

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проєкту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Обґрунтування параметрів біореактора біогазової установки для
утилізації відходів птахівництва**

Виконав: здобувач групи АІС-1-23

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

Веретельник Сергій Володимирович _____

Керівник: _____ Золотовська Олена Володимирівна

Рецензент: _____

Дніпро – 2026

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис) (прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2026 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Веретельник Сергій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів біореактора біогазової
установки для утилізації відходів птахівництва

Керівник роботи Золотовська Олена Володимирівна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 5 » травня 2026 року № 912

2. Строк подання студентом роботи 12.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту Аналіз фермерського господарства. Аналіз
літературних джерел та обґрунтування актуальності дипломного
проєкту. Аналіз конструктивно-режимних параметрів біогазової
установки.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які
потрібно розробити). 1 Аналіз господарства та обґрунтування доцільності
впровадження біогазової установки. 2. Обґрунтування використання
біогазової установки. 3 Конструктивне обґрунтування проєкту. 4.

Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5. Техніко-економічна оцінка проєктних рішень. Висновки. Бібліографічний список.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Аналіз господарства та обґрунтування доцільності впровадження біогазової установки (A1). 2. Аналіз конструкцій установок.. (A1). 3. Біогазова установка. Загальний вигляд. (A1) 4. Теплообмінник-мішалка. Складальне креслення (A1). 5. Вал мішалки. (A3). Трубчастий теплообмінний елемент (A3). Секція рами мішалки (A3). Колектор теплоносія. (A3). 6. Обґрунтування ефективності (A1).

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2,3,4,5	Золотовська О.В., доцент		
Нормо-контроль	Бойко В.Б., доцент		

7. Дата видачі завдання: 11.03.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз господарства	11.03.26-11.04.26	
2	Аналіз проблематики проєкту	13.03.26-13.05.26	
3	Технологічно-конструктивний	14.04.26-21.05.26	
4	Охорона праці	15.04.26-20.05.26	
5	Економічний	19.04.26-7.06.26	
6	Графічна частина	10.05.65-7.06.65	

Здобувач

(підпис)

Веретельник С.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Золотовська О.В.

(прізвище та ініціали)

[illegible]

Анотація

Веретельник С.В. Обґрунтування параметрів біореактора біогазової установки для утилізації відходів птахівництва / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026

Дипломний проєкт присвячено обґрунтуванню параметрів біореактора біогазової установки для утилізації відходів птахівництва в умовах фермерського господарства.

У роботі розглянуто проблему накопичення пташиного посліду та обґрунтовано доцільність його переробки з отриманням біогазу і органічного добрива. Проаналізовано виробничі умови господарства, джерела утворення органічних відходів та можливість їх використання як сировини для біогазової установки.

Запропоновано конструкцію модернізованого вертикального біореактора з комбінованим вузлом «теплообмінник-мішалка». Таке рішення забезпечує одночасне нагрівання і перемішування субстрату, що покращує умови анаеробного зброджування та підвищує ефективність роботи установки.

У проєкті виконано основні розрахунки біореактора, розроблено складальне креслення та деталювання головних елементів вузла. Також розглянуто питання охорони праці та проведено техніко-економічну оцінку запропонованого рішення.

Ключові слова: біореактор, біогазова установка, пташиний послід, відходи птахівництва, теплообмінник-мішалка, анаеробне зброджування, фермерське господарство.

ЗМІСТ

Анотація	5
Вступ	7
1. АНАЛІЗ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ	10
1.1 Загальна характеристика фермерського господарства	10
1.2 Земельні ресурси та структура сільськогосподарського виробництва	11
1.3 Виробнича структура господарства	13
1.4 Характеристика галузі птахівництва	14
1.5 Матеріально-технічне забезпечення господарства	16
1.6 Аналіз органічних відходів і можливостей їх використання	17
1.7 Енергетичні передумови впровадження біогазової установки	18
Висновки	19
2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ	20
2.1 Аналіз проблеми утилізації відходів птахівництва та перспективи застосування біогазових установок	20
2.2 Аналіз існуючих конструкцій біогазових установок та вибір напряму удосконалення	24
2.3 Обґрунтування вибору конструктивної схеми біореактора	29
Висновки	32
3 КОНСТРУКТИВНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	33
3.1 Розрахунок конструктивних параметрів біореактора	33
3.2 Визначення геометричних параметрів мішалки	38
3.3 Визначення теплових витрат біореактора	40
Висновки	48
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	49
4.1 Загальна характеристика умов праці	49
4.2 Вимоги безпеки до розміщення установки	50
4.3 Безпека під час експлуатації біореактора	51
4.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	53
4.5 Заходи щодо захисту довкілля	53
Висновки	54
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЄКТУ	55
Висновки	63
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66
ДОДАТКИ	68

ВСТУП

Сучасне сільське господарство дедалі більше стикається не лише з виробничими, а й з енергетичними та екологічними викликами. Для фермерських господарств особливо гострими залишаються питання здешевлення енергоносіїв, раціонального використання місцевих ресурсів і безпечного поводження з органічними відходами. Одним із практичних шляхів розв'язання цих завдань є використання біогазових установок, які дають змогу переробляти відходи аграрного виробництва, одержувати біогаз і водночас формувати органічну масу, придатну для подальшого застосування як добриво. У вихідному матеріалі підкреслено, що саме для малих сільськогосподарських підприємств і фермерських господарств біогазові установки є перспективним напрямом підвищення енергетичної самостійності.

Серед різних видів органічної сировини відходи птахівництва займають важливе місце, оскільки утворюються у значних обсягах і потребують організованої утилізації. За неналежного зберігання або накопичення вони погіршують санітарний стан території, створюють ризик забруднення ґрунту, води та повітря, а також потребують додаткових витрат на вивезення й знезараження. Разом з тим пташиний послід є цінною сировиною для анаеробного зброджування, тому його переробка в межах біогазової установки є не лише природоохоронним, а й технічно та господарсько доцільним рішенням. У джерелі ця проблема розглядається як одна з ключових для малих аграрних підприємств.

Основним робочим елементом будь-якої біогазової установки є біореактор. Саме в ньому відбувається зброджування підготовленого субстрату, утворення біогазу та формування перебродженої маси. Ефективність цього процесу значною мірою залежить від того, наскільки стабільно в реакторі підтримуються необхідні умови роботи. Насамперед

ідеться про температурний режим і рівномірність розподілу субстрату в об'ємі. Якщо маса прогрівається нерівномірно або не перемішується належним чином, це погіршує перебіг біотехнологічного процесу та знижує результативність установки. Саме тому питання вибору раціональної конструкції біореактора має для дипломної роботи визначальне значення.

Аналіз наявних конструктивних рішень показує, що в біогазових установках застосовують різні способи підведення теплоти та перемішування субстрату. Однак окреме виконання цих функцій часто ускладнює будову установки, збільшує кількість елементів, підвищує витрати матеріалу та енергії, а також ускладнює обслуговування. Тому більш раціональним підходом для бакалаврського проєктування є вдосконалення біореактора шляхом поєднання функцій нагрівання та перемішування в одному конструктивному вузлі. У вихідній роботі саме така схема розглядається як перспективна, а застосування суміщеного теплообмінника-мішалки дає змогу зменшити теплові витрати порівняно з традиційними варіантами.

Для дипломного проєкту з агроінженерії це рішення є зручним і з методичної, і з конструкторської точки зору. Воно дозволяє зосередитися не на експериментальних дослідженнях, а на технічному обґрунтуванні параметрів біореактора, виборі його геометрії, способу нагрівання, перемішування, завантаження та вивантаження субстрату. Крім того, така тема дає можливість виконати повноцінний конструкторський розділ, підготувати складальне креслення біореактора та деталювання основних елементів удосконаленого вузла. На це вказує і сам зміст джерела, де окремо розглянуто геометричні параметри біореактора, схему теплообмінника-мішалки та інженерний підхід до визначення основних параметрів установки.

Отже, тема обґрунтування параметрів біореактора біогазової установки для утилізації відходів птахівництва в умовах фермерського господарства є актуальною, практично значущою та повністю відповідає напрямку підготовки бакалавра з агроінженерії.

Метою дипломної роботи є обґрунтування параметрів біореактора біогазової установки для переробки відходів птахівництва в умовах фермерського господарства та розроблення удосконаленого конструктивного рішення з поєднаним вузлом нагрівання і перемішування субстрату.

Для досягнення поставленої мети у роботі передбачено розв'язання таких завдань:

- проаналізувати способи утилізації відходів птахівництва та сучасні конструкції біогазових установок;
- обґрунтувати вибір конструктивної схеми біореактора для фермерського господарства;
- оцінити існуючі способи нагрівання і перемішування субстрату;
- запропонувати удосконалений вузол біореактора з поєднанням функцій теплообміну та перемішування;
- визначити основні параметри біореактора та його робочих елементів;
- виконати конструкторські розрахунки основних вузлів;
- дати техніко-економічну оцінку запропонованому рішенню;
- розробити заходи з охорони праці та захисту довкілля під час експлуатації установки

1. АНАЛІЗ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

1.1 Загальна характеристика фермерського господарства

Господарство належить до малих аграрних підприємств фермерського типу та здійснює діяльність у двох основних напрямках - рослинництві та птахівництві. Така спеціалізація є характерною для господарств змішаного типу, у яких поєднання декількох галузей дає змогу ефективніше використовувати земельні ресурси, виробничі площі, технічні засоби та побічну продукцію.

Господарство функціонує в умовах степової зони, що істотно впливає на організацію виробничих процесів. З одного боку, природно-кліматичні умови регіону є придатними для вирощування зернових і технічних культур, а з іншого - вимагають уважного ставлення до питань енергозабезпечення, мікроклімату у виробничих приміщеннях та організації внутрішньогосподарської інфраструктури. Особливо це стосується птахівництва, де стабільність технологічного режиму безпосередньо впливає на продуктивність птиці та санітарний стан приміщень.

Фермерське господарств має компактну виробничу структуру. Основні виробничі об'єкти розташовані на одній території або в безпосередній близькості один до одного, що полегшує організацію технологічних процесів та зменшує внутрішньогосподарські транспортні витрати. Така особливість є важливою з точки зору можливого впровадження біогазової установки, оскільки дає можливість скоротити відстані транспортування органічної сировини та спростити використання одержаного біогазу і продуктів переробки. Загальні відомості про господарство наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Загальна характеристика

Показник	Значення
Форма господарювання	фермерське господарство
Загальна площа землекористування, га	68,0
У тому числі рілля, га	58,0
Господарські двори, забудова та дороги, га	4,0
Інші землі, га	6,0
Кількість працівників, осіб	11
Основний напрям діяльності	рослинництво та птахівництво
Кількість пташників, шт.	2
Поголів'я птиці, голів	600
Основні джерела енергії	електроенергія, тверде паливо
Побічна органічна продукція	пташиний послід

1.2 Земельні ресурси та структура сільськогосподарського виробництва

Земельні ресурси фермерського господарства є основою його виробничої діяльності. Основну частину землекористування становить рілля, яка використовується для вирощування зернових, технічних і кормових культур. Це дає змогу забезпечувати реалізацію товарної продукції та частково формувати кормову базу для птахівництва. Структура земельних угідь господарства наведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Структура земельних угідь господарства

Вид угідь	Площа, га	Частка, %
Рілля	58,0	85,3
Господарські двори та забудова	4,0	5,9
Інші землі	6,0	8,8
Разом	68,0	100,0

Наявність значної площі ріллі створює можливість не лише вирощувати товарну продукцію, а й використовувати переброджений залишок після біогазового процесу як органічне добриво. Це важливо для замкненого виробничого циклу, оскільки дозволяє повернути частину поживних речовин назад у ґрунт та зменшити потребу в окремих видах мінеральних добрив.

Структура посівних площ господарства відповідає його змішаній спеціалізації. Частина площ зайнята зерновими культурами, частина - технічними, а окремі площі використовуються під кормові культури. Такий розподіл є господарсько доцільним, оскільки забезпечує баланс між товарною та внутрішньогосподарською продукцією.

Таблиця 1.3

Структура посівних площ господарства

Культура	Площа, га	Частка в ріллі, %
Озима пшениця	18,0	31,0
Ячмінь ярий	8,0	13,8
Кукурудза на зерно	14,0	24,1
Соняшник	10,0	17,2
Багаторічні трави та кормові культури	8,0	13,9
Разом	58,0	100,0

Такий склад посівних площ свідчить, що господарство має можливість частково формувати власну кормову базу, а також використовувати органічні добрива на власних полях, що є позитивним фактором для впровадження біогазової технології.

1.3 Виробнича структура господарства

Виробнича структура господарства сформована з урахуванням його масштабів та спеціалізації. До основних підрозділів належать: пташники; кормовий склад; зерносклад; земельні угіддя; приміщення для зберігання продукції; майданчик для накопичення посліду.

До допоміжних підрозділів належать: машинно-тракторний двір; ремонтна майстерня; господарський двір; склад паливно-мастильних матеріалів; транспортні засоби; електрогосподарство.

З точки зору дипломного проєкту важливо, що органічні відходи птахівництва утворюються в межах одного господарського комплексу. Це дозволяє розглядати біогазову установку як локальний технічний засіб, який можна включити до існуючої виробничої структури без значної перебудови господарства.

Організаційна схема виробництва в господарстві є досить простою, що характерно для фермерських підприємств.



Рисунок 1.1 – Схема організаційно-виробничої структури фермерського господарства

Саме тому будь-яке нове технічне рішення повинно бути не надто складним, надійним у роботі та зручним в експлуатації. Біогазова установка з модернізованим біореактором якраз відповідає таким вимогам, оскільки дає змогу поєднати утилізацію органічних відходів з одержанням корисного енергетичного ресурсу.

1.4 Характеристика галузі птахівництва

Птахівництво в господарстві є важливою складовою виробничої діяльності. У двох пташниках утримується 600 голів курей-несучок. Це господарство не є великою промисловою птахофабрикою, однак навіть за такого поголів'я щоденно утворюється помітна кількість органічних відходів, що потребує організованого технологічного рішення.

Технологічний цикл галузі включає:

- забезпечення птиці кормами;
- напування;
- підтримання мікроклімату;

- прибирання посліду;
- санітарне обслуговування приміщень;
- збір продукції.

Птахівництво належить до галузей з постійним виходом органічної побічної продукції. Саме ця обставина робить його зручним джерелом сировини для біогазових установок малої продуктивності. На відміну від рослинницьких решток, які мають сезонний характер утворення, пташиний послід утворюється щоденно та більш рівномірно протягом року. Основні показники галузі птахівництва наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 1.4

Основні показники галузі птахівництва

Показник	Значення
Вид птиці	кури-несучки
Кількість пташників, шт.	2
Загальне поголів'я, голів	600
Середньодобовий вихід посліду від 1 голови, кг	0,17
Загальний добовий вихід посліду, кг	102
Загальний річний вихід посліду, т	37,23

Наведені показники важливі не як самостійні розрахункові величини, а як характеристика виробничого потенціалу господарства щодо забезпечення біореактора сировиною. За таких умов господарство має стабільну органічну базу, достатню для роботи невеликої біогазової установки.

Для стабільного функціонування птахівничої галузі велике значення має забезпеченість кормами. Кормова база формується за рахунок власного виробництва зернових і частково за рахунок закупівлі комбікормів, білкових і мінеральних добавок. Основними кормовими компонентами є - зерно кукурудзи; ячмінь; пшениця; комбікорми; мінеральні добавки; білкові компоненти.

Наявність власної кормової бази дозволяє зменшити залежність від зовнішніх постачальників, що особливо важливо для фермерських

господарств. Водночас рослинницька галузь може отримувати вигоду від використання продуктів анаеробної переробки органічних відходів, що робить виробничий цикл більш замкненим і ресурсно ощадним.

Таким чином, рослинництво і птахівництво в межах господарства взаємодіють між собою не лише економічно, а й технологічно. Цей взаємозв'язок посилюється у разі впровадження біогазової установки, оскільки переброджений залишок може використовуватись у рослинництві, а рослинницька продукція - у птахівництві.

1.5 Матеріально-технічне забезпечення господарства

Господарство має базовий комплект технічних засобів, достатній для ведення змішаного виробництва. До машинно-тракторного парку входять трактори, причепи, навантажувачі та допоміжна техніка. Також використовуються засоби для транспортування кормів, прибирання посліду та виконання внутрішньогосподарських перевезень.

Таблиця 1.5

Основні технічні засоби господарства

Найменування техніки	Марка	Кількість, шт.	Призначення
Трактор	МТЗ-82	1	транспортні та польові роботи
Трактор	ЮМЗ-6	1	допоміжні роботи
Причіп тракторний	2ПТС-4	1	перевезення вантажів
Причіп тракторний	1ПТС-2	1	внутрішньогосподарські перевезення
Навантажувач	ПЕА-1.0	1	навантаження органічної маси
Кормороздавач	кормовий візок	2	обслуговування пташників

Засоби прибирання посліду	скребкові/ручні	2	видалення відходів
------------------------------	-----------------	---	--------------------

Аналіз матеріально-технічної бази показує, що господарство має достатнє оснащення для обслуговування основного виробництва, але не має спеціалізованого обладнання для енергетичного використання органічних відходів. Саме тому біогазова установка повинна бути технологічно простою, компактною та пристосованою до роботи в умовах малого господарства.

1.6 Аналіз органічних відходів і можливостей їх використання

Основним видом органічних відходів у господарстві є пташиний послід. Його утворення має постійний характер, а тому потребує не разового, а системного технологічного вирішення. За традиційної схеми ведення господарства послід накопичується на майданчиках тимчасового зберігання або вивозиться на поля без попередньої переробки. Такий підхід має низку недоліків: потребує окремих площ під зберігання; супроводжується появою запахів; погіршує санітарний стан території; призводить до втрат поживних речовин; потребує додаткових транспортних витрат.

Для господарства органічні відходи не повинні розглядатися лише як побічний продукт, що підлягає видаленню. Вони є потенційно цінною сировиною для біогазового виробництва, оскільки містять органічні речовини, здатні до анаеробного розкладання з утворенням біогазу. Показники утворення органічних відходів подано в таблиці 2.6.

Таблиця 1.6

Характеристика органічних відходів у господарстві

Показник	Значення
Основний вид відходів	пташиний послід
Загальне поголів'я птиці, голів	600
Середньодобовий вихід посліду від 1 голови, кг	0,17
Загальний добовий вихід посліду, кг	102
Загальний річний вихід посліду, т	37,23

Характер утворення відходів	постійний
Можливість переробки в межах господарства	є

Наявність стабільного добового виходу посліду є ключовим аргументом на користь впровадження біогазової установки. Саме стабільність надходження сировини дозволяє забезпечити відносно рівномірний режим роботи біореактора та використовувати його в межах локальної системи енергозабезпечення.

1.7 Енергетичні передумови впровадження біогазової установки

Для фермерського господарства характерна постійна потреба в енергії. Електроенергія використовується для освітлення, вентиляції, роботи допоміжного обладнання, а теплова енергія - для господарських потреб і підтримання технологічних умов у холодний період року. За зростання цін на традиційні енергоносії питання локального енергозабезпечення набуває особливої актуальності.

Біогазова установка для такого господарства є не лише засобом переробки відходів, а й джерелом додаткової енергії. Для малого виробництва найбільш доцільним є використання біогазу насамперед для теплових потреб, оскільки саме теплова енергія необхідна як для самого біореактора, так і для окремих виробничих процесів.

Особливістю даного господарства є те, що воно не потребує великої централізованої енергетичної установки. Навпаки, доцільною є невелика біогазова система з біореактором малого об'єму, яка працює на наявній органічній сировині та дозволяє частково замінити традиційні джерела тепла.

До основних причин такого вибору належать:

- наявність стабільної органічної сировини у вигляді пташиного посліду;
- компактне розміщення виробничих об'єктів;
- змішана спеціалізація господарства;
- можливість використання перебродженого залишку на власних полях;
- потреба в додатковому джерелі теплової енергії;
- необхідність покращення санітарного стану виробничої території.

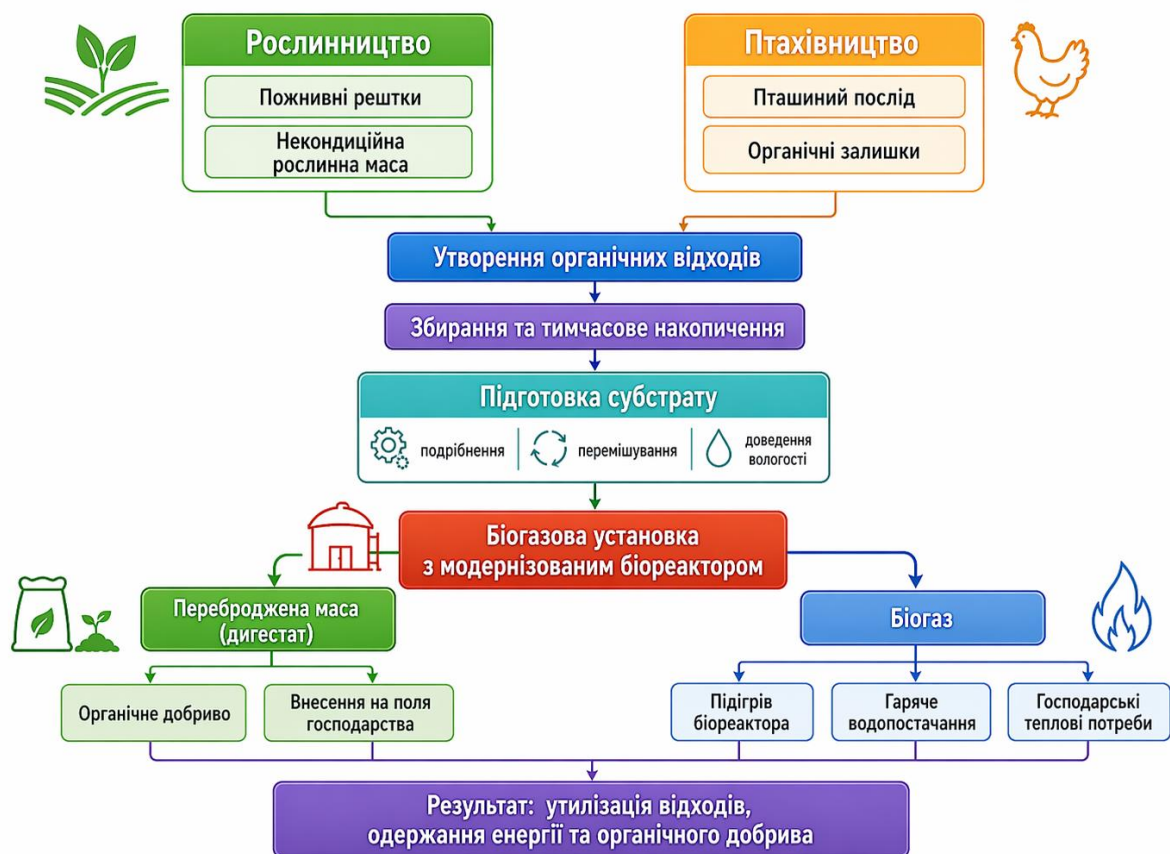


Рисунок 1.2 – Схема утворення і використання відходів

Крім того, масштаби господарства добре відповідають прийнятій у дипломному проєкті концепції біогазової установки малої продуктивності з модернізованим біореактором. Це означає, що вибрана проектна база є не умовною, а технологічно узгодженою з прийнятим конструктивним рішенням.

Висновки

Показано, що виробнича структура господарства, характер розміщення основних об'єктів, наявність земельних угідь і постійне утворення органічних відходів створюють сприятливі передумови для впровадження біогазової установки малої продуктивності.

Встановлено, що впровадження біогазової установки в умовах господарства є доцільним не лише з точки зору утилізації відходів птахівництва, а й з позицій енергозбереження, покращення санітарного стану території та більш повного використання ресурсного потенціалу фермерського виробництва.

2 ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

2.1 Аналіз проблеми утилізації відходів птахівництва та перспективи застосування біогазових установок

У фермерських господарствах, що спеціалізуються на вирощуванні птиці, щоденно утворюється значна кількість органічних відходів. За відсутності налагодженої системи переробки пташиний послід накопичується на території підприємства, погіршує санітарний стан виробничої зони, створює неприємні запахи та підвищує ризик забруднення ґрунту і водних об'єктів. Тому в сучасних умовах ведення аграрного виробництва проблема утилізації відходів птахівництва набуває не лише екологічного, а й технологічного та економічного значення.

Одним із найбільш доцільних напрямів використання органічних відходів є їх переробка в біогазових установках. Такий підхід дозволяє не просто видаляти послід із території господарства, а перетворювати його на корисний ресурс. У процесі анаеробного зброджування органічної маси утворюється біогаз, який може бути використаний для одержання теплової або електричної енергії, а також переброджена маса, придатна для використання як органічне добриво. Таким чином, біогазова установка поєднує в собі функції утилізації відходів, одержання енергоносія та підготовки добрив для подальшого застосування в рослинництві.

Для фермерського господарства біогазова технологія є привабливою насамперед тим, що вона базується на використанні місцевої сировини, яка постійно утворюється в процесі основної виробничої діяльності. Це дає можливість скоротити витрати на вивезення відходів, частково зменшити потребу в традиційних енергоносіях та підвищити рівень ресурсної самодостатності підприємства. Крім того, використання продуктів зброджування як добрив сприяє більш раціональному використанню поживних речовин у межах господарства.

Загальна схема комплексного використання відходів птахівництва з одержанням біогазу та добрив наведена на рис. 2.1.

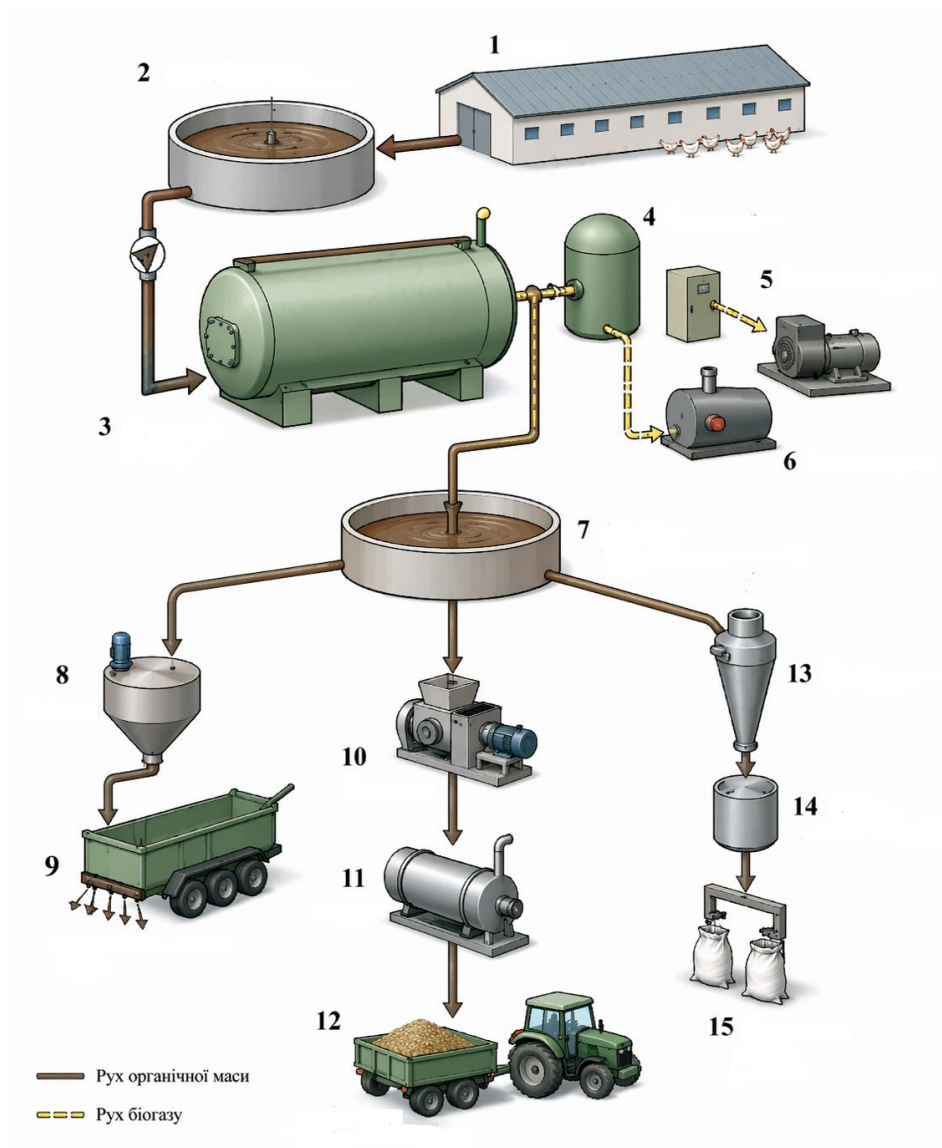


Рисунок 2.1 – Схема комплексного використання відходів птахівництва в біогазовій установці

1 - ферма; 2 - послідозбірник; 3 - біогазовий реактор; 4 - газгольдер; 5 - електрогенератор; 6 - теплогенератор; 7 - резервуар відпрацьованого посліду; 8 - змішувач; 9 - машина для внесення добрив; 10 - гранулятор; 11 - сушарка; 12 - зберігання та використання добрив; 13 - сепаратор; 14 - ємність для рідкої фракції; 15 - фасування добрив у мішки.

На рис. 2.1 показано послідовність руху органічної маси від місця її утворення до кінцевого використання продуктів переробки. Відходи від

птахівничого приміщення надходять до послідозбірника, після чого подаються в біогазовий реактор. У реакторі відбувається анаеробне зброджування субстрату, під час якого утворюється біогаз. Одержаний газ накопичується в газгольдері та може використовуватись для роботи теплогенератора або електрогенератора. Переброджена маса після реактора також не втрачає своєї цінності, а спрямовується на подальше використання: у вигляді органічного добрива, після сепарації на тверду і рідку фракції, після сушіння або гранулювання. Така схема свідчить про можливість комплексної переробки відходів птахівництва в межах одного господарства.

Важливою перевагою відходів птахівництва як сировини для біогазових установок є їх достатньо високий потенціал газоутворення. Порівняння різних видів органічної сировини показує, що пташиний послід є цілком придатним субстратом для анаеробного зброджування і за цим показником перевищує окремі інші види тваринницьких відходів. Для наочності в табл. 2.1 наведено орієнтовний вихід біогазу з різних видів сільськогосподарської сировини.

Таблиця 2.1

Потенційний вихід біогазу з різних видів органічної сировини

Вид сировини	Вміст сухої речовини, %	Вихід біогазу, м ³ /т
Гній великої рогатої худоби	8	22
Свиняча гноївка	6	25
Пташиний послід	22	76
Подрібнена солома	86	300
Трав'яний силос	40	200
Кукурудзяна силосна маса	35	208
Кукурудзяна зерно-стрижнева суміш	65	414
Пшенична солома	86	280
Лучна трава	18	95

З таблиці 1.1 видно, що пташиний послід має суттєвий енергетичний потенціал і може розглядатися як цінна сировина для біогазового виробництва. Хоча за абсолютним виходом біогазу деякі рослинні матеріали мають вищі показники, саме послід є більш доступним для птахівничих господарств, оскільки утворюється безперервно і не потребує окремого вирощування чи заготівлі. Це робить його зручним об'єктом для використання в установках малої та середньої продуктивності.

Практична ефективність біогазової установки залежить не лише від виду сировини, а й від правильності організації технологічного процесу. Для стабільного зброджування необхідно забезпечити герметичність системи, належне завантаження і вивантаження субстрату, підтримання заданого температурного режиму та достатнє перемішування маси в реакторі. Якщо ці умови не виконуються, інтенсивність утворення біогазу знижується, а робота установки стає нестабільною. Саме тому головним елементом всієї системи є біореактор, конструкція якого визначає надійність та ефективність функціонування установки.

Загальне конструктивне уявлення про склад біогазової системи та взаємодію її основних вузлів наведено на рис. 2.2.

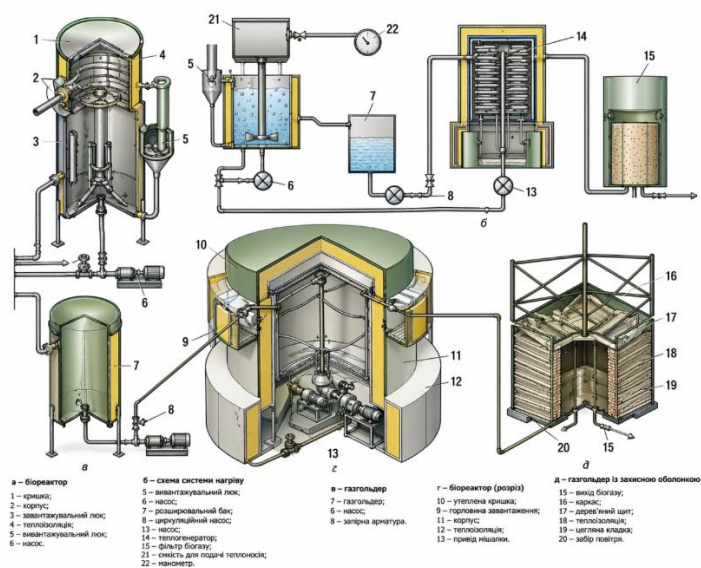


Рисунок 2.2 – Загальна конструктивно-технологічна схема біогазової установки

На рис. 2.2 подано приклад компоновання біогазової установки, до складу якої входять біореактор, система подачі теплоносія, газгольдер, вузли циркуляції та допоміжні елементи. Така схема наочно показує, що основне технологічне навантаження припадає саме на біореактор, де відбуваються нагрівання, перемішування і зброджування субстрату. Отже, удосконалення параметрів і конструкції цього вузла є визначальним напрямом підвищення ефективності всієї установки.

Для фермерських господарств важливо, щоб біогазова установка була не тільки працездатною, а й конструктивно простою, безпечною та придатною до експлуатації в реальних виробничих умовах. Надмірно складні багатовузлові системи потребують більших капітальних витрат, ускладнюють обслуговування та знижують доцільність їх використання в невеликих господарствах. Тому під час вибору технічного рішення доцільно орієнтуватися на біореактор, який забезпечує стабільні умови зброджування за відносно простої конструкції та помірних енерговитрат.

2.2 Аналіз існуючих конструкцій біогазових установок та вибір напрямку удосконалення

Конструкції біогазових установок, що застосовуються для переробки органічних відходів, відрізняються за компонованням, формою біореактора, способом нагрівання субстрату, типом перемішування та складом допоміжного обладнання. Незважаючи на відмінності окремих технічних рішень, будь-яка біогазова установка повинна забезпечувати виконання одних і тих самих основних функцій: приймання та підготовку сировини, зброджування субстрату, відведення та накопичення біогазу, а також вивантаження перебродженої маси для подальшого використання. Саме тому під час аналізу існуючих установок доцільно розглядати не окремі другорядні елементи, а насамперед ті вузли, які безпосередньо впливають на стабільність технологічного процесу і вихід біогазу.

Загалом біогазова установка включає біореактор, систему підведення теплоти, засоби перемішування, газовідвідну систему, газгольдер, трубопроводи, насосне обладнання та арматуру. Усі ці елементи повинні працювати узгоджено, однак вирішальна роль належить саме біореактору. У ньому відбувається анаеробне зброджування, формується газова суміш і забезпечуються основні умови процесу - температура, однорідність субстрату та герметичність робочого об'єму. Тому ефективність усієї установки в першу чергу визначається конструкцією біореактора та характеристиками його робочих вузлів. За конструктивним виконанням біореактори (рис.2.3) можна умовно поділити на горизонтальні, вертикальні, багатосекційні та реактори з внутрішнім теплообмінним вузлом

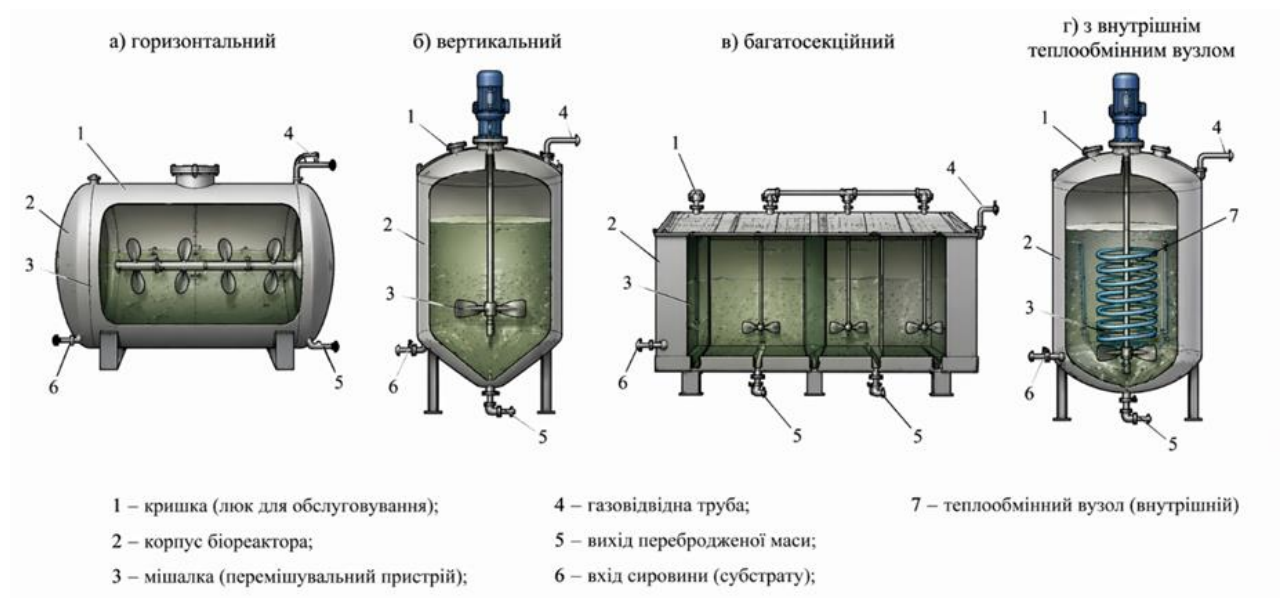


Рисунок 2.3 – Основні типи біореакторів

Горизонтальні реактори зручні для розміщення в приміщеннях із невеликою висотою, мають відносно просту форму корпуса та можуть використовуватися в установках безперервної або періодичної дії. Вертикальні реактори є більш компактними в плані, зручні для теплоізоляції і краще пристосовані до організації осьового перемішування. Багатосекційні конструкції дозволяють поетапно переміщувати субстрат між окремими камерами, однак вони складніші за будовою і дорожчі у виготовленні.

Реактори з внутрішнім теплообмінним елементом забезпечують інтенсивніше передавання теплоти до маси, але водночас вимагають більш ретельного узгодження нагрівання і перемішування.

Для фермерських господарств найбільш доцільними є конструкції, що поєднують компактність, конструктивну простоту та можливість підтримувати стабільний режим зброджування. Надто складні багатосекційні системи або установки з великою кількістю окремих допоміжних вузлів підвищують вартість виготовлення, ускладнюють монтаж і збільшують витрати на технічне обслуговування. Тому при виборі базової схеми для дипломного проєктування доцільно орієнтуватися на реактор, який має порівняно просту форму корпусу, зручний для завантаження і вивантаження субстрату, добре піддається теплоізоляції та дозволяє ефективно організувати нагрівання і перемішування біомаси.

Оскільки температура субстрату суттєво впливає на інтенсивність процесу зброджування, у конструкції біогазової установки обов'язково передбачається система нагрівання. Існуючі технічні рішення відрізняються способом розміщення теплообмінних поверхонь і характером підведення теплоти до маси. У практиці проєктування використовують нагрівання через стінки реактора, днище, внутрішній циліндричний теплообмінник, зовнішній теплообмінник, внутрішній змієвик, нагрівання парою або систему водяної рубашки. Кожен із цих варіантів має свої переваги й обмеження, які необхідно враховувати при виборі конструкції (рис. 2.4).

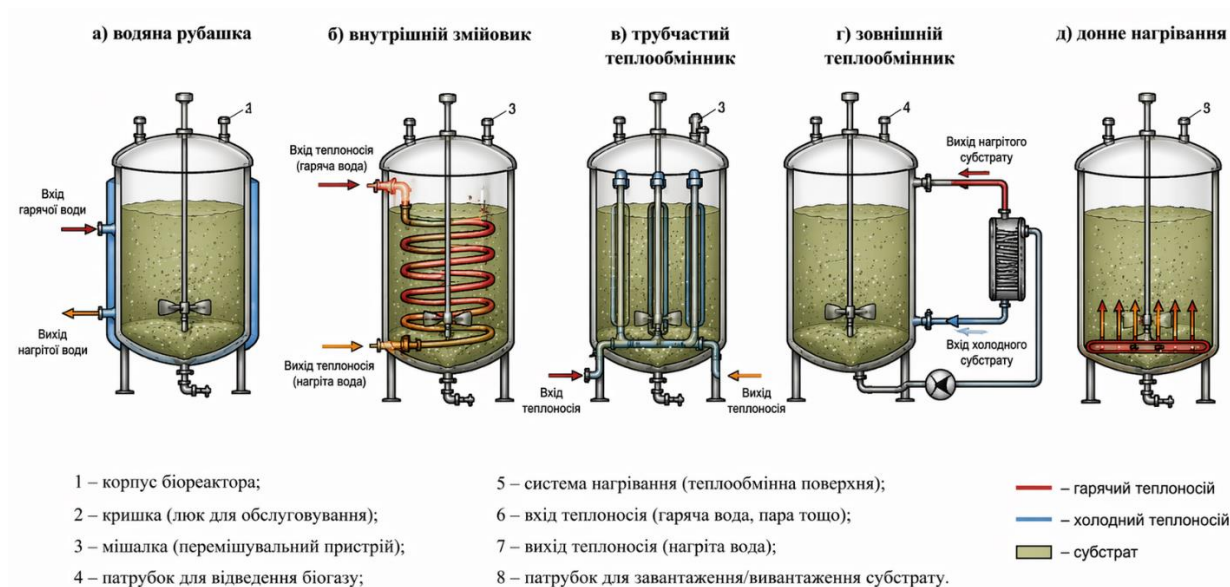


Рисунок 2.4 – Основні способи нагрівання субстрату в біореакторі

Нагрівання через стінки або водяну рубашку є конструктивно зрозумілим і відносно безпечним, однак за великого об'єму реактора воно може не забезпечити достатньо рівномірного розподілу температури в усій масі. Застосування внутрішнього змійовика або трубчастого теплообмінника підвищує інтенсивність теплообміну, але створює додаткові поверхні всередині реактора, на яких можуть осідати частинки субстрату. Зовнішній теплообмінник спрощує доступ до теплопередавальної поверхні під час обслуговування, проте потребує циркуляції маси насосом. Донне нагрівання та нагрівання через внутрішні елементи забезпечують локальне підведення теплоти, але потребують добре організованого перемішування, інакше температура в різних зонах реактора буде нерівномірною. Отже, вибір способу нагрівання має здійснюватися разом із вибором системи перемішування, а не окремо.

Не менш важливим елементом є перемішування субстрату. У процесі зброджування маса має властивість розшаровуватися: важчі частинки осідають униз, а легші спливають на поверхню, що погіршує умови бродіння і зменшує вихід біогазу. Для запобігання цьому застосовують механічні, гідравлічні або газові способи перемішування. Механічне перемішування за

допомогою лопатевих мішалок забезпечує активний рух рідини в робочому об'ємі. Гідравлічне перемішування реалізується струменем рідини через сопло або циркуляційний контур. Газове перемішування базується на подачі частини виробленого біогазу назад у бродильну камеру. Кожен із цих способів може бути ефективним, але його придатність залежить від форми реактора, в'язкості маси та прийнятого температурного режиму.

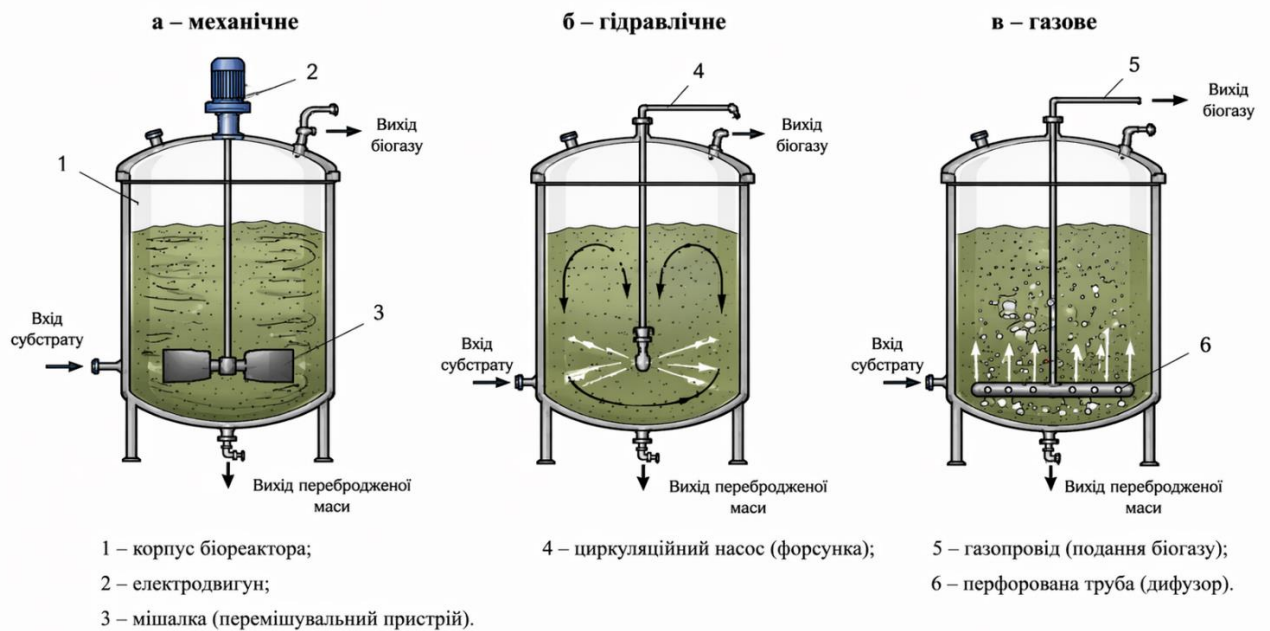


Рисунок 2.5 – Основні способи перемішування субстрату в біореакторі

Для установок малої та середньої продуктивності найбільш поширеним є механічне перемішування, оскільки воно дозволяє досить просто забезпечити однорідність субстрату в усьому об'ємі реактора. Разом із тим окреме використання нагрівального пристрою та мішалки ускладнює конструкцію, збільшує кількість вузлів і підвищує металоємність установки. Саме тому в сучасних конструктивних рішеннях перспективним вважається поєднання функцій нагрівання та перемішування в одному робочому вузлі. Такий підхід дозволяє не лише скоротити кількість елементів, а й підвищити інтенсивність теплопередачі безпосередньо в зоні перемішування маси.

Аналіз існуючих конструкцій показує, що для умов фермерського господарства недоцільно застосовувати надмірно складні багатокамерні

установки або системи з окремими розгалуженими контурами підігріву та циркуляції. Для даної дипломної роботи раціонально прийняти конструкцію вертикального циліндричного біореактора з теплоізованим корпусом, у якому функції перемішування та нагрівання поєднуються в одному вузлі. Таке рішення є компактним, зручним у монтажі, дозволяє ефективно підтримувати температурний режим і забезпечує достатню однорідність субстрату в процесі зброджування. Це вже не дослідна, а інженерно обґрунтована конструктивна схема, придатна для подальшого розрахунку та деталювання.

Таким чином, проведений аналіз показав, що основними напрямками вдосконалення біогазових установок є спрощення конструкції, підвищення ефективності теплообміну, забезпечення надійного перемішування субстрату та зменшення енерговитрат на підтримання технологічного режиму. З урахуванням цих вимог у подальшому доцільно зосередитися на обґрунтуванні параметрів вертикального біореактора з комбінованим вузлом теплообміну та перемішування, який найбільше відповідає умовам експлуатації у фермерському господарстві.

2.3 Обґрунтування вибору конструктивної схеми біореактора

Для подальшого проектування біогазової установки в дипломній роботі необхідно прийняти таку конструктивну схему біореактора, яка найбільше відповідає умовам фермерського господарства. При цьому основними вимогами до обраного варіанта є конструктивна простота, надійність роботи, зручність обслуговування, можливість підтримання необхідного температурного режиму та забезпечення достатньої однорідності субстрату в процесі зброджування.

З урахуванням проведеного аналізу для дипломного проекту приймається вертикальний циліндричний біореактор періодичної або напівбезперервної дії з теплоізованим корпусом, верхнім приводом мішалки, внутрішнім теплообмінним вузлом і нижнім патрубком для вивантаження перебродженої

маси. Така схема є найбільш доцільною для господарств невеликої потужності, оскільки поєднує компактність, відносну простоту виготовлення та можливість забезпечення стабільного технологічного режиму.

Вертикальне виконання біореактора дозволяє раціонально використовувати виробничу площу, що має важливе значення для фермерських господарств. У порівнянні з горизонтальними конструкціями такий реактор займає менше місця в плані, краще піддається зовнішній теплоізоляції та є більш зручним для розміщення приводу мішалки у верхній частині. Крім того, вертикальна схема спрощує організацію вивантаження перебродженої маси через нижню частину корпусу.

Корпус біореактора доцільно прийняти циліндричної форми з верхньою кришкою. Така форма є технологічно зручною у виготовленні, достатньо жорсткою і придатною для герметичної роботи. Наявність теплоізоляції на зовнішній поверхні корпусу дає можливість зменшити теплові втрати в навколишнє середовище, що особливо важливо під час роботи установки в холодний період року. Завдяки цьому зменшується потреба в додатковому підведенні теплоти і підвищується енергетична ефективність установки.

Однією з головних умов стабільного анаеробного зброджування є підтримання необхідної температури субстрату. Тому у прийнятій схемі передбачається внутрішній теплообмінний вузол, розташований безпосередньо в робочому об'ємі біореактора. Розміщення нагрівального елемента всередині реактора забезпечує безпосередню передачу теплоти до субстрату та зменшує втрати, пов'язані з проміжним транспортуванням теплоносія на значні відстані.

Разом із нагріванням важливе значення має перемішування субстрату. Без нього в реакторі можуть утворюватися шари з різною температурою та неоднаковою концентрацією твердої фази, що погіршує умови бродіння. З цієї причини у вибраній конструктивній схемі застосовується механічне перемішування за допомогою вертикального вала з робочими елементами,

розміщеними в нижній частині біореактора. Верхнє розташування приводу спрощує технічне обслуговування і підвищує надійність експлуатації.

З метою спрощення конструкції та підвищення інтенсивності теплопередачі в дипломному проєкті доцільно об'єднати функції нагрівання і перемішування в одному вузлі. У такому разі теплообмінний елемент працює не ізольовано, а в умовах постійного руху субстрату, що забезпечує кращий розподіл температури в усьому об'ємі. Прийняте рішення у вигляді комбінованого вузла “теплообмінник-мішалка” дозволяє зменшити кількість окремих елементів, скоротити металоємність конструкції та покращити умови роботи біореактора.

У верхній частині реактора передбачається газовідвідний патрубок, через який утворений біогаз спрямовується до системи накопичення або безпосереднього використання. Завантаження підготовленого субстрату доцільно здійснювати через окрему горловину або патрубок у верхній частині корпусу, а вивантаження перебродженої маси - через нижній випускний патрубок. Таке компонування є логічним з технологічної точки зору та забезпечує зручність експлуатації.

Прийнята конструктивна схема біореактора наведена на рис. 2.6.

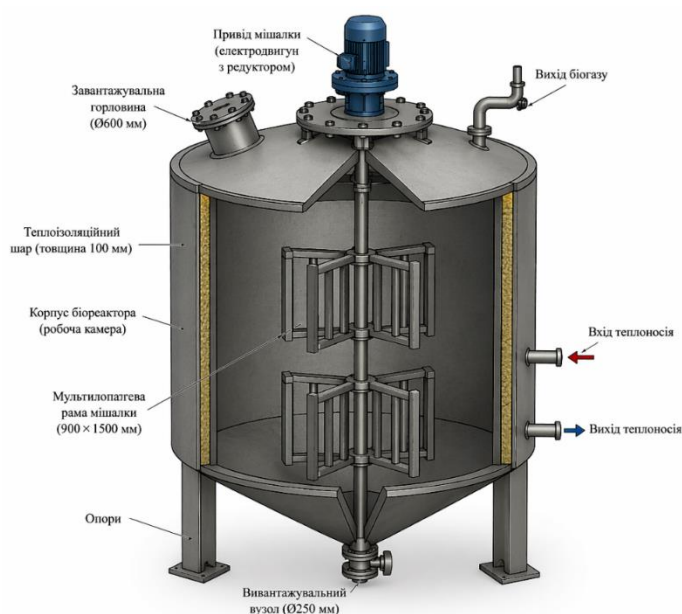


Рисунок 2.6 – Прийнята конструктивна схема біореактора біогазової установки

Висновки

Таким чином, для подальшого конструкторського розрахунку в дипломній роботі приймається вертикальний циліндричний біореактор з комбінованим теплообмінно-перемішувальним вузлом, який найбільш повно відповідає технологічним, конструктивним та експлуатаційним вимогам невеликого фермерського господарства.

3 КОНСТРУКТИВНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

3.1 Розрахунок конструктивних параметрів біореактора

Для виконання розрахунку біореактора біогазової установки приймаємо конструктивну схему вертикального реактора з теплоізованим корпусом, верхнім приводом мішалки та центрально розташованим валом з рамною багатолопатевою мішалкою.

Вихідні геометричні параметри біореактора приймаються такими: зовнішній діаметр корпусу:

$D_3 = 1700 \text{ мм} = 1,7 \text{ м}$; внутрішній діаметр робочої камери

$D_B = 1500 \text{ мм} = 1,5 \text{ м}$; товщина теплоізоляційного шару

$\delta = 100 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}$; діаметр завантажувальної горловини

$d_r = 600 \text{ мм} = 0,6 \text{ м}$; висота циліндричної частини

$h_{\text{ц}} = 1200 \text{ мм} = 1,2 \text{ м}$; висота нижньої конічної частини

$h_{\text{н}} = 500 \text{ мм} = 0,5 \text{ м}$; висота верхньої конічної частини

$h_{\text{в}} = 500 \text{ мм} = 0,5 \text{ м}$.

Для мішалки приймаємо:

тип мішалки - рамна багатолопатева;

висота робочої частини: $h_{\text{м}} = 900 \text{ мм} = 0,9 \text{ м}$;

ширина однієї секції: $b_{\text{с}} = 250 \text{ мм} = 0,25 \text{ м}$;

кількість секцій: $n = 5$;

розміщення - центральне, на вертикальному валу,

Проектний корисний об'єм реактора приймається: $V_{\text{к}} = 3,5, \text{ м}^3$,

На основі наведених вихідних даних виконується розрахунок геометричних параметрів робочої камери та перевірка її об'єму. Робоча камера біореактора складається з трьох основних частин: верхньої конічної частини; циліндричної частини; нижньої конічної частини. Тому загальний внутрішній об'єм реактора визначається як сума об'ємів цих частин:

$$V = V_{\text{в}} + V_{\text{ц}} + V_{\text{н}}$$

де

$V_{\text{в}}$ - об'єм верхньої частини реактора, м³;

$V_{\text{ц}}$ - об'єм циліндричної частини, м³;

$V_{\text{н}}$ - об'єм нижньої частини, м³.

Об'єм циліндричної частини визначається за формулою:

$$V_{\text{ц}} = \frac{\pi D_{\text{с}}^2}{4} \cdot h_{\text{ц}}$$

$$V_{\text{ц}} = \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} \cdot 1,2$$

$$V_{\text{ц}} = \frac{3,14 \cdot 2,25}{4} \cdot 1,2$$

$$V_{\text{ц}} = 1,766 \cdot 1,2 = 2,12 \text{ м}^3$$

Нижню частину приймаємо у вигляді конуса з основою, що дорівнює внутрішньому діаметру робочої камери:

$$V_{\text{н}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi D_{\text{с}}^2}{4} \cdot h_{\text{н}}$$

$$V_{\text{н}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} \cdot 0,5$$

$$V_{\text{н}} = \frac{1}{3} \cdot 1,766 \cdot 0,5$$

$$V_{\text{н}} = \frac{0,883}{3} = 0,294 \text{ м}^3$$

Верхню частину реактора приймаємо у вигляді зрізаного конуса, її об'єм визначається за формулою:

$$V_{\epsilon} = \frac{\pi h_{\epsilon}}{12} (D_{\epsilon}^2 + D_{\epsilon} d_{\epsilon} + d_{\epsilon}^2)$$

де

d_{Γ} - діаметр верхньої горловини, м.

$$V_{\epsilon} = \frac{3,14 \cdot 0,5}{12} (1,5^2 + 1,5 \cdot 0,6 + 0,6^2)$$

$$V_{\epsilon} = \frac{1,57}{12} (2,25 + 0,9 + 0,36)$$

$$V_{\epsilon} = 0,1308 \cdot 3,51$$

$$V_{\epsilon} = 0,459 \text{ м}^3$$

Загальний внутрішній об'єм реактора:

$$V = V_{\epsilon} + V_{\text{ц}} + V_{\text{н}}$$

$$V = 0,46 + 2,12 + 0,29$$

$$V = 2,87 \text{ м}^3$$

За результатами геометричного розрахунку встановлено, що при прийнятих конструктивних розмірах біореактора, а саме: внутрішньому діаметрі робочої камери 1500 мм, висоті циліндричної частини 1200 мм, висоті верхньої частини 500 мм і висоті нижньої конічної частини 500 мм, розрахунковий внутрішній об'єм реактора становить $V = 2,87 \text{ м}^3$. Площа внутрішньої поверхні біореактора необхідна для подальшого виконання теплотехнічних розрахунків, оскільки саме через ці поверхні відбувається теплообмін між субстратом, стінками корпусу та навколишнім середовищем.

Загальна внутрішня площа біореактора складається з площі: циліндричної частини; верхньої частини; нижньої конічної частини.

Отже,

$$S = S_{\text{ц}} + S_{\text{в}} + S_{\text{н}}$$

де

$S_{\text{ц}}$ - площа бічної поверхні циліндричної частини, м²;

$S_{\text{в}}$ - площа внутрішньої поверхні верхньої частини, м²;

$S_{\text{н}}$ - площа внутрішньої поверхні нижньої конічної частини, м².

Площа бічної поверхні циліндра визначається за формулою:

$$S_{\text{ц}} = \pi D_{\text{в}} h_{\text{ц}}$$

де

$D_{\text{в}} = 1,5$ м - внутрішній діаметр робочої камери;

$h_{\text{ц}} = 1,2$ м - висота циліндричної частини.

Підставляємо значення:

$$S_{\text{ц}} = 3,14 \cdot 1,5 \cdot 1,2$$

$$S_{\text{ц}} = 5,65 \text{ м}^2$$

Верхню частину приймаємо у вигляді зрізаного конуса, Площа його бічної поверхні визначається за формулою:

$$S_{\text{в}} = \pi(R+r)l$$

де

$$R = \frac{D_{\text{в}}}{2} = \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ м - радіус основи;}$$

$$r = \frac{d_z}{2} = \frac{0,6}{2} = 0,3 \text{ м - радіус верхньої горловини;}$$

l - твірна зрізаного конуса.

Твірна визначається за формулою:

$$\begin{aligned} l &= \sqrt{R - r^2 + h_g^2} \\ l &= \sqrt{0,75 - 0,3^2 + 0,5^2} \\ l &= \sqrt{0,45^2 + 0,5^2} \\ l &= \sqrt{0,2025 + 0,25} = \sqrt{0,4525} = 0,673 \text{ м} \end{aligned}$$

Тоді площа верхньої частини:

$$\begin{aligned} S_g &= 3,14 \cdot 0,75 + 0,3 \cdot 0,673 \\ S_g &= 3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,673 \\ S_g &= 2,22 \text{ м}^2 \end{aligned}$$

Нижню частину приймаємо у вигляді прямого конуса. Площа бічної поверхні конуса визначається за формулою:

$$S_n = \pi R l_n$$

де

$R = 0,75$ м - радіус основи конуса;

l_n - твірна нижнього конуса,

Твірна нижньої конічної частини:

$$\begin{aligned} l_n &= \sqrt{R^2 + h_n^2} \\ l_n &= \sqrt{0,75^2 + 0,5^2} \\ l_n &= \sqrt{0,5625 + 0,25} \end{aligned}$$

$$l_n = \sqrt{0,8125} = 0,901 \text{ м}$$

Тоді площа нижньої частини:

$$S_n = 3,14 \cdot 0,75 \cdot 0,901$$

$$S_n = 2,12 \text{ м}^2$$

Загальна внутрішня площа біореактора:

$$S = S_u + S_e + S_n$$

$$S = 5,65 + 2,22 + 2,12$$

$$S = 9,99 \text{ м}^2$$

Отже, загальна внутрішня площа поверхні біореактора становить

$$S = 10,0 \text{ м}^2$$

3.2 Визначення геометричних параметрів мішалки

У модернізованому біореакторі прийнято рамну багатолопатеву мішалку, встановлену по центру робочої камери на вертикальному валу.

Вихідні параметри мішалки:

висота робочої частини:

$$h_m = 900 \text{ мм} = 0,9 \text{ м}$$

ширина однієї секції:

$$b_c = 250 \text{ мм} = 0,25 \text{ м}$$

кількість секцій:

$$n = 5$$

Загальну ширину рамної мішалки визначаємо як суму ширин усіх секцій:

$$B_m = n \cdot b_c$$

$$B_m = 5 \cdot 0,25 = 1,25 \text{ м}$$

Для нормальної роботи мішалки необхідно забезпечити зазор між її крайніми елементами та внутрішньою поверхнею корпусу, Цей зазор визначаємо за формулою:

$$a = \frac{D_{\text{в}} - B_m}{2}$$

де

$D_{\text{в}} = 1,5 \text{ м}$ - внутрішній діаметр реактора;

$B_m = 1,25 \text{ м}$ - загальна ширина мішалки.

$$a = \frac{1,5 - 1,25}{2}$$

$$a = \frac{0,25}{2} = 0,125 \text{ м}$$

$$a = 125 \text{ мм}$$

Такий зазор є достатнім для вільного обертання мішалки та запобігає контакту робочих елементів зі стінкою корпусу.

Для оцінки ступеня охоплення поперечного перерізу реактора визначаємо відносну ширину мішалки:

$$\varphi = \frac{B_m}{D_{\text{в}}}$$

$$\varphi = \frac{1,25}{1,5} = 0,833$$

Отже, мішалка охоплює приблизно 83,3 % внутрішнього діаметра реактора, що свідчить про достатньо інтенсивний вплив на субстрат по всьому об'єму робочої камери.

Для забезпечення стабільної роботи біореактора необхідно визначити теплові втрати через огорожувальні поверхні корпусу. Цей розрахунок потрібний для подальшого визначення необхідної теплової потужності системи нагрівання субстрату.

3.3 Визначення теплових витрат біореактора

Теплові втрати біореактора визначаються через циліндричну частину корпусу, верхню частину та нижню конічну частину. Загальна теплова втрата визначається як сума втрат через усі поверхні:

$$Q = Q_{ц} + Q_{в} + Q_{н}$$

де

$Q_{ц}$ - теплова втрата через циліндричну частину, Вт;

$Q_{в}$ - теплова втрата через верхню частину, Вт;

$Q_{н}$ - теплова втрата через нижню частину, Вт.

Коефіцієнт теплопередачі через теплоізовльовану стінку визначається за формулою:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{із}}{\lambda_{із}} + \frac{1}{\alpha_{зовн}}}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,004}{45} + \frac{0,10}{0,045} + \frac{1}{12}}$$

$$k = \frac{1}{0,125 + 0,000089 + 2,222 + 0,0833}$$

$$k = \frac{1}{2,4304}$$

$$k = 0,41 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Теплова втрата через циліндричну частину корпусу визначається за формулою:

$$Q_{\text{ц}} = k \cdot S_{\text{ц}} \cdot \Delta t$$

Підставляємо значення:

$$Q_{\text{ц}} = 0,41 \cdot 5,65 \cdot 30$$

$$Q_{\text{ц}} = 69,5 \text{ Вт}$$

Теплова втрата через верхню частину:

$$Q_{\text{г}} = k \cdot S_{\text{г}} \cdot \Delta t$$

$$Q_{\text{г}} = 0,41 \cdot 2,22 \cdot 30$$

$$Q_{\text{г}} = 27,3 \text{ Вт}$$

Теплова втрата через нижню частину:

$$Q_{\text{н}} = k \cdot S_{\text{н}} \cdot \Delta t$$

$$Q_{\text{н}} = 0,41 \cdot 2,12 \cdot 30$$

$$Q_{\text{н}} = 26,1 \text{ Вт}$$

Загальні теплові втрати біореактора:

$$Q = Q_{\text{ц}} + Q_{\text{г}} + Q_{\text{н}}$$

$$Q = 69,5 + 27,3 + 26,1$$

$$Q = 122,9 \text{ Вт}$$

Отже, загальні теплові втрати біореактора через огорожувальні поверхні становлять $Q = 123 \text{ Вт}$.

Добову кількість теплоти, яка втрачається через корпус біореактора, визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{доб}} = \frac{Q \cdot 24}{1000}$$

$$Q_{\text{доб}} = \frac{123 \cdot 24}{1000}$$

$$Q_{\text{доб}} = 2,95 \text{ кВт/год}$$

$$Q_{\text{доб}} = 2,95 \cdot 3,6 = 10,62 \text{ МДж}$$

Сумарна кількість теплоти, яка повинна бути підведена до біореактора під час нагрівання субстрату з урахуванням теплових втрат, становить:

$$Q_{\Sigma} = Q_n + Q_{\text{доб}}$$

$$Q_{\Sigma} = 241,08 + 10,62$$

$$Q_{\Sigma} = 251,70 \text{ МДж}$$

Отже, сумарна теплота, необхідна для нагрівання субстрату і компенсації теплових втрат, дорівнює:

$$Q_{\Sigma} = 251,70 \text{ МДж}$$

або

$$Q_{\Sigma} = \frac{251,70}{3,6} = 69,92 \text{ кВт/год}$$

Питому витрату теплоти на нагрівання 1 м³ субстрату визначаємо за формулою:

$$q = \frac{Q_n}{V_p}$$
$$q = \frac{241,08}{2,87} = 84 \text{ м}^3 / \text{МДж}$$

Для забезпечення надійної роботи системи нагрівання доцільно передбачити запас потужності на рівні 15 %. Це дає змогу компенсувати можливі додаткові теплові втрати, нерівномірність режиму роботи, похибки розрахунку та сезонні коливання температури.

Тоді встановлена потужність нагрівального пристрою визначається за формулою:

$$P_{вст} = P_{\Sigma} \cdot 1,15$$
$$P_{вст} = 8,49 \cdot 1,15 = 9,76 \text{ кВт}$$

Для подальшого проєктування приймаємо:

$$P_{вст} \approx 10 \text{ кВт}$$

Після визначення необхідної площі теплообмінної поверхні вузла «теплообмінник-мішалка» потрібно встановити його основні конструктивні параметри: діаметр теплообмінної труби, її загальну довжину, кількість секцій, габаритні розміри робочої частини та параметри руху теплоносія. Прийнятий вузол повинен одночасно забезпечувати передавання потрібної кількості теплоти до субстрату та виконувати функцію його перемішування в робочому об'ємі біореактора.

Для подальшого розрахунку приймаємо:

теплова потужність системи нагрівання: $Q = 10000 \text{ Вт}$

розрахункова площа теплообмінної поверхні: $F_{np} = 4,0 \text{ м}^2$

зовнішній діаметр теплообмінної труби: $d_3 = 0,042$ м

товщина стінки труби: $s = 0,003$ м

висота робочої частини мішалки: $h_m = 0,9$ м

ширина однієї секції: $b_c = 0,25$ м

кількість секцій: $n = 5$

Внутрішній діаметр труби:

$$d_6 = d_3 - 2s$$

$$d_6 = 0,042 - 2 \cdot 0,003 = 0,036 \text{ м}$$

Раніше було встановлено, що загальна ширина мішалки становить: $B_m = 1,25$

Перепад температур теплоносія у вузлі нагрівання:

$$t_1 - t_2 = 55 - 45 = 10^\circ \text{C}$$

Масову витрату води, яка повинна проходити через вузол «теплообмінник-мішалка», визначаємо за формулою:

$$G_m = \frac{Q}{c_6(t_1 - t_2)}$$

де

G_m - масова витрата теплоносія, кг/с;

Q - теплова потужність, Вт;

c_6 - питома теплоємність води, Дж/кг·°C;

$t_1 - t_2$ - перепад температур теплоносія, °C.

Для води приймаємо:

$$c_6 = 4200 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ \text{C}$$

Тоді:

$$G_m = \frac{10000}{4200 \cdot 10} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$G_m = \frac{10000}{42000}$$

$$G_m = 0,238 \text{ кг/с}$$

Об'ємна витрата теплоносія:

$$V_m = \frac{G_m}{\rho_\epsilon}$$

де $\rho_\epsilon = 1000 \text{ кг/м}^3$ - густина води.

$$V_m = \frac{0,238}{1000} = 0,000238 \text{ м}^3/\text{с}$$

або

$$V_m = 0,000238 \cdot 3600 = 0,857 \text{ м}^3/\text{год}$$

Площа живого перерізу теплообмінної труби визначається за формулою:

$$f = \frac{\pi d_\epsilon^2}{4}$$

$$f = \frac{3,14 \cdot 0,036^2}{4}$$

$$f = \frac{3,14 \cdot 0,001296}{4} = 0,00102 \text{ м}^2$$

Швидкість руху теплоносія всередині труби:

$$w = \frac{V_m}{f}$$

$$w = \frac{0,000238}{0,00102} = 0,233 \text{ м / с}$$

Отримане значення є допустимим для циркуляційного контуру водяного нагрівання. Це підтверджує, що прийнята труба діаметром 42 * 3 мм може бути використана як теплообмінний елемент вузла «теплообмінник-мішалка».

Загальна ширина мішалки визначається за формулою:

$$B_m = n \cdot b_c$$

$$B_m = 5 \cdot 0,25 = 1,25 \text{ м}$$

Висота робочої частини: $H_m = h_m = 0,9 \text{ м}$

Радіальний зазор між мішалкою та стінкою біореактора:

$$a = \frac{D_{\text{вн}} - B_m}{2}$$

де

$D_{\text{вн}} = 1,5 \text{ м}$ - внутрішній діаметр робочої камери реактора.

$$a = \frac{1,5 - 1,25}{2}$$

$$a = \frac{0,25}{2} = 0,125 \text{ м}$$

Цього зазору достатньо для вільного обертання вузла та переміщення субстрату вздовж стінок робочої камери.

Для забезпечення необхідної теплообмінної поверхні приймаємо, що кожна з п'яти секцій виконується у вигляді трубчастого елемента з п'ятьма вертикальними проходами. Тоді довжина труби в одній секції визначається за формулою:

$$L_c = z \cdot h_m + (z - 1) \cdot b_c$$

де

L_c - довжина трубчастого елемента однієї секції, м;

z - кількість вертикальних проходів у секції,

Приймаємо $z = 5$

Тоді:

$$L_c = 5 \cdot 0,9 + 5 - 1 \cdot 0,25 = 5,5 \text{ м}$$

Загальна довжина труби в п'яти секціях:

$$L_{сек} = n \cdot L_c$$

$$L_{сек} = 5 \cdot 5,5 = 27,5 \text{ м}$$

Раніше було встановлено, що для забезпечення площі теплообмінної поверхні $4,0 \text{ м}^2$ загальна довжина труби повинна становити $L = 30,3 \text{ м}$

Тоді довжина колекторів і приєднувальних ділянок визначається за формулою:

$$L_{кол} = L - L_{сек}$$

$$L_{кол} = 30,3 - 27,5 = 2,8 \text{ м}$$

Отже, на верхній і нижній колектори, а також вхідний і вихідний патрубки припадає $L_{кол} = 2,8 \text{ м}$

Конструктивно це може бути реалізовано так:

верхній колектор $L_{к1} = 1,25 \text{ м}$

нижній колектор $L_{к2} = 1,25 \text{ м}$

два приєднувальні патрубки:

$$L_n = 0,15 + 0,15 = 0,30 \text{ м}$$

$$L_{к1} + L_{к2} + L_n = 1,25 + 1,25 + 0,30 = 2,80 \text{ м}$$

Отже, сумарна довжина колекторів і патрубків відповідає розрахунковому значенню.

Фактична площа теплообмінної поверхні вузла визначається за формулою:

$$F_{\phi} = \pi d_3 L$$
$$F_{\phi} = 3,14 \cdot 0,042 \cdot 30,3$$
$$F_{\phi} = 3,99 \text{ м}^2$$

Отримане значення практично збігається з прийнятим розрахунковим значенням $F_{np} = 4,0 \text{ м}^2$

Внутрішній об'єм труби визначаємо за формулою:

$$V_{mp} = \frac{\pi d_6^2}{4} \cdot L$$
$$V_{mp} = \frac{3,14 \cdot 0,036^2}{4} \cdot 30,3 = 0,039 \text{ м}^3$$

Отже, внутрішній об'єм теплообмінного вузла становить $V_{mp} = 30,9 \text{ л}$

Висновки

За результатами виконаного розрахунку приймаємо такі конструктивні параметри вузла «теплообмінник-мішалка» зовнішній діаметр теплообмінної труби $d_3 = 42 \text{ мм}$, товщина стінки труби $s = 3 \text{ мм}$, внутрішній діаметр труби $d_6 = 36 \text{ мм}$, кількість робочих секцій $n = 5$, ширина однієї секції $b_c = 250 \text{ мм}$, висота робочої частини $H_m = 900 \text{ мм}$, кількість вертикальних проходів у кожній секції $z = 5$, загальна ширина вузла $B_m = 1250 \text{ мм}$, загальна довжина теплообмінної труби $L = 30,3 \text{ м}$, фактична площа теплообміну $F_{\phi} = 3,99 \text{ м}^2$, зазор між вузлом та стінкою реактора $a = 125 \text{ мм}$.
Отже, прийнята конструкція вузла забезпечує необхідну теплообмінну поверхню, відповідає габаритам біореактора та може бути використана в подальшому при розробленні складального креслення модернізованого біореактора.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Загальна характеристика умов праці

Експлуатація біогазової установки у фермерському господарстві пов'язана з виконанням робіт, під час яких на працівників можуть впливати механічні, теплові, електричні, санітарно-біологічні та пожежонебезпечні чинники. На відміну від звичайного допоміжного обладнання, біогазова установка працює одночасно з органічною сировиною, теплоносієм, газовою сумішшю та електроприводом, тому безпечність її обслуговування повинна забезпечуватися ще на стадії конструктивного опрацювання.

Особливістю проектного об'єкта є використання модернізованого біореактора з вузлом «теплообмінник-мішалка». Таке рішення покращує технологічний процес, але водночас вимагає підвищеної уваги до захисту працівників від контакту з рухомими частинами приводу, нагрітими поверхнями, елементами системи подачі теплоносія та можливими витоками біогазу.

Під час експлуатації установки основним завданням охорони праці є створення таких умов, за яких працівник може безпечно виконувати пуск, контроль роботи, технічне обслуговування, зупинку та очищення обладнання. Для цього необхідно передбачити технічні засоби захисту, чіткий порядок виконання робіт, застосування засобів індивідуального захисту та належну підготовку обслуговуючого персоналу.

Під час роботи біогазової установки найбільш небезпечним чинником є наявність біогазу. У разі порушення герметичності газовідвідної системи можливе його накопичення в зоні обладнання, що за наявності джерела займання може призвести до загоряння або вибуху. Саме тому газова частина установки повинна бути максимально герметичною, а всі з'єднання мають регулярно перевірятися під час технічних оглядів.

Іншою небезпекою є робота рухомих деталей. Привід мішалки, вал, з'єднувальні елементи та частини опорного вузла під час обертання можуть створювати ризик травмування при випадковому контакті. Особливо це стосується обслуговування обладнання без зупинки або при недостатньому захисті приводу. Для запобігання травмуванню всі небезпечні зони повинні бути закриті кожухами або огороженнями.

Окрему групу ризиків утворює теплова система. У вузлі «теплообмінник-мішалка» циркулює теплоносієм підвищеної температури, тому в разі розгерметизації трубопроводів або з'єднань можуть виникати опіки, перегрів окремих елементів і порушення нормального режиму роботи установки. Крім цього, за недостатньої теплоізоляції нагріті поверхні можуть бути джерелом додаткової небезпеки для персоналу.

Не можна ігнорувати й електричні фактори. Електродвигун приводу мішалки, апаратура пуску та кабельні лінії працюють в умовах виробничого середовища, де можливі підвищена вологість, забруднення та механічні впливи. За пошкодження ізоляції або відсутності належного заземлення виникає небезпека ураження електричним струмом.

Крім технічних чинників, працівник контактує з органічною сировиною, яка може містити мікроорганізми, продукти бродіння та домішки, що погіршують санітарний стан робочої зони. Під час завантаження сировини, очищення обладнання та видалення перебродженої маси можливе забруднення шкіри, одягу та інструменту, тому для таких операцій необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту і дотримуватися правил виробничої гігієни.

4.2 Вимоги безпеки до розміщення установки

Біогазову установку доцільно розміщувати на спеціально підготовленому майданчику з твердим покриттям. Поверхня майданчика повинна бути рівною, міцною, стійкою до вологи та зручною для пересування персоналу і під'їзду техніки. Не допускається встановлення обладнання в місцях, де можливе підтоплення, накопичення бруду або застій стічних вод.

Розміщення біореактора, трубопроводів, запірної арматури та допоміжного обладнання має забезпечувати вільний доступ до всіх вузлів, які потребують огляду й технічного обслуговування. У зоні установки повинно бути достатньо місця для безпечного пересування працівника, а проходи не можна захищувати тарою, інструментом, сировиною чи сторонніми предметами.

Важливо, щоб місце встановлення біогазової установки було добре провітрюваним. Якщо установка працює в закритому або частково закритому приміщенні, необхідно передбачити природну або примусову вентиляцію. Це потрібно для недопущення накопичення газів, зменшення запахів і створення безпечного мікроклімату для обслуговчого персоналу.

4.3 Безпека під час експлуатації біореактора

Перед пуском установки працівник повинен оглянути стан біореактора, перевірити справність запірної арматури, цілісність трубопроводів, відсутність витоків теплоносія та переконатися, що привід мішалки перебуває в робочому стані. Також слід перевірити, чи немає сторонніх предметів у зоні рухомих деталей і чи встановлені на місце всі захисні кожухи.

Пуск приводу мішалки дозволяється лише після того, як працівник переконається у відсутності людей поблизу небезпечних зон. Під час роботи установки забороняється виконувати будь-які регулювання, очищення або розбирання вузлів, пов'язаних з обертовими частинами. Ремонт і технічне обслуговування допускаються тільки після повної зупинки обладнання, його відключення від електромережі та перекриття подачі теплоносія.

Під час роботи біореактора необхідно постійно контролювати температуру субстрату, стан системи нагрівання та герметичність з'єднань. Якщо з'являються ознаки ненормальної роботи, зокрема підвищений шум, вібрація, витік рідини, різкий запах газу або перегрів зовнішніх поверхонь, установку потрібно негайно зупинити й виявити причину несправності.

Особливу увагу слід приділяти люкам, горловинам і патрубкам. Відкривати їх під час нормальної роботи установки не допускається. Усі

операції, пов'язані з відкриванням корпусу, необхідно виконувати тільки після зниження тиску, зупинки приводу та впевненості в безпечному стані обладнання.

Електрообладнання біогазової установки повинно відповідати умовам експлуатації у фермерському господарстві. Електродвигун, шафа керування, кабельні лінії та комутаційні пристрої мають бути захищені від вологи, механічних пошкоджень і забруднення.

Корпуси електродвигунів, металеві конструкції та інші елементи, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, повинні бути заземлені. Пускова апаратура має бути справною, а кнопки пуску й аварійної зупинки - доступними для працівника. Забороняється експлуатація установки при пошкодженій ізоляції кабелів, відсутності захисного заземлення або несправності апаратури керування.

Усі ремонтні роботи, пов'язані з електрообладнанням, виконуються лише після зняття напруги. Перед початком таких робіт необхідно вивісити попереджувальні таблички, а пуск установки сторонніми особами має бути виключений.

Біогаз є горючою газовою сумішшю, тому пожежна безпека на установці має розглядатися як одна з головних складових безпечної експлуатації. На території біогазової установки забороняється користування відкритим вогнем, куріння, проведення зварювальних та інших вогневих робіт без спеціальних заходів безпеки.

У зоні установки повинні бути вогнегасники, ящик із піском, лопата та інші первинні засоби пожежогасіння. Працівник повинен знати місце їх розташування та порядок використання. На видимому місці необхідно розмістити попереджувальні знаки щодо заборони відкритого вогню та позначити пожежонебезпечну зону.

Для запобігання пожежі особливе значення має герметичність газової системи. Необхідно регулярно перевіряти стан патрубків, швів, з'єднань, кранів та інших елементів газового контуру. У разі виявлення витoku газу

роботу установки негайно припиняють, перекривають подачу газу та організовують провітрювання робочої зони.

Оскільки в установці використовується органічна сировина, до робочої зони висуваються підвищені санітарні вимоги. Працівники, які виконують завантаження сировини, очищення обладнання або видалення перебродженої маси, повинні працювати у спецодязі, рукавицях і захисному взутті. За необхідності застосовують захисні окуляри та респіратор.

Після завершення роботи працівник повинен вимити руки, очистити інструмент і привести в порядок робоче місце. Забороняється зберігати харчові продукти, воду для пиття та особисті речі безпосередньо в зоні біореактора або на майданчику, де проводяться роботи з органічною масою.

4.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У разі виникнення аварійної ситуації працівник повинен діяти швидко, але без паніки. Найбільш імовірними аварійними ситуаціями є витік біогазу, розгерметизація системи теплоносія, відмова приводу мішалки, коротке замикання електрообладнання або займання в зоні установки.

При появі запаху газу необхідно: негайно зупинити установку; перекрити подачу газу; відключити електроживлення; не користуватися відкритим вогнем; забезпечити провітрювання; повідомити відповідальну особу.

У разі витіку теплоносія слід зупинити його подачу, перекрити відповідні вентилі та не допускати персонал до місця витіку до повного охолодження небезпечної ділянки.

У разі пожежі необхідно негайно повідомити про небезпеку, викликати пожежну службу, знеструмити обладнання, перекрити газ і приступити до гасіння лише за умови, що це не загрожує життю працівника.

4.5 Заходи щодо захисту довкілля

Охорона праці на біогазовій установці тісно пов'язана із захистом навколишнього середовища. Неправильна експлуатація обладнання може призвести до витіку органічної маси, забруднення ґрунту, поширення неприємних запахів та втрати цінної сировини.

Для запобігання цьому необхідно забезпечити: герметичність корпусу біореактора; герметичність газових і рідинних комунікацій; організований збір і використання перебродженої маси; виключення потрапляння стоків за межі виробничого майданчика; раціональне використання дигестату як органічного добрива.

Упровадження біогазової установки в господарстві дозволяє не лише покращити умови поводження з органічними відходами, а й зменшити негативний вплив птахівництва на довкілля. Саме тому природоохоронний аспект у цьому випадку є складовою загальної безпеки виробництва.

Висновки

Безпечна робота установки забезпечується правильним розміщенням обладнання, герметичністю газової та теплової систем, використанням захисних кожухів, справним електрообладнанням, дотриманням правил пожежної безпеки, застосуванням засобів індивідуального захисту та належною підготовкою персоналу.

Запропонований комплекс заходів з охорони праці дає змогу забезпечити безпечне обслуговування біогазової установки в умовах фермерського господарства, знизити ймовірність аварійних ситуацій та створити належні умови для стабільної і надійної роботи модернізованого біореактора.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЄКТУ

У попередніх розділах було встановлено, що для роботи модернізованого біореактора: добові теплові втрати становлять 2,95 кВт·год/добу; теплота на підігрів щоденної порції субстрату становить 2,27 кВт·год/добу.

Ці значення використовуються при визначенні власних енергетичних потреб установки.

За існуючого способу поводження з відходами птахівництва пташиний послід накопичується на території господарства та вивозиться без попередньої переробки. Така схема є технологічно простою, однак має низку суттєвих недоліків. По-перше, господарство не отримує жодного енергетичного результату від органічних відходів. По-друге, потрібні постійні витрати на очищення майданчика, навантаження, транспортування та розміщення посліду. По-третє, при зберіганні сирової органічної маси погіршується санітарний стан території та втрачається частина поживних речовин.

Після впровадження біогазової установки характер використання органічних відходів змінюється. Пташиний послід уже не розглядається як побічний продукт, який потребує лише видалення, а виступає як енергетична і технологічна сировина. У результаті роботи біореактора утворюються два корисні продукти: біогаз і переброджена маса. Біогаз може бути використаний для покриття власних теплових потреб установки та частково для інших господарських потреб, а переброджений залишок – як органічне добриво для внесення на поля господарства.

Таким чином, проектний варіант забезпечує не лише екологічно доцільну переробку органічної маси, а й формує прямий господарський ефект.

Річний вихід біогазу визначаємо за формулою:

$$B_p = Q_{річ} \cdot b$$

де

B_p – річний вихід біогазу, м³/рік;

$Q_{\text{річ}}$ – річна кількість органічної сировини, т/рік;

b – вихід біогазу з 1 т сировини, м³/т.

$$B_p = 37,23 \cdot 76 = 2829,48 \text{ м}^3/\text{рік}$$

Для економічної оцінки важливо визначити не лише об'єм біогазу, а й кількість корисної теплової енергії, яку реально можна отримати від його споживання.

Річний енергетичний потенціал біогазу визначається за формулою:

$$E_{\text{заг}} = \frac{B_p \cdot q \cdot \eta}{3,6}$$

де

$E_{\text{заг}}$ – річна кількість корисної теплової енергії, кВт·год/рік;

B_p – річний вихід біогазу, м³/рік;

q – нижча теплота згоряння біогазу, МДж/м³;

η – коефіцієнт корисного використання біогазу;

3,6 – коефіцієнт переведення МДж у кВт·год.

$$E_{\text{заг}} = \frac{2829,48 \cdot 21 \cdot 0,80}{3,6} = 13204,24 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Частина одержаної енергії повинна бути використана для забезпечення роботи самої установки, насамперед для підтримання температурного режиму біореактора.

Річні витрати теплоти на підігрів щоденної порції субстрату становлять:

$$E_{n\dot{o}} = 2,27 \cdot 365 = 828,55 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Річні теплові втрати через огорожувальні поверхні біореактора становлять:

$$E_{вт} = 2,95 \cdot 365 = 1076,75 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Тоді загальна власна потреба установки в тепловій енергії дорівнює:

$$E_{власн} = E_{n\dot{o}} + E_{вт}$$

$$E_{власн} = 828,55 + 1076,75 = 1905,30 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Після покриття власних потреб установки залишок теплової енергії може бути використаний для інших господарських потреб.

Корисний надлишок енергії визначаємо як:

$$E_{кор} = E_{заг} - E_{власн}$$

$$E_{кор} = 13204,24 - 1905,30 = 11298,94 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Грошову оцінку заміщеної теплової енергії визначаємо за формулою:

$$S_{ен} = E_{кор} \cdot C_t$$

де

$S_{ен}$ – річна економія на енергоносіях, грн/рік;

C_t – умовна вартість 1 кВт·год теплової енергії, грн/кВт·год.

$$S_{ен} = 11298,94 \cdot 5,0 = 56494,70 \text{ грн} / \text{рік}$$

За традиційної технології господарство несе витрати на навантаження, перевезення та розміщення органічних відходів. Після впровадження біогазової установки ці витрати зменшуються, оскільки відходи використовуються як сировина, а обсяг сировини, що потребує видалення, фактично зникає.

Річні витрати на поводження з послідом за існуючою схемою:

$$C_{\partial o} = Q_{p\acute{u}c} \cdot c_1$$

де

c_1 – вартість поводження з 1 т посліду до впровадження установки, грн/т.

$$C_{\partial o} = 37,23 \cdot 420 = 15636,60 \text{ грн/рік}$$

Річні витрати після впровадження біогазової установки:

$$C_{n\acute{u}c} = Q_{p\acute{u}c} \cdot c_2$$

де

c_2 – вартість поводження з 1 т перебродженої маси після впровадження установки, грн/т.

$$C_{n\acute{u}c} = 37,23 \cdot 180 = 6701,40 \text{ грн/рік}$$

Тоді річна економія на поводженні з відходами становить:

$$S_{\text{в\acute{u}д\text{х}}} = C_{\partial o} - C_{n\acute{u}c}$$

$$S_{\text{відх}} = 15636,60 - 6701,40 = 8935,20 \text{ грн/рік}$$

Після анаеробної переробки утворюється стабілізований органічний залишок – дигестат, який може використовуватися як добриво. Для проектного розрахунку приймаємо, що річний вихід придатної до використання перебродженої маси становить 34,0 т/рік.

Грошова оцінка цього продукту визначається за формулою:

$$S_{\text{доб}} = Q_{\text{д}} \cdot c_{\text{д}}$$

де

$Q_{\text{д}}$ – річний вихід дигестату, т/рік;

$c_{\text{д}}$ – умовна вартість 1 т органічного добрива, грн/т.

$$S_{\text{доб}} = 34,0 \cdot 300 = 10200,00 \text{ грн/рік}$$

Упровадження біогазової установки потребує певних експлуатаційних витрат. До них належать витрати на електроенергію для роботи приводу та допоміжного обладнання, технічне обслуговування, поточний ремонт і господарське забезпечення.

Річні витрати на роботу приводу мішалки:

$$C_{\text{м}} = P_{\text{м}} \cdot \tau_{\text{м}} \cdot 365 \cdot c_{\text{е}}$$

де

$P_{\text{м}} = 0,75 \text{ кВт}$ – потужність приводу мішалки;

$\tau_{\text{м}} = 2 \text{ год/добу}$ – тривалість роботи;

$c_{\text{е}} = 5,0 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$ – умовна вартість електроенергії.

$$C_m = 0,75 \cdot 2 \cdot 365 \cdot 5,0 = 2737,50 \text{ грн/рік}$$

Річні витрати на роботу циркуляційного насоса:

$$C_m = 0,25 \cdot 1,5 \cdot 365 \cdot 5,0 = 684,38 \text{ грн/рік}$$

Річні витрати на автоматику та допоміжне освітлення:

$$C_a = 0,10 \cdot 4 \cdot 365 \cdot 5,0 = 730,00 \text{ грн/рік}$$

Сумарні витрати на електроенергію:

$$C_{el} = C_m + C_n + C_a$$

$$C_{el} = 2737,50 + 684,38 + 730,00 = 4151,88 \text{ грн/рік}$$

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт приймаємо на рівні 5 % від вартості обладнання:

$$C_{rem} = 0,05 \cdot K$$

де

$K = 165000$ грн – капітальні вкладення.

$$C_{rem} = 0,05 \cdot 165000 = 8250,00 \text{ грн/рік}$$

До інших витрат відносимо дрібні господарські витрати, санітарне обслуговування, витратні матеріали:

$$C_{in} = 1500,00 \text{ грн/рік}$$

Загальні експлуатаційні витрати:

$$C_{експ} = C_{ел} + C_{рем} + C_{in}$$

$$C_{експ} = 4151,88 + 8250,00 + 1500,00 = 13901,88 \text{ грн/рік}$$

Валовий річний ефект визначаємо як суму трьох основних складових: економії на енергоресурсах; економії на поводженні з відходами; ефекту від використання дигестату.

$$E_{вал} = S_{ен} + S_{відх} + S_{доб}$$

$$E_{вал} = 56494,70 + 8935,20 + 10200,00 = 75629,90 \text{ грн/рік}$$

Чистий річний економічний ефект визначаємо з урахуванням експлуатаційних витрат:

$$E_q = E_{вал} - C_{експ}$$

$$E_q = 75629,90 - 13901,88 = 61728,02 \text{ грн/рік}$$

Строк окупності визначається як відношення капітальних вкладень до чистого річного економічного ефекту:

$$T = \frac{K}{E_q}$$

$$T = \frac{165000}{61728,02} = 2,67 \text{ роки}$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = \frac{E_q}{K}$$

$$E = \frac{61728,02}{165000} = 0,374 \text{ рік}^{-1}$$

Показник	До впровадження	Після впровадження
Річний обсяг органічних відходів, т/рік	37,23	37,23
Витрати на збирання, зберігання і вивезення відходів, грн/рік	15636,60	6701,40
Потреба в тепловій енергії для технологічних і господарських потреб, кВт·год/рік	13204,24	1905,30
Витрати на теплову енергію з традиційних джерел, грн/рік	66021,20	9526,50
Витрати на придбання добрив, грн/рік	18000,00	7800,00
Експлуатаційні витрати на роботу біогазової установки, грн/рік	0	13901,88
Сумарні річні виробничі витрати за розглянутими статтями, грн/рік	99657,80	37929,78
Річна економія коштів, грн/рік	—	61728,02

Капітальні вкладення, грн	—	165000,00
Строк окупності, років	—	2,67

Висновки

Установлено, що використання біогазу дозволяє значно скоротити потребу господарства у тепловій енергії з традиційних джерел. Витрати на теплопостачання зменшуються з 66021,20 грн/рік до 9526,50 грн/рік, що забезпечує найбільшу частку загального економічного ефекту. Додатковий позитивний результат отримується за рахунок використання перебродженої маси як органічного добрива, що дає змогу знизити витрати на їх придбання з 18000,00 грн/рік до 7800,00 грн/рік.

Розрахунок також показав, що за прийнятих капітальних вкладень у розмірі 165000,00 грн строк окупності модернізованого біореактора біогазової установки становить 2,67 роки, а коефіцієнт економічної ефективності дорівнює 0,374. Це свідчить про достатньо високий рівень господарської доцільності запропонованого технічного рішення для умов малого фермерського господарства.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що наявність птахівничої галузі забезпечує стабільне утворення органічної сировини, придатної для анаеробної переробки. Це створює реальні передумови для впровадження біогазової установки без зміни основної виробничої спеціалізації господарства.
2. На основі аналізу існуючих конструкцій біогазових установок, способів нагрівання та перемішування субстрату обґрунтовано вибір вертикального циліндричного біореактора з комбінованим вузлом «теплообмінник-мішалка». Таке рішення забезпечує конструктивну простоту, компактність, зручність обслуговування та можливість підтримання стабільного технологічного режиму.
3. У розрахунковому розділі визначено основні геометричні параметри біореактора. Встановлено, що при прийнятих розмірах робочий об'єм реактора становить $2,87 \text{ м}^3$, і саме це значення прийнято для подальших теплотехнічних та конструктивних розрахунків.
4. Розрахунок теплового режиму показав, що при робочій температурі субстрату 35°C і теплоізоляції корпусу 100 мм загальні теплові втрати біореактора є допустимими, що підтверджує ефективність прийнятого конструктивного рішення та можливість стабільної роботи установки в умовах фермерського господарства.
5. Визначено, що для нагрівання субстрату та компенсації теплових втрат необхідно забезпечити встановлену потужність системи нагрівання на рівні 10 кВт . Це дало можливість виконати подальший розрахунок теплообмінної поверхні та конструктивних параметрів вузла «теплообмінник-мішалка».
6. Установлено, що необхідна площа теплообмінної поверхні вузла «теплообмінник-мішалка» становить близько $4,0 \text{ м}^2$, а її конструктивна реалізація можлива за рахунок використання трубчастого елемента із труби $42 \times 3 \text{ мм}$ загальною довжиною $30,3 \text{ м}$. Отримані параметри

підтвердили працездатність і технічну доцільність прийнятої конструкції.

7. Для вузла «теплообмінник-мішалка» обґрунтовано основні деталі, придатні для складального креслення і деталювання, а саме: вал мішалки, секцію рамної мішалки, колектор теплоносія та трубчастий теплообмінний елемент. Це дозволяє використовувати результати дипломного проєкту як основу для подальшого конструкторського опрацювання.
8. У розділі з охорони праці визначено, що безпечна експлуатація біогазової установки повинна забезпечуватись комплексом заходів, які охоплюють пожежну безпеку, електробезпеку, захист від дії рухомих частин, санітарно-гігієнічні вимоги та запобігання аварійним ситуаціям. Запропоновані заходи відповідають умовам експлуатації установки у фермерському господарстві.
9. Техніко-економічна оцінка показала, що впровадження біогазової установки з модернізованим біореактором є економічно виправданим. У результаті реалізації проєктного рішення сумарні річні витрати господарства зменшуються з 99657,80 грн до 37929,78 грн, а чистий річний економічний ефект становить 61728,02 грн.
10. Розрахований строк окупності капітальних вкладень становить 2,67 роки, що підтверджує доцільність упровадження запропонованого технічного рішення у виробничих умовах малого фермерського господарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ткаченко С. Й., Власенко О. В. Біогазові технології. Регулярний тепловий режим : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2023. 132 с. ISBN 978-966-641-943-2.
2. Голуб Г. А., Кухарець С. М., Марус О. А., Павленко М. Ю., Сера К. М., Чуба В. В.; за ред. Г. А. Голуба. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві : навчальний посібник. Київ : НУБіП України, 2017. 229 с.
3. Голуб Г. А., Цивенкова Н. М., Марус О. А., Павленко М. Ю., Яременко О. А.; за ред. Г. А. Голуба. Машини та обладнання для біоенергетики : навчальний посібник. Київ : НУБіП України, 2022. 203 с.
4. Скидан О. В., Голуб Г. А., Кухарець С. М., Ярош Я. Д., Чуба В. В., Медведський О. В., Цивенкова Н. М., Соколовський О. Ф., Кухарець В. В.; за ред. О. В. Скидна і Г. А. Голуба. Відновлювана енергетика в аграрному виробництві. Київ–Житомир : НУБіП України–ЖНАЕУ, 2018. 320 с
5. Голуб Г. А., Дубровін В. О., Поліщук В. М., Сера К. М., Марус О. А., Драгнєв С. В., Сидорчук О. В., Павленко М. Ю., Чуба В. В., Кухарець С. М. Біогаз / Серія навчально-методичних матеріалів, модуль 7. Київ : ЮНІДО, 2015. 48 с
6. Скляр Р. В., Курашкін О. С. Анаеробна утилізація органічної складової твердих побутових відходів з отриманням біогазу. Мелітополь, 2020
7. Желих В. М., Фурдас Ю. В. Біогазові технології: теорія і практика : монографія. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2015. 164 с.
8. Бабій Л. П., Петренко Ю. М. Енергетичний потенціал біогазу в Україні: оцінка та перспективи // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Енергетика та автоматика. 2020. Вип. 15. С. 21–29.
9. Голуб Г. А., Кухарець С. М., Марус О. А. та ін. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві : навч. посіб. Київ : НУБіП України, 2016. 226 с.

- 10.Ткаченко С. Й., Власенко О. В. Біогазові технології. Регулярний тепловий режим : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2023. 132 с.
- 11.Скидан О. В., Голуб Г. А., Кухарець С. М. та ін. Відновлювана енергетика в аграрному виробництві : навч. посіб. Житомир : ЖНАЕУ, 2018. 338 с.
- 12.Скляр Р. В., Курашкін О. С. Анаеробна утилізація органічної складової твердих побутових відходів з отриманням біогазу. Мелітополь, 2020.
- 13.Wellinger A., Murphy J. D., Baxter D., eds. The Biogas Handbook: Science, Production and Applications. Oxford : Woodhead Publishing, 2013. 624 p.
- 14.Alengebawy A., Głowacka A., Bieńkowski M. et al. Anaerobic digestion of agricultural waste for biogas production: a review with circular bioeconomy perspective // *Environmental Chemistry Letters*. 2024.
- 15.Holm-Nielsen J. B., Al Seadi T., Oleskowicz-Popiel P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization // *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100, Issue 22. P. 5478–5484.
- 16.Petersson A., Wellinger A. Biogas upgrading technologies – developments and innovations. IEA Bioenergy Task 37, 2009. 20 p.
- 17.Biogas Production. Cham : Springer, 2021.
- 18.Anaerobic Digestion. Cham : Springer, 2024.
- 19.Jensen J. K., Poulsen T. G., Adamsen A. P. S. Biogas upgrading and utilization: current status and perspectives // Technical University of Denmark, 2018.

ДОДАТКИ

**Обґрунтування параметрів біореактора біогазової установки для
утилізації відходів птахівництва**

Демонстраційний матеріал до дипломного проєкту освітнього ступеня «Бакалавр»

Виконала: здобувач групи АІС-1-23
Веретельник Сергій Володимирович

Керівник: к.т.н., доцентка
Золотовська Олена Володимирівна

Дніпро 2026

**1. АНАЛІЗ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ
ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ**

1.1 Загальна характеристика господарства

- Форма господарювання: фермерське господарство
- Основний напрямок: рослинництво та тваринництво
- Загальна площа землекористування: 68,0 га
- Поголів'я птиці: 600 голів курей-несучок
- Кількість працівників: 11 осіб
- Основні джерела енергії: електроенергія, тверде паливо
- Побічна органічна продукція: птичний помет



1.3 Виробнича структура господарства



Обґрунтування доцільності впровадження біогазової установки:
Постійне утворення органічних відходів у пташництві, наявність земельних угідь для використання переробленого залишку як добрива та потреби в тепловій енергії робить впровадження біогазової установки економічно та екологічно доцільним для господарства.

1.2 Земельні ресурси та структура виробництва

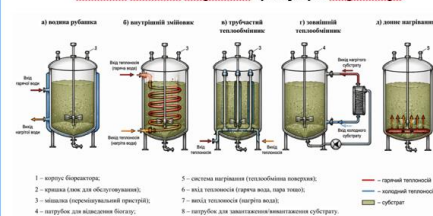
Структура земельних угідь			Структура посівних площ		
Вид угідь	Площа, га	Частка, %	Культура	Площа, га	Частка, %
Рілля	58,0	85,3	Озима пшениця	18,0	31,0
Господарські двори та забудова	4,0	5,9	Ячмінь, арій	8,0	13,8
Інші землі	6,0	8,8	Кукурудза на зерно	14,0	24,1
Разом	68,0	100,0	Соняшник	10,0	17,2
			Бакаторній трави та корисної культури	8,0	13,9
			Разом	58,0	100,0

1.4 Характеристика галузі пташництва

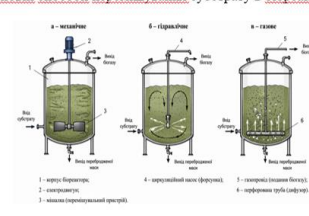
- Поголів'я: 600 курей-несучок у 2 пташниках
- Щоденне утворення помету – цінна органічна сировина для біогазової установки
- Технологічний цикл:
 - забезпечення кормами
 - напування
 - підтримання мікроклімату
 - прибирання помету
 - санітарне обслуговування приміщень
 - збір продукції



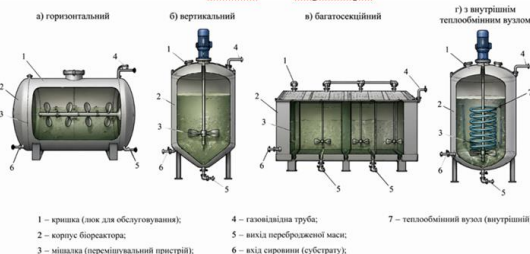
Основні способи нагрівання субстрату в біореакторі



Основні способи перемішування субстрату в біореакторі



Основні типи біореакторів



--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

