


## БІОТЕХНОЛОГІЯ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ

УДК 631.147:63.002.68

## Оптимізація технологічного процесу фермерської біогазової установки

Сенчук М.М. 

Білоцерківський національний аграрний університет

 Сенчук М.М. E-mail: m.m.senchuk@gmail.com

Сенчук М.М. Оптимізація технологічного процесу фермерської біогазової установки. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2024. № 2. С. 68–78.

Senchuk M. Optimization of the technological process of the farm biogas plant. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2024. № 2. PP. 68–78.

Рукопис отримано: 21.10.2024 р.

Прийнято: 04.11.2024 р.

Затверджено до друку: 28.11.2024 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2024-190-2-68-78

Біомаса вважається одним з найперспективніших альтернативних джерел енергії сучасності.

Ефективним методом очищення і перероблення будь-яких тваринницьких ферм є метанове бродіння з отриманням біогазу. Водночас вирішується і питання охорони навколишнього середовища. Біогазова технологія дозволяє прискореними методами отримати за допомогою анаеробного бродіння натуральне біодобриво, яке містить біологічно активні речовини.

Питання використання метанового бродіння є актуальним. Тому метою дослідження є визначення оптимальної тривалості бродіння гною в біореакторі фермерської установки.

Для дослідження було використано біогазову установку фермерського типу із загальним об'ємом реактора – 51,3 м<sup>3</sup>, де об'єм рідкого, гною в реакторі – 40,8 м<sup>3</sup>. Дослідження процесу роботи біореактора проводилося за 4 режимами роботи: I режим роботи: доза завантаження – 2,5 м<sup>3</sup>/добу, тривалість бродіння – 16 діб; II – 4 м<sup>3</sup>/добу, – 10; III – 5,5 м<sup>3</sup>/добу, – 7; IV – 7 м<sup>3</sup>/добу, – 6. Для всіх режимів роботи: температура бродіння – 32 °С; надлишковий тиск біогазу в реакторі – 0,005 МПа; кратність завантаження – 1 раз / добу.

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

Визначено залежність виходу біогазу від дози сухої органічної речовини (СОР) завантаження біореактора: I режим роботи: добова доза завантаження – 1,75 кг СОР/м<sup>3</sup> реактора, фактичний вихід біогазу – 0,22 м<sup>3</sup>/кг СОР, максимально можливий вихід біогазу (теоретичний) – 0,28 м<sup>3</sup>/кг СОР; II: добова доза завантаження – 3,19 кг СОР/м<sup>3</sup>, фактичний вихід біогазу – 0,21 м<sup>3</sup>/кг СОР, максимально можливий вихід – 0,27 м<sup>3</sup>/кг СОР; III: добова доза завантаження – 4,18 кг СОР/м<sup>3</sup> реактора, фактичний вихід біогазу – 0,19 м<sup>3</sup>/кг СОР, максимально можливий вихід – 0,23 м<sup>3</sup>/кг СОР; IV: добова доза завантаження – 5,95 кг СОР/м<sup>3</sup> реактора, фактичний вихід біогазу – 0,15 м<sup>3</sup>/кг СОР, максимально можливий вихід – 0,19 м<sup>3</sup>/кг СОР.

Отримані дані добового виходу біогазу за чотирима досліджуваними режимами завантаження свідчать, що за цієї

характеристики гною, завантаженого в реактор, більш ефективна робота установки забезпечується за добових доз завантаження 10–13 % від об'єму сировини в біореакторі за добового завантаження реактора 4,0–5,5 м<sup>3</sup> з тривалістю бродіння 10–7 діб.

На практиці тривалість бродіння вибирають залежно від температури: при 25–40 °С (32 °С) за інтервалів від 10 до 20 діб.

Результати дослідження дають змогу рекомендувати, за температури 32 °С скоротити тривалість бродіння з 10–20 діб до 7–10 діб, що збільшує продуктивність біогазової установки за масою зброженого гною.

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

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** Сучасні масштаби тваринництва настільки великі, що накопичення відходів тваринницьких ферм загрожує їх існуванню.

Проблеми ефективного використання та управління відходами розглядалися у роботах таких дослідників: Г. Гелетуха [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 очищення і перероблення будь-яких тваринницьких ферм є метанове бродіння. Водночас вирішується і питання охорони навколишнього середовища. Тому питання використання метанового бродіння актуальне для всіх країн, незалежно від їх енергозабезпечення. Зарубіжні вчені N. Pierro, A. Giuliano, A. Giocoli, D. Barletta, I. De Bari [9] здійснили техніко-економічний аналіз секції модернізації біогазової установки для перетворення CO<sup>2</sup> на біометан. Вітчизняні науковці І. В. Гончарук і В. Ю. Вовк [10] дослідили потенціал виробництва біометану з агробіомаси в Україні; Г. М. Калетнік і Д. М. Токарчук [11] обґрунтували варіанти вирощування і подальшого використання енергетичних культур у ролі палива; І. М. Купчук, Я. В. Гончарук і Ю. С. Присяжнюк [12] запропонували вирішення завдань щодо підвищення рівня автономізації переробних підприємств за рахунок біогазового комплексу; Г. Трипольська [13] доводить необхідність державної підтримки для виробництва біометану в Україні; Г. Г. Гелетуха та інші [1; 14] розкривають перспективи виробництва біометану в Україні як альтернативу природному газу.

Перероблення відходів від чотирьох корів дає змогу отримати біогаз в кількості, достатній для потреб однієї сім'ї.

Переваги використання індивідуальних біогазових установок у сільській місцевості незаперечні, що підтверджується досвідом

країн, які активно впроваджують біогазові технології (Індія, Данія, Австрія, Швеція, Німеччина, Чехія та ін.). [3].

Н. В. Пришляк зазначає, що для вироблення біогазу встановлено понад 30 млн індивідуальних біогазових установок, які виробляють понад 20 млрд м<sup>3</sup> біогазу на рік, в Індії – понад 4 млн біогазових установок, у Німеччині – 11 тис. (здебільшого на фермах з утримання свиней та ВРХ). Також значного поширення біогазові технології набули в Голландії, Канаді. 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 спрямувати на задоволення інших потреб домогосподарств. Отже, економічні переваги полягають у тому, що біогазові технології дадуть змогу зменшити витрати домогосподарств завдяки енергетичній автономії. Вартість виготовлення біогазової установки різниться залежно від обраних матеріалів і встановленої потужності. У країнах, 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, зростання 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].

Сьогодні ціна природного газу в Україні з доставкою до споживача становить приблизно 275 €/1000 куб. м, і, як відомо, вона постійно зростає. Ціна 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 дає змогу прискореними методами отримати за допомогою анаеробного бродіння натуральне біодобриво, яке вміщує речовини, біологічно активні на мікроелементи.

В.Д. Гуцюляк зазначає, що основною перевагою біодобрива порівняно 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 одразу, адже маса, що перебродила, – це готові екологічно чисті рідкі або після сепарування тверді біодобрива (гумус) без нітратів, насіння бур'янів та патогенної мікрофлори. У звичайному гною мінералізація становить майже 40 % і мінерали зв'язані з органікою, тому засвоюються рослинами гірше, а в перебродженій масі мінералізація становить 60 % і мінерали переходять у форму, доступну для рослин.

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

В умовах зростального дефіциту палива в сільській місцевості, складнощів центрального забезпечення газом окремих районів, є очевидним використання фермерських біогазових установок.

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

**Матеріал і методи дослідження.** Біогазова установка для сімейної ферми складається з вузла підготовки і подачі відходів на бродіння, реактора для бродіння відходів з вузлом видалення продуктів і газгольдера.

Конструктивну схему біогазової установки представлено на рисунку 1.

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

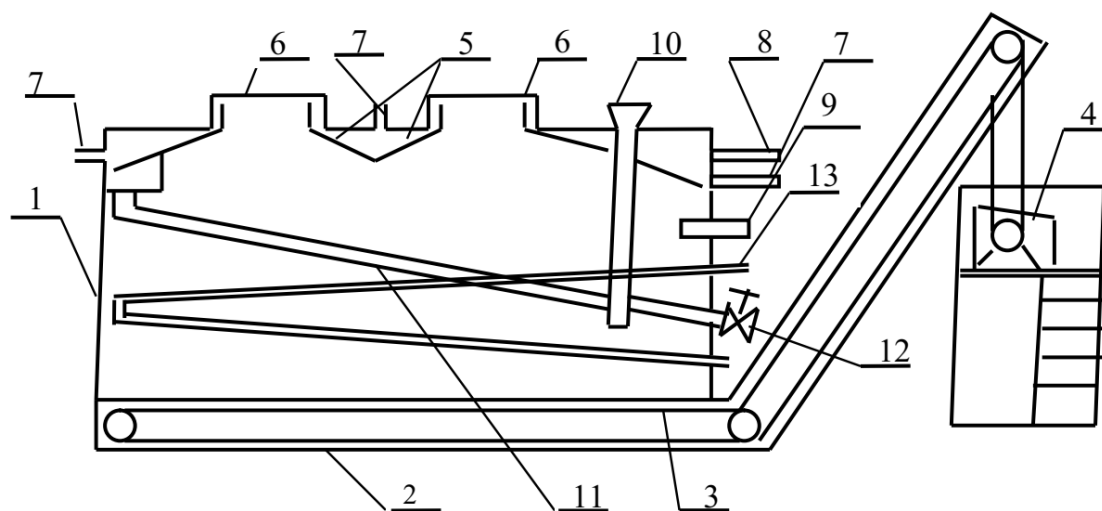


Рис. 1. Конструктивна схема біогазової установки:

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.

Всередині реактор розділено за допомогою перекриття пірамідальної форми (5) на дві частини: одна для бродіння відходів, друга – для біогазу, який виділяється. Газові ковпаки і пірамідальна форма перекриття дозволяють зруйнувати кірку, що утворюється на поверхні маси через підвищення рівня гною під час завантаження, і захищає газову порожнину від потрапляння гною. У верхній частині корпусу реактора є три патрубки для відбирання біогазу (7). Крім цього, є пристрої для встановлення приладів, які контролюють тиск газу (8), і температуру маси, що зброджується (9).

Гній поміщається у завантажувальну горловину (10), в якій встановлено захисну сітку.

Рідка зброджена маса відбирається із верхньої частини і по трубопроводу (11), який встановлено всередині реактора, за допомогою засувки (12) видаляється у відстійник.

У реакторі, всередині бокових стінок, встановлено два теплообмінники (13) для нагрівання маси гарячою водою, яка протікає по трубах.

Технічні характеристики експериментальної установки представлено в таблиці 1.

**Умови проведення досліджень.**

Умови досліджень подано в таблиці 2.

Технологічну схему роботи біореактора приведено на рисунку 2.

Корпус реактора виготовлено із металевих листів. Перед першим запуском установки була проведена перевірка працездатності вузлів підготовки і подачі відходів і вузла

вивантаження відходів з реактора. Реактор був заповнений до робочої мітки попередньо підігрітими до 35 °С відходами гною до пірамідальної форми перекриття реактора. Вміст реактора при температурі 31–33 °С витримували до появи біогазу з вмістом метану не менше 50 %. Згодом проводили щоденне завантаження реактора. Завантаження проводили в 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, далі – часткове вивантаження осаду із реактора з допомогою скребкового транспортера, потім завантажуються решта вихідних відходів, згодом випускається рідка фракція зброджених відходів до пониження їх рівня в реакторі до позначки низу пірамідальної частини перекриття реактора. Періодичність завантаження – 24 години.

До початку утворення біогазу з вмістом метану не менш як 50 % випускання його із реактора здійснюється в атмосферу, минуючи газгольдер; а потім – до газгольдера.

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

План експериментальних досліджень представлено в таблиці 3.

Таблиця 1 – Технічні характеристики експериментальної установки

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

Таблиця 2 – Умови проведення випробувань

№ п/п	Показники	Значення
1.	Характеристика тваринницького комплексу: - спеціалізація - тип годівлі тварин - спосіб утримання тварин - вид тварин - кількість голів - середньодобовий вихід гною, м <sup>3</sup>	Виробництво молока Силосно-сінажний Комбінований Корови 780 70–85
2.	Характеристика гною, що надходить до реактора: - вологість, % - рН - щільність, кг/м <sup>3</sup> - вміст органічних речовин в асв, % - вміст зважених речовин, мг/л - середньозважений розмір частин, мм - вміст азоту, %: аміачного загального - вміст фосфору, % - вміст калію, % - вміст водню, % - відношення С : N - вміст летких жирних кислот, мг/л	95,6–96,4 7,3–7,9 1009–1033 73,9–78,8 24600–68800 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

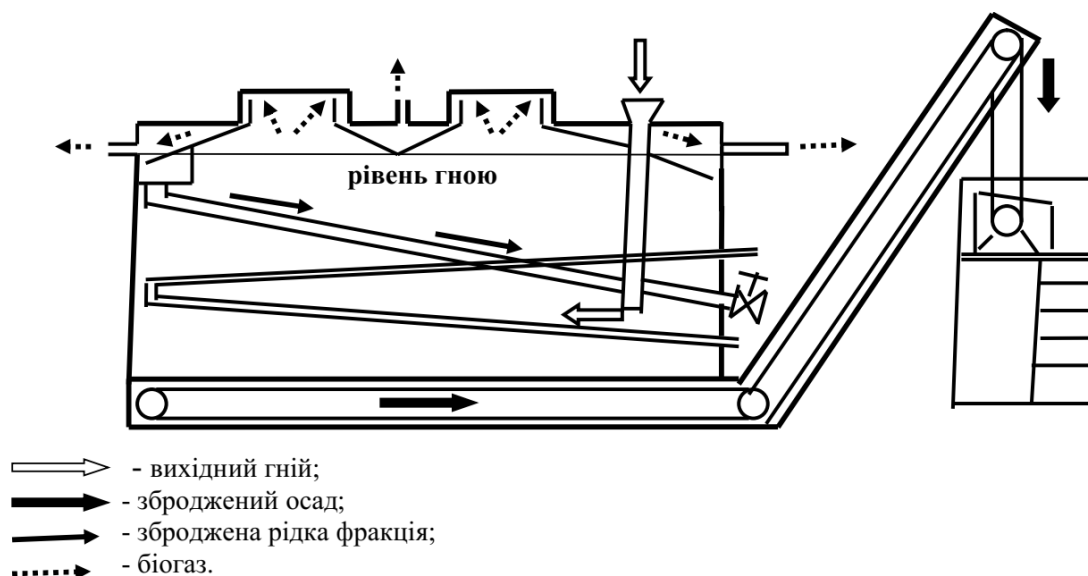


Рис. 2. Технологічна схема мікробіологічного реактора.

Таблиця 3 – Планові показники для проведення дослідження біореактора

№ п/п	Показники	Значення			
		I	II	III	IV
1.	Режим роботи установки:	I	II	III	IV
2.	Доза завантаження, м <sup>3</sup> / добу	2,5	4,0	5,5	7,0
3.	Температура бродіння, °С	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, %;

$K_1$  – частка органічної речовини в абсолютно сухій речовині гною;

$K_2$  – частка розкладання органічної речовини в процесі бродіння;

q – теоретичний вихід біогазу з 1 кг органічної речовини, м<sup>3</sup>/кг; q = 0,8 (20).

**Результати дослідження та обговорення.**

Показники якості роботи біореактора наведено в таблиці 4.

На рисунку 3 і в таблиці 5 за результатами досліджень представлено залежності фактичного виходу біогазу від добового завантаження біореактора  $Q_{\text{б}} = f_1(D)$  і максимально можливого (за тих самих умов) виходу біогазу від добового завантаження біореактора  $Q_{\text{б теор}} = f_2(D)$ . Доза завантаження представлена в процентах до повного об'єму сировини в реакторі (40,8 м<sup>3</sup>).

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 гноєм, м <sup>3</sup> / добу	2,5	4,0	5,5	7,0
	Вихід біогазу, м <sup>3</sup> / добу	16,0	28,5	34,5	35,5
	Питомий вихід біогазу з одиниці об'єму завантаженої маси, м <sup>3</sup> / м <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	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 частин, 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 <sup>3</sup>	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

На рисунку 4 і в таблиці 6 приведено результати тих залежностей. Значення виходу біогазу перераховано на кілограм сухої органічної речовини (кг СОР), яка надходить у реактор під час завантаження, дозу завантаження представлено за вмістом органічної речовини, яка надходить на 1 м<sup>3</sup> об'єму сировини реактора.

Фактичний вихід біогазу за різних режимів бродіння (рис. 3) становив 77,7–81,6 % від максимально можливого (розрахункового). Це зменшення обумовлено, ймовірно, властивостями завантаженого гною (його свіжістю, складом органічної речовини, співвідношенням вуглецю та азоту).

Результати досліджень свідчать, що за малої добової дози завантаження питомий

вихід біогазу з одиниці маси завантаженої сухої органічної речовини (рис. 4) вищий за рахунок збільшення тривалості перебігу процесу бродіння і, відповідно, підвищення ступеня розкладання органічної речовини (від 24,1 % за дози завантаження 7,0 м<sup>3</sup>/добу до 35,0 % за дози завантаження біореактора 2,5 м<sup>3</sup>/добу).

Отже, ефективнішу роботу реактора спостерігали за дози завантаження в межах від 4,0 до 5,5 м<sup>3</sup> гною на добу з тривалістю бродіння 7–10 діб.

На практиці тривалість бродіння вибирають залежно від температури за наступних інтервалів: при 10–25 °С – 30 діб. За 25–40 °С – від 10 до 20 діб, за 45–60 °С – від 8 до 4 діб [20].

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
Фіктивний вихід біогазу, Q <sub>б</sub> , м <sup>3</sup> /доб.	16,0	28,5	34,5	35,5
Максимально можливий вихід біогазу, Q <sub>б теор</sub> , м <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> реактора	1,75	3,19	4,18	5,95
Фактичний вихід біогазу, Q <sub>б</sub> , м <sup>3</sup> /кг СОР	0,22	0,21	0,19	0,15
Максимально можливий вихід біогазу, Q <sub>б теор</sub> , м <sup>3</sup> /кг СОР	0,28	0,27	0,23	0,19

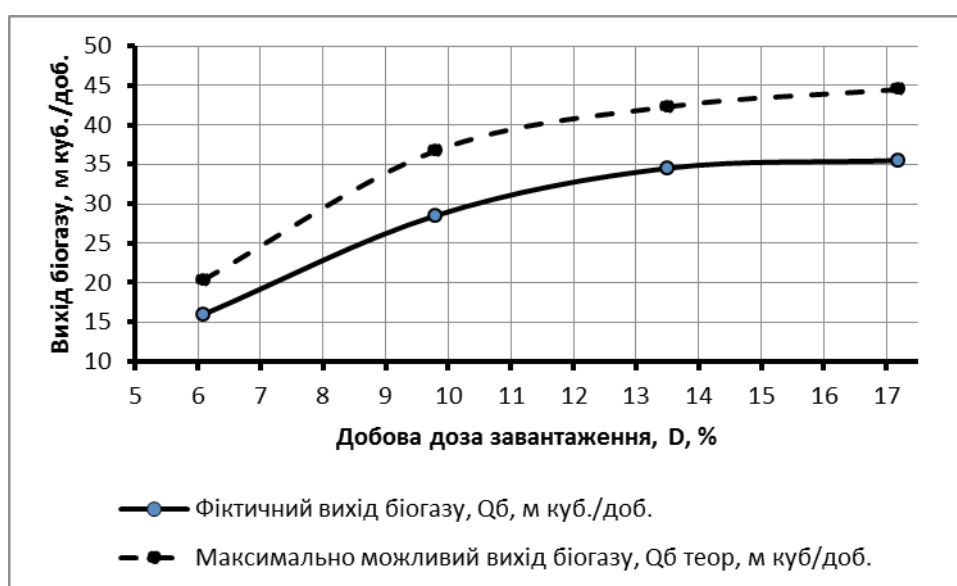


Рис. 3. Залежність виходу біогазу від добового завантаження реактора.

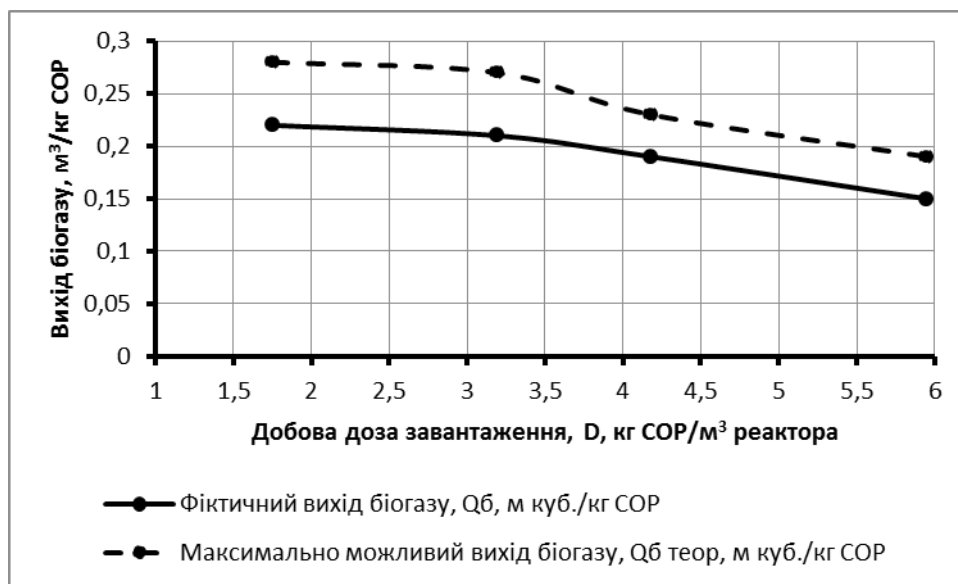


Рис. 4. Залежність виходу біогазу від дози сухої органічної речовини (COP) завантаження біореактора.

**Висновки.** Для дослідження біогазової установки було використано біореактор ємністю 50 м<sup>3</sup> з вузлом вивантаження продуктів анаеробного бродіння, обладнання підготовки і подачі відходів до реактора, газгольдера і технічного обладнання для підігріву води, яку використовують як теплоносій в теплообміннику реактора.

Визначення показників якості роботи мікробіологічного реактора проводили за чотирьох режимів за добового завантаження 2,5; 4,0; 5,5; і 7 м<sup>3</sup> рідкого гною вологістю 95,6–96,4 % з умістом органічної речовини в абсолютно сухій речовині гною 73,9–78,8 %. Отримані дані добового виходу біогазу за чотирьох досліджуваних режимів заванта-

ження свідчать, що за цієї характеристики гною, завантаженого в реактор, більш ефективна робота забезпечується за добових доз завантаження 10–13 % від об’єму сировини в біореакторі, за добового завантаження реактора 4,0–5,5 м<sup>3</sup> гною з тривалістю бродіння 7–10 діб.

На практиці тривалість бродіння вибирають залежно від температури: при 25–40 °C (32 °C) з наступними інтервалами від 10 до 20 діб.

Результати дослідження доводять, що за температури 32 °C можна скоротити тривалість бродіння з 10 до 20 діб до 7–10 діб, що збільшує продуктивність біогазової установки за масою зброженого гною.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гелетуа Г.Г., Кучерук П.П., Матвеев Ю.Б. Перспективи виробництва та використання біогазу в Україні. Аналітична записка БАУ. 2013. № 4. URL: <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. P. 18–29.
3. Калетнік Г.М., Здирко 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 Sustain-able Development. 2020. № 9. 2. P. 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. Process Design of the Biogas Upgrading to Biomethane Using Green Hydrogen /N. Pierro et al. Chemical Engineering Transactions. 2023. No 100.

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. Калетник 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 УАВІО № 28. Київ, 2022. 47 с.

15. Пришляк Н.В. Досвід 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. URL: [http://www.me.gov.ua/control/uk/publish/category/main?cat\\_id=133291](http://www.me.gov.ua/control/uk/publish/category/main?cat_id=133291).

18. Гуцолок В.Д. Біоконверсія органічних відходів для отримання біогумусу, біогазу, біологічних речовин і охорона навколишнього середовища. Захист рослин. 1992. № 1. 61 с.

19. Біопаливо – альтернатива газу. URL: [www.esoclub.kiev.ua](http://www.esoclub.kiev.ua).

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

## REFERENCES

1. Heletukha, H.H., Kucheruk, P.P., Matveiciev, Yu.B. (2013). Perspektyvy vyrobnytstva ta vykorystannia biohazu v Ukraini [Prospects for the production and use of biogas in Ukraine]. Analytical note of BAU, no. 4. Available at: <http://www.uabio.orgimfilesdocsposition-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 [Economy]. Finansy [Finances]. Menedzhment: aktualni pytan-nia nauky i praktyky [Management: topical issues of science and practice]. 8, pp. 7–22. (In Ukrainian).

4. Kaletnik, G., Lutkovska, S. (2020). Innovative Environmental Strategy Sustainable Development. European Journal of Sustainable Development, 9 (2), pp. 89–98. (In English).

5. Kaletnik, G. (2018). Production and use of bio-fuels: Second edition, supplemented: textbook. Vinnytsia: LLC “Nilan- Ltd”, 336 p. (In English).

6. Tokarchuk, D.M. (2018). Ekonomiko-ekolohichni vyhody zastosuvannia biohazovykh ustanovok u domohospodarstvakh [Economic and environmental benefits of using biogas plants in households]. Ekonomika [Economy]. Finansy [Finances]. Menedzhment: aktualni pytan-nia nauky i praktyky [Management: topical 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 complexu 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) Vyrobnytstvo biometanu z ahrobiomasy v Ukraini: problemy ta perspektyvy [Production of biomethane from agrobiomass in Ukraine: problems and prospects]. Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika [Podilsky Visnyk: agriculture, technology, economy]. Ekonomichni nauky [Economic sciences], Vol. 2 (37), pp. 65–72. (In Ukrainian).

11. Kaletnik, H.M., Tokarchuk, D.M. (2021) Efektyvnist vyroshchuvannia enerhetychnykh kultur ta yikh pererobky na biopalyvo v konteksti zabezpechennia enerhetychnoi avtonomii ahrarnykh pid-priemstv [Effectiveness of growing energy crops and their processing into biofuel in the context of ensuring energy autonomy of agricultural enterprises]. Ekonomika, finansy, menedzhment: aktualni pytan-nia nauky i praktyky [Economy, finances, management: topical issues of science and practice]. Vol. 2, pp. 7–25. (In Ukrainian).

12. Kupchuk, I.M., Hontaruk, Ya.V., Prysiazhniuk, Yu.S. (2022) Perspektyvy pidvyshchennia rivnia enerhetychnoi avtonomii pererobnykh pidpriemstv APK Ukrainy za rakhunok vyrobnytstva 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. (In Ukrainian).

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 prohozuvannia [Economics and forecasting], Vol. 2, pp. 128–142. (In Ukrainian).

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, 47 p. Available at: [https://uabio.org/wp-content/uploads/2022/04/10-krokv-Ukrayiny-dlya-vidmovy-vid-PG\\_UKR.pdf](https://uabio.org/wp-content/uploads/2022/04/10-krokv-Ukrayiny-dlya-vidmovy-vid-PG_UKR.pdf) (accessed November 12, 2023) (in Ukrainian)

15. Pryshliak, N.V. (2011). Dosvid u budivnytstvi individualnykh biohazovykh ustanovok [Experience in the construction of individual biogas plants.]. Economics of the Agricultural Industry, no. 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]. Investments: practice and experience, no. 21, pp. 15–20. (In Ukrainian).

17. Ekonomichna polityka Ukrayiny / Ministerstvo ekonomichnoho rozvytku i torhivli Ukrayiny [Economic policy of Ukraine / Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine]. Available at: [http://www.me.gov.ua/control/uk/publish/category/main?cat\\_id=133291](http://www.me.gov.ua/control/uk/publish/category/main?cat_id=133291). (In Ukrainian).

18. Hutshulyak, V.D. (1992). Biokonversiya orhanichnykh vidkhodiv dlya otrymannya biohumusu, biohazu, biolohichnykh rehovyn i okhorona navkolyshn'oho sere dovysysha [Bioconversion of organic waste to obtain biohumus, biogas, biological substances and environmental protection]. Zakhyst roslyn [Plant protection]. no. 1, 61 p. (In Ukrainian).

19. Biopalyvo – al'ternatyva hazu [Biofuel - an alternative to gas]. Available at: [www.ecoclub.kiev.ua](http://www.ecoclub.kiev.ua). (In Ukrainian).

20. Baader, V., Done, E., Brennderfer, M. (1982). Biohaz: teoriya i praktyka [Biogas: theory and practice]. K.: Kolos, 148 p. (In Ukrainian).

### Optimization of the technological process of the farm biogas plant

Senchuk M.

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

One of the most effective methods of purification 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 issue 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 m<sup>3</sup> was used, where the volume of liquid manure in the reactor was 40,8 m<sup>3</sup>. The study of the bioreactor operation process was carried out in 4 operating modes: I - operating mode: - loading dose – 2,5 m<sup>3</sup>/day, - duration of fermentation - 16 days; II - mode of operation: - loading dose - 4 m<sup>3</sup>/day, - duration of fermentation - 10 days; III - mode of operation: - loading dose – 5,5 m<sup>3</sup>/day, - duration of fermentation - 7 days; VI - mode of operation: - loading dose - 7 m<sup>3</sup>/day, - duration of fermentation - 6 days. For all operating modes: - fermentation temperature - 32 °C; -- excess pressure of biogas in the reactor – 0,005 MPa; - loading frequency – 1 time/day.

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

The dependence of biogas output on the dose of dry organic substance (DOS) loading of the bioreactor was determined: I mode of operation: daily loading dose – 1,75 kg of DOS /m<sup>3</sup> reactor, - actual biogas output – 0,22 m<sup>3</sup>/kg SOF, - maximum possible biogas output (theoretical) – 0,28 m<sup>3</sup>/kg DOS; II - mode of operation: daily loading dose – 3.19 kg of DOS /m<sup>3</sup> reactor, - actual biogas output – 0.21 m<sup>3</sup>/kg DOS, - maximum possible biogas output (theoretical) – 0,27 m<sup>3</sup>/kg DOS; III - operating mode: daily loading dose – 4,18 kg DOS /m<sup>3</sup> reactor, - actual biogas output – 0.19 m<sup>3</sup>/kg DOS, - maximum possible biogas output (theoretical) – 0.23 m<sup>3</sup>/kg DOS; ; VI - mode of operation: daily loading dose – 5.95 kg DOS /m<sup>3</sup> reactor, - actual biogas output – 0.15 m<sup>3</sup>/kg DOS, - maximum possible biogas output (theoretical) – 0.19 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup> 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 results of the study make it possible to recommend that at a temperature of 32 °C, the duration of fermentation should be reduced from 10 to 20 days to 7-10 days, which increases the productivity of the biogas plant by the mass of fermented manure.

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



Copyright: Сенчук М.М. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:  
Сенчук М.М.

<https://orcid.org/0000-0001-9455-583X>