна скоротити тривалість бродіння з 10 до 20 діб до 7-10 діб, що збільшує продуктивність біогазової установки по масі зброженого гною.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гелетуха Г. Г., Кучерук П. П., Матвеев Ю. Б. Перспективи виробництва та використання біогазу в Україні. Аналітична записка БАУ. 2013. № 4. : <http://www.uabio.orgimgfilesdocsposition-paper-uabio-4-ua.pdf>.
2. Goncharuk I. V. Biogas production in the agricultural sector – a way to increase energy independence and soil fertility”. *Agrosvit*. 2020. № 1 5. Р. 1 8–29.
3. Калетнік Г. М., Здірко Н. Г., Фабіянська В. Ю. Біогаз в домогосподарствах – запорука енергонезалежності сільських територій України. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2018. № 8. С. 7-22.
4. Kaletnik G., Lutkovska S. Innovative Environmental Strategy Sustainable Development. *European Journal of Sustainable Development*. 2020. № 9, 2. С. 89-98.
5. Kaletnik G. Production and use of biofuels: Second edition, supplemented: textbook. Vinnytsia: LLC “Nilan-Ltd”, 2018. 336 p.
6. Токарчук Д. М. Економіко-екологічні вигоди застосування біогазових установок у домогосподарствах. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2018. № 6. С. 39-49.
7. Ходаківська О. В., Шпикуляк О. Г. Інститути «зеленої» економіки у забезпеченні сталого розвитку агросектору: теоретичний вимір. *Бізнес-Інформ*. 2017. № 9. С. 13-18.
8. Шпикуляк О. Г., Іванченко В. О. Досвід Німеччини у розвитку енергетичних кооперативів: перспективи для України. *Економіка АПК*. 2018. № 8. С. 92-101.
9. Pierro N., Giuliano A., Giocoli A., Barletta D., De Bari I. Process Design of the Biogas Upgrading to Biomethane Using Green Hydrogen. *Chemical Engineering Transactions*. 2023. № 100. Р.
10. Гончарук І. В., Вовк В. Ю. Виробництво біометану з агробіомаси в Україні: проблеми та перспективи. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Економічні науки*. 2022. № 2 (37). С. 65–72.
11. Калетнік Г. М., Токарчук Д. М. Ефективність вирощування енергетичних культур та їх переробки на біопаливо в контексті забезпечення

енергетичної автономії аграрних підприємств. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2021. № 1. С. 7–25.

12. Купчук І. М., Гонтарук Я. В., Присяжнюк Ю. С. Перспективи підвищення рівня енергетичної автономії переробних підприємств АПК України за рахунок виробництва біогазу. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 3 (118). С. 59–73.

13. Трипольська Г. Перспективи державної підтримки розвитку галузі біометану в Україні до 2040 року. *Економіка і прогнозування*. 2021. № 2. С. 128–142.

14. Гелетука Г. Г., Железна Т. А., Драгнев С. В., Гайдай О. І. Десять кроків України для відмови від російського природного газу: аналітична записка UABIO № 28. Київ, 2022. 47 с.

15. Пришляк Н. В. Досвід Китаю у будівництві індивідуальних біогазових установок. *Економіка АПК*. 2011. № 1. С. 165-169.

16. Пришляк Н. В. Відновлювальна енергетика в Індії: сучасний стан та перспективи розвитку. *Інвестиції: практика та досвід*. 2018. № 21. С. 15-20.

17. Економічна політика України / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.me.gov.ua/control/uk/publish/category/main?cat_id=133291.

18. Гуцюляк В.Д. Біоконверсія органічних відходів для отримання біогумусу, біогазу, біологічних речовин і охорона навколишнього середовища//Захист рослин. – 1992.- №1. С. 61.

19. Біопаливо – альтернатива газу [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.ecoclub.kiev.ua.

20. Баадер В. Біогаз: теорія і практика/ В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. - К.: Колос, 1982. 148 с.

REFERENCES

1. Heletukha, H.H., Kucheruk, P.P. & Matveieiev, Yu.B. (2013). Perspektyvy vyrobnytstva ta vykorystannia biohazu v Ukraini [Prospects for the production and use of biogas in Ukraine]. Analitychna zapyska BAU, 4. Retrieved from: <http://www.uabio.orgimgfilesdocsposition-paper-uabio-4-ua.pdf> [In Ukrainian].

2. Goncharuk, I.V. (2020). Biogas production in the agricultural sector – a way to increase energy independence and soil fertility. *Agrosvit*, 15, pp. 18–29 [In English].

3. Kaletnik, H.M., Zdyrko, N.H. & Fabiianska, V.Yu. (2018). Biohaz v domohospodarstvakh – zaporuka ener-honezalezhnosti silskykh terytorii Ukrainy [Biogas in households is a guarantee of energy independence of rural areas of Ukraine]. *Ekonomika. Finansy. Menedzhment: aktualni pytan-nia nauky i praktyky*, 8, pp.. 7-22 [In Ukrainian].

4. Kaletnik, G. & Lutkovska, S. (2020). Innovative Envi-ronmental Strategy Sustainable Development. *European Journal of Sustainable Development*, 9 (2), pp. 89-98 [In English].

5. Kaletnik, G. (2018). Production and use of biofuels: Second edition, supplemented: textbook. Vinnytsia: LLC "Nilan- Ltd" [In English].
6. Tokarchuk, D.M. (2018). Ekonomiko-ekolohichni vyhody zastosuvannya biohazovykh ustanovok u domohospodarstvakh [Economic and environmental benefits of using biogas plants in households]. *Economy. Finances. Management: current issues of science and practice*, 6, pp. 39-49 [In Ukrainian].
7. Khodakivska, O.V. & Shpikuliak, O.H. (2017). Instytuty «zelenoi» ekonomiky u zabezpechenni staloho rozvytku ahrosektoru: teoretychnyi vymir [Institutions of "green" economy in ensuring sustainable development of the agricultural sector: a theoretical dimension]. *Business Inform*, 9, pp. 13-18 [In Ukrainian].
8. Shpykuliak, O.H. & Ivanchenko, V.O. (2018). Dosvid Nimechchyny u rozvytku enerhetychnykh kooperatyviv: perspektyvy dlia Ukrainy [Germany's experience in the development of energy cooperatives: prospects for Ukraine]. *Economics of agro-industrial complex*, 8, pp. 92-101 [In Ukrainian].
9. Pierro N., Giuliano A., Giocoli A., Barletta D., De Bari I. (2023) Process Design of the Biogas Upgrading to Biomethane Using Green Hydrogen. *Chemical Engineering Transactions*, vol. 100, pp. 7–12.
10. Honcharuk I. V., Vovk V. Iu. (2022) Vyrobnystvo biometanu z ahrobiomasy v Ukraini: problemy ta perspektyvy [Production of biomethane from agrobiomass in Ukraine: problems and prospects]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika. Ekonomichni nauky – Podilian Bulletin: agriculture, engineering, economics. Economic sciences*, vol. 2 (37), pp. 65–72.
11. Kaletnik H. M., Tokarchuk D. M. (2021) Efektyvnist vyroshchuvannya enerhetychnykh kultur ta yikh pererobky na biopalyvo v konteksti zabezpechennia enerhetychnoi avtonomii ahrarykh pidpriemstv [Effectiveness of growing energy crops and their processing into biofuel in the context of ensuring energy autonomy of agricultural enterprises]. *Ekonomika, finansy, menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky – Economy, finances, management: topical issues of science and practice*, vol. 2, pp. 7–25.
12. Kupchuk I. M., Hontaruk Ya. V., Prysiashniuk Yu. S. (2022) Perspektyvy pidvyshchennia rivnia enerhetychnoi avtonomii pererobnykh pidpriemstv APK Ukrainy za rakhunok vyrobnystva biohazu [Prospects for increasing the level of energy autonomy of processing enterprises of the AIC of Ukraine due to biogas production]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK – Engineering, energy, transport AIC*, vol. 3 (118), pp. 59–73.
13. Trypolska H. (2021) Perspektyvy derzhavnoi pidtrymky rozvytku haluzi biometanu v Ukraini do 2040 roku [Prospects of state support for the development of the biomethane industry in Ukraine until 2040]. *Ekonomika i prohnouvanntia – Economics and forecasting*, vol. 2, pp. 128–142.
14. Heletukha H. H., Zheliezna T. A., Drahnev S. V., Haidai O. I. (2022) Desiat krokiv Ukrainy dlia vidmovy vid rosiiskoho pryrodnoho hazu: analitychna zapyska UABIO № 28 [Ten steps of Ukraine to abandon Russian natural gas: analytical note of UABIO № 28]. Kyiv, p. 47. Available at: <https://uabio.org/wp->

[content/uploads/2022/04/10-kroktiv-Ukrayiny-dlya-vidmovy-vid-PG_UKR.pdf](#)
(accessed November 12, 2023) (in Ukrainian)

15. Pryshliak, N.V. (2011). Dosvid Kytau u budivnytstvi indyvidualnykh biohazovykh ustanovok [China's experience in building individual biogas plants]. *Ekonomika APK*, 1, pp. 165- 169 [In Ukrainian].

16. Pryshliak, N.V. (2018). Vidnovliuvalna enerhetyka v Indii: suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku [Renewable energy in India: current status and prospects]. *Investytsii: praktyka ta dosvid*, 21, pp. 15-20. [In Ukrainian].

17. Ekonomichna polityka Ukrayiny / Ministerstvo ekonomichnoho rozvytku i torhivli Ukrayiny [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu : http://www.me.gov.ua/control/uk/publish/category/main?cat_id=133291.

18. Hutsyulyak V.D. Biokonversiya orhanichnykh vidkhodiv dlya otrymannya biohumusu, biohazu, biolohichnykh rehovyn i okhrona navkolyshn'oho seredovyshcha//Zakhyst roslyn. – 1992.- №1.- S. 61.

19. Biopalyvo – al'ternatyva hazu [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: www.ecoclub.kiev.ua.

20. Baader V. Biohaz: teoriya i praktyka/ V. Baader, E. Done, M. Brennderfer. - K.: Kolos, 1982. – 148 s.

Анотація

Сенчук М.М.

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ФЕРМЕРСЬКОЇ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ.

Біомаса вважається одним із найбільш перспективних альтернативних джерел енергії сучасності.

Одним із найбільш ефективних методів очистки і переробки будь яких тваринницьких є метанове бродіння з отриманням біогазу. При чому одночасно вирішується і питання охорони навколишнього середовища. Біогазова технологія дозволяє прискореними методами отримати за допомогою анаеробного бродіння натуральне біодобриво, яке вміщує біологічно активні речовини мікроелементами.

Питання використання метанового бродіння актуальне.

Тому метою дослідження є визначення оптимальної тривалості бродіння гною в біореакторі фермерської установки.

Для дослідження було використано біогазові установки фермерського типу загальним об'ємом реактора - $51,3\text{ м}^3$, де об'єм рідкого, гною в реакторі - $40,8\text{ м}^3$. Дослідження процесу роботи біореактора проводилося на 4 режимах роботи: I - режим роботи: - доза завантаження – $2,5\text{ м}^3/\text{добу}$, - тривалість бродіння – 16 діб; II - режим роботи: - доза завантаження – $4\text{ м}^3/\text{добу}$, - тривалість бродіння – 10 діб; III - режим роботи: - доза завантаження – $5,5\text{ м}^3/\text{добу}$, - тривалість бродіння – 7 діб; VI - режим роботи: - доза завантаження – $7\text{ м}^3/\text{добу}$, - тривалість бродіння – 6 діб. Для всіх режимів роботи: - температура бродіння – $32\text{ }^\circ\text{C}$; --надлишковий тиск біогазу в реакторі – $0,005\text{ МПа}$; - кратність завантаження – 1 раз/добу.

За результатами досліджень отримано наступні показники якості виконання технологічного процесу для 4 режимів роботи: I - режим роботи: вихід біогазу – 16 м³/добу, максимально можливий вихід біогазу (теоретичний) – 20,4 м³/добу, питомий вихід біогазу з одиниці об'єму завантаженої маси – 6,4 м³/м³; II - режим роботи: вихід біогазу – 28,5 м³/добу, максимально можливий вихід біогазу (теоретичний) – 36,7 м³/добу, питомий вихід біогазу з одиниці об'єму завантаженої маси – 7,1 м³/м³; III - режим роботи: вихід біогазу – 34,5 м³/добу, максимально можливий вихід біогазу (теоретичний) – 42,3 м³/добу, питомий вихід біогазу з одиниці об'єму завантаженої маси – 6,3 м³/м³; VI - режим роботи: вихід біогазу – 35,5 м³/добу, максимально можливий вихід біогазу (теоретичний) – 44,5 м³/добу, питомий вихід біогазу з одиниці об'єму завантаженої маси – 5,1 м³/м³.

Визначено залежність виходу біогазу від дози сухої органічної речовини (COP) завантаження біореактора:

I - режим роботи: добова доза завантаження – 1,75 кг COP/м³ реактора, - фактичний вихід біогазу – 0,22 м³/кг COP, - максимально можливий вихід біогазу (теоретичний) – 0,28 м³/кг COP; II - режим роботи: добова доза завантаження – 3,19 кг COP/м³ реактора, - фактичний вихід біогазу – 0,21 м³/кг COP, - максимально можливий вихід біогазу (теоретичний) – 0,27 м³/кг COP; III - режим роботи: добова доза завантаження – 4,18 кг COP/м³ реактора, - фактичний вихід біогазу – 0,19 м³/кг COP, - максимально можливий вихід біогазу (теоретичний) – 0,23 м³/кг COP; ; VI - режим роботи: добова доза завантаження – 5,95 кг COP/м³ реактора, - фактичний вихід біогазу – 0,15 м³/кг COP, - максимально можливий вихід біогазу (теоретичний) – 0,19 м³/кг COP.

Отримані дані по добовому виходу біогазу при чотирьох досліджуваних режимах завантаження свідчать, що при даній характеристиці гною, завантаженого в реактор, більш ефективна робота установки забезпечується при добових дозах завантаження 10-13% від об'єму сировини в біореакторі, то є при добовому завантаженні реактора 4,0-5,5 м³ гною з тривалістю бродіння 10-7 діб.

На практиці тривалість бродіння вибирають в залежності від температури: при 25-40 °C (32 °C) в наступних інтервалах від 10 до 20 діб.

Результати дослідження дають можливість рекомендувати, що при температурі 32°C можна скоротити тривалість бродіння з 10 до 20 діб до 7-10 діб, що збільшує продуктивність біогазової установки по масі збродженого гною.

Ключові слова: біогазова установка, біореактор, біогаз, біодобрива, відходи ферми, біомаса, метанове бродіння.

Annotation

Senchuk M.M.

OPTIMIZATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF THE FARM BIOGAS PLANT.

Biomass is considered one of the most promising alternative sources of energy today.

One of the most effective methods of cleaning and processing any livestock is methane fermentation with the production of biogas. At the same time, the issue of environmental protection is being resolved. Biogas technology makes it possible to obtain natural biofertilizer with the help of anaerobic fermentation, which contains biologically active substances with trace elements, using accelerated methods.

The question of using methane fermentation is relevant.

Therefore, the purpose of the research is to determine the optimal duration of manure fermentation in the bioreactor of the farm installation.

For the study, a farm-type biogas plant with a total reactor volume of 51,3 m³ was used, where the volume of liquid manure in the reactor was 40,8 m³. The study of the bioreactor operation process was carried out in 4 operating modes: I - operating mode: - loading dose – 2,5 m³/day, - duration of fermentation - 16 days; II - mode of operation: - loading dose - 4 m³/day, - duration of fermentation - 10 days; III - mode of operation: - loading dose – 5,5 m³/day, - duration of fermentation - 7 days; VI - mode of operation: - loading dose - 7 m³/day, - duration of fermentation - 6 days. For all modes of operation: - fermentation temperature - 32 °C; -- excess pressure of biogas in the reactor – 0,005 MPa; - loading frequency – 1 time/day.

According to the research results, the following indicators of the quality of the technological process were obtained for 4 modes of operation: I - mode of operation: biogas output – 16 m³/day, maximum possible biogas output (theoretical) – 20,4 m³/day, specific biogas output per unit volume of the loaded mass – 6,4 m³/m³; II - operating mode: biogas output – 28,5 m³/day, maximum possible biogas output (theoretical) – 36,7 m³/day, specific biogas output per unit volume of loaded mass – 7,1 m³/m³; III - operating mode: biogas output – 34,5 m³/day, maximum possible biogas output (theoretical) – 42,3 m³/day, specific biogas output per unit volume of loaded mass – 6,3 m³/m³; VI - operating mode: biogas output – 35,5 m³/day, maximum possible biogas output (theoretical) – 44,5 m³/day, specific biogas output per unit volume of loaded mass – 5,1 m³/m³.

The dependence of biogas output on the dose of dry organic substance (DOS) loading of the bioreactor was determined: And - mode of operation: daily loading dose – 1,75 kg of DOS /m³ reactor, - actual biogas output – 0,22 m³/kg SOF, - maximum possible biogas output (theoretical) – 0,28 m³/kg DOS; II - mode of operation: daily loading dose – 3.19 kg of DOS /m³ reactor, - actual biogas output – 0.21 m³/kg DOS, - maximum possible biogas output (theoretical) – 0,27 m³/kg DOS; III - operating mode: daily loading dose – 4,18 kg DOS /m³ reactor, - actual biogas output – 0.19 m³/kg DOS, - maximum possible biogas output (theoretical) – 0.23 m³/kg DOS; ; VI - mode of operation: daily loading dose – 5.95 kg DOS /m³ reactor, - actual biogas output – 0.15 m³/kg DOS, - maximum possible biogas output (theoretical) – 0.19 m³/kg DOS.

The obtained data on the daily output of biogas at the four studied loading modes indicate that with the given characteristics of the manure loaded into the reactor, more efficient operation of the installation is ensured at daily loading doses of 10-13% of the volume of raw materials in the bioreactor, that is, at the daily loading of the reactor 4.0-5.5 m³ of manure with a fermentation duration of 10-7 days.

In practice, the duration of fermentation is chosen depending on the temperature: at 25-40 °C (32 °C) in the following intervals from 10 to 20 days.

The research results make it possible to comment that at a temperature of 32°C, the duration of fermentation can be shortened from 10 to 20 days to 7-10 days, which increases the productivity of the biogas plant in terms of the mass of fermented manure.

Key words: biogas plant, bioreactor, biogas, biofertilizers, farm waste, biomass, methane fermentation.