

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

УДК 631.3

Кваліфікаційна робота на
правах рукопису

Прокопенко Ян Павлович

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Удосконалення конструкції біогазової установки**

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, інформації результатів і текстів інших авторів
мають посилання на відповідне джерело

(підпис)

(ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
асистент Тимків В.В.

Житомир – 2024

ЗМІСТ

Вступ.....	
РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	
1.1. Розрахунок процесу прибирання і видалення гною.....	
Висновки до розділу 1.....	
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ	
2.1. Вибір технології анаеробного зброджування гною та прототипу удосконалюваної біогазової установки.....	
2.2. Патентний пошук та вибір конструкції теплообмінника нагрівача гною.....	
Висновки до розділу 2	
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА	
3.1. Обґрунтування необхідності удосконалення біогазової установки.....	
3.2. Розробка функціональної схеми біогазової установки	
3.3. Розрахунок процесу анаеробного зброджування гною	
3.4. Розрахунок енергетичних та конструктивних параметрів теплообмінника-нагрівача гною.....	
Висновки до розділу 3	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	
ДОДАТКИ.....	
.	

АНОТАЦІЯ

Прокопенко Я.П. *Удосконалення конструкції біогазової установки.* Робота виконана на правах рукопису для здобуття ОКР «Бакалавр» зі спеціальності 208 «Агроінженерія», Поліський національний університет Житомир – 2024. Факультет інженерії та енергетики.

Кваліфікаційна робота містить в собі завдання, анотацію, вступну, розрахункову, технологічну та конструктивну частину, висновки. В роботі обґрунтовано актуальність використання біоенергетики в наш складний час, проаналізовано на досить глибокому рівні сучасні технології виробництва біогазу, проведено необхідні технологічні розрахунки, розроблено конструкцію теплообмінника для підігріву гноївки. Графічна частина містить в собі 3 аркуші формату А1.

Ключові слова: тваринництво, біогазова установка, метатанк, газгольдер, теплообмінник, зброджування, гноївка, утилізація, ферма.

SUMARRY

Prokopenko J.P. *Improvement of the design of the biogas plant.* The work was performed on the basis of the manuscript for obtaining the OKR "Bachelor" in the specialty 208 "Agroengineering", Polissia National University Zhytomyr - 2024. Faculty of Engineering and Energy.

The qualification work contains a task, an abstract, an introductory, calculation, technological and constructive part, and conclusions. The paper substantiates the relevance of the use of bioenergy in our difficult times, analyzes modern biogas production technologies at a fairly deep level, carries out the necessary technological calculations, develops a design of a heat exchanger for heating manure. The graphic part contains 3 sheets of A1 format.

Key words: animal husbandry, biogas plant, metatank, gasholder, heat exchanger, fermentation, manure, utilization, farm.

ВСТУП

Основу продовольчої безпеки для населення складають якісні продукти харчування, зокрема молоко та його продукти переробки, що є основним завданням с-г виробництва. Молочнотоварні ферми сучасного рівня мають високу механізацію та автоматизацію виробничих процесів. Однак ручна праця все ще присутня, а деякі види обладнання залишаються малопродуктивними та енергозатратними, що значно впливає на вартість виробленої продукції.

На тваринницьких фермах накопичується значна кількість гною, що створює негативний вплив на санітарно-гігієнічні умови утримання тварин та на навколишнє середовище. Своєчасне прибирання тваринницьких приміщень, видалення гною та ефективне його використання також є важливою проблемою. Однією із ефективних технологій утилізації гною є переробка його на біогаз. Біогазові технології переробки органічних відходів можуть відразу усунути кілька проблем: екологічну (утилізація виробничих відходів), енергетичну (отримання палива і енергії), агрохімічну (виробництво екологічно чистих продуктів та добрив), підвищення родючості ґрунтів, а також соціальну (покращення умов праці та побуту населення).

Мета кваліфікаційної роботи це підвищення загальної ефективності переробки гноївки в біогаз.

Об'єктом досліджень в даній роботі є технологічний процес виробництва біогазу.

Предмет досліджень біогазова установка.

Методи досліджень збір потрібної інформації, її аналіз, знаходження конструктивних недоліків і як наслідок синтез нового технічного рішення – удосконалення власне самої установки.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Прокопенко Я.П.** Актуальність використання біоенергетики в с-г виробництві. *Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 20 березня 2024 р.* Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 151-153.
2. **Прокопенко Я.П.** Огляд технологій отримання біогазу. *Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 20 березня 2024 р.* Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 35-36.

Результатом виконання роботи є розробка конструкції вдосконаленої біогазової установки.

Кваліфікаційна робота має наступний склад: пояснювальна записка складається з 31 стор. тексту та трьох листів креслень формату А1..

РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Розрахунок процесу прибирання і видалення гною

Вибір системи і способу прибирання, видалення та утилізації гною залежить: від спеціалізації та поголів'я тварин в господарстві; гідрогеологічних і погодних умов та місця розміщення господарства; наявності водних і енергетичних ресурсів; використаних кормів та підстилки; системи і способу утримання тварин ; фізико-механічних властивостей та способів утилізації гною і використання його як органічного добрива.

При утриманні тварин у приміщеннях з боксами і суцільною підлогою підстилку вносять в кількості 4-5 кг/гол. Розміри боксів визначаємо за розмірами тварин і влаштовуємо їх так, щоб тварини не мали змоги розвернутися, а екскременти в основному потрапляли в прохід. Замінюють підстилку періодично в міру забруднення. Для видалення гною із корівника застосовують стаціонарні та мобільні засоби видалення гною. Застосування щільної підлоги та гідравлічної системи видалення гною недоцільно, тому що в цьому випадку значно підвищується вологість повітря та погіршується його хімічний склад в результаті випаровування води та рідкого гною. Тому для забезпечення заданих параметрів мікроклімату необхідно застосовувати примусову систему вентиляції, що в порівнянні з природною вентиляцією потребує значних витрат коштів. Також для видалення гною недоцільно застосовувати стаціонарні механічні засоби – скреперні установки, тому що вони характеризуються нижчим коефіцієнтом використання у порівнянні з мобільними засобами видалення гною. Гній з проходів видаляють три рази на день бульдозером БН-1, скидають у приймальні люки гноєзбірника.

Знаходимо добовий вихід гною від однієї корови [4] :

$$G_{ni} = \frac{\alpha \cdot (g_k + g_m + a_n)}{10^3}, \quad (1.1)$$

де g_k , g_m – добовий вихід калу і сечі від однієї корови, $g_k = 35$ кг, $g_m = 20$ кг; [5]

a_n – добова норма підстилки, кг, $a_n = 5$ кг;

α - коефіцієнт зволоження гною, $\alpha = 1$, для мобільного видалення гною.

тоді

$$G_{i^3} = \frac{1 \cdot (35 + 20 + 5)}{10^3} = 0,06 \text{ } \delta .$$

При використанні мобільних засобів видалення гною, продуктивність бульдозера визначаємо:

$$Q_m = \frac{3,6 \cdot 10^3 \cdot V \cdot \rho \cdot \varphi \cdot v_{\delta}}{2 \cdot l_{\delta}}, \quad (1.2)$$

де V – об’єм призми волочіння бульдозера, $V = 1,9 \text{ м}^3$;

φ – коефіцієнт заповнення лопати бульдозера, $\varphi = 0,9$;

l_{δ} – відстань транспортування гною, $l_{\delta} = 50 \text{ м}$;

v_{δ} – швидкість транспортування гною, $v_{\delta} = 0,75 \text{ м/с}$.

$$Q_m = \frac{3,6 \cdot 10^3 \cdot 1,9 \cdot 0,95 \cdot 0,9 \cdot 0,75}{2 \cdot 50} = 43,9 \text{ т / год.}$$

Кількість накопиченого гною:

$$G_n = \frac{\sum G_{ni} \cdot m_i}{10^3} \cdot D_n, \quad (1.3)$$

де D_n – час накопичення гною, $D_n = 1$ день.

$$G_i = \frac{60 \cdot 400}{10^3} \cdot 1 = 24 \text{ } \delta .$$

Кількість необхідних бульдозерів:

$$n_{\delta} = \frac{G_n}{Q_m}, \quad (1.4)$$

$$n_{\delta} = \frac{34}{43,9} = 0,55 \approx 1 \text{ } \delta .$$

Висновки до розділу 1 Оскільки спосіб утримання безпривязний, боксовий на глибокій підстилці для видалення гною з приміщень використовуємо один бульдозер БН-1 в агрегаті з трактором ЮМЗ-6КЛ.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

1.1. Вибір технології анаеробного зброджування гною та прототипу удосконалюваної біогазової установки

На практиці отримали розповсюдження дві технологічні схеми зброджування гною [1;7]:

- одноступінчата;
- двох, або багатоступінчата.

Одноступінчаті метантенки спочатку використовувались як низьконавантажені. Вони мали тривалість зброджування 30-50 діб і навантаження по бензольній речовині 0,1-1,3 кг/м³, працювали без переміщування та з незначним підігріванням. В цих умовах в метантенках досягалось глибоке розкладання органічної речовини (до 50%). Великі об'єми низьконавантажених метантенків зв'язані з ними великі будівельні затрати, заставили перейти до використання висконавантажених метантенків в яких інтенсифікація досягається за рахунок доброго підігрівання гною і безперервного перемішування. Це дозволило перейти на безперервне завантаження метантенків або скоротити інтервал завантаженням [3].

Існують такі способи зброджування:

- мезофільне;
- термофільне.

Мезофільне зброджування протікає при температурі гною рівній 33-35°C. Процес мезофільного зброджування триває до 7 діб. При мезофільному зброджуванні відбувається розділення гною на фракції.

Термофільне зброджування протікає при температурі гною 53-55⁰ С. процес термофільного зброджування проходить розклад органічної речовини, не відбувається розділення гною на фракції. Процес термофільного зброджування відбувається в основному в двоступінчатих метантенках.

На першому етапі процес зброджування триває в термофільному режимі. Проходить інтенсивне бродіння з великим виділенням біогазу, на другій стадії, яка протікає в мезофільному режимі йде припинення процесу зброджування, біогаз майже не виділяється [12].

В сільськогосподарському виробництві на сьогоднішній день використовуються біогазові установки, в яких використовуються мезофільний і термофільний способи зброджування гною.

Біогазова установка «КОБОС-1» (створена КТІСМ) призначена для виробництва високоякісних органічних добрив і біогазу.

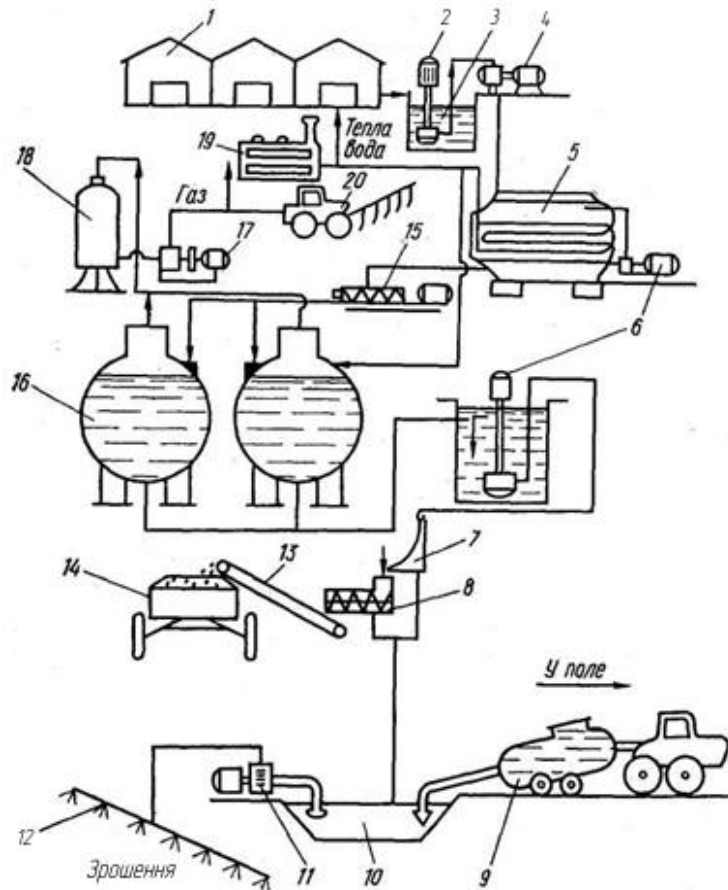


Рис. 2.1. Технологічна схема комплексу обладнання для анаеробного зброджування «КОБОС»:

1 – тваринницька ферма; 2, 6 – насоси для перекачування гноївки ; 3 – збірний колектор; 4 – дробарка; 5 – теплообмінник; 7 – фільтрувальне сито; 8 – фільтр пресувальний; 9 – розкидач добрив; 10 – накопичувачі гною; 11 – насос; 12 – система зрошення; 13 – шнек; 14 – транспортний засіб; 15 – насос; 16 – біореактор; 17 – стискувач; 18 – газгольдер; 19 – котлова установка; 20 – споживач біогазу [5].

Технологічний процес роботи установки двостадійний.

Перша стадія процесу (гідроліз і кислотоутворення) здійснюється в підігрівачі витримувачі (25 м³), друга — в реакторі (125 м³) [6].

Пуск обладнання здійснюється так: в якості дріждів використовують зброжений осад з метантенків комунальних підприємств. Бродіння проходить за температури $+40^{\circ}\text{C}$, перемішування маси — механічне за допомогою (лопатевою мішалкою).

Прискорення газоутворення, для кращої ефективності змішування та унеможливлення утворення кірки в газовій камері біореактора має бути певне розрідження за рахунок відкачування біогазу.

Продукт бродіння надходить до відстійника, де проходить його аерація, при цьому проходить відкачування залишків біогазу та перетворення осаду в аеробний стан. З відстійника-накопичувача продукти бродіння вивантажують насосом в розкидачі для внесення на поля.

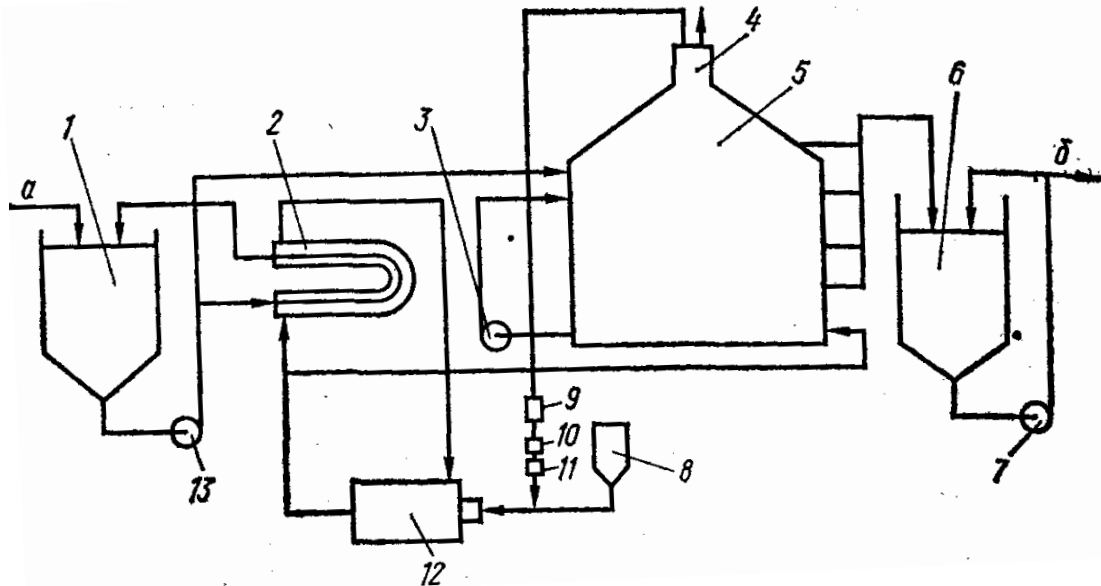


Рис. 2.2. Принципова схема обладнання для збродження рідкої фракції свинячого гною:

а – гноївка; б – продукт бродіння; 1 – ємність для перемішування та підігріву гною; 2 – теплообмінний апарат; 3, 7, 13 – дренажні насоси; 4 – накопичувач газу; 5 – метантенкова ємність; 6 – відстійник; 8 – бак пального; 9 – лічильник газу; 10 – компресор; 11 – газгольдер; 12 – котел для підігріву води [5].

Вироблений у реакторі біогаз завдяки надлишковому тиску проходить через відокремлювач від мулу та води, фільтр та лічильник газу, до котла.

У масі що бродить вміст азоту підвищується на 35 % в порівнянні з біомасою на вході. Відношення вуглецю та азоту в межах : від 13 вхідній біомасі до 4,3 – в зброженій, при цьому знищуються 100% схожість насіння бур'янів. У процесі експлуатації біогаз використовується в суміші з рідким паливом в котлі КВ-300, при цьому економія палива становить 20–30% Таким чином, установлено, що установка задовільно виконує технологічний процес і забезпечує одержання цінного органічного добрива, втрату схожості насіння бур'янів і одержання біогазу, як додаткового джерела енергії.

Технічні характеристики таких установок наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Технічні характеристики біогазових установок

Показники	Змонтовано в Огре	Змонтовано в Парю	„КОБОС-1“	Біогаз-301*	Розробки „УкрНДІагро-проект“*
Добовий вихід біогазу, м ³	265	6210	До 440	350	178
Об'єм реактора, м ³	2×75	2×3260	2×125	300	150
Вихід біогазу з 1 м ³ об'єму реактора, м ³	1,76	0,95	1,04—1,71	1,16	1,18
Вихід біогазу з 1 т біомаси, м ³	2,65	1,04	1,45	1,1	1,2
Температура бродіння, °С	54±2	38	40±1	40±1	40±1
Тривалість бродіння біомаси, діб	5	16	5	10	9
Установлена потужність, кВт	—	—	101,2	52,0	4,3
Споживана потужність кВт·год/добу	—	—	296	151,0	24,5
Обслуговуючий персонал, чол.	4	15	4	4	4
Добова переробка біомаси, т	20	400	45,6	30,9	16,5
Вологість вихідної біомаси, %	93,6	94,1	96,2	99,5	93,7

Аналіз конструкцій біогазових установок та їх технічних характеристик показує, що в якості прототипу можна вибрати біогазові установку типу «КОБОС-1», яка призначена для переробки гною на біогаз на фермі ВРХ 800 голів. До її переваг можна віднести мезофільний спосіб зброджування гною. Інтенсифікація роботи установки досягається за рахунок підігрівання гною та його періодичного перемішування. Процес переробки гною відбувається в ємностях, ізольованих від зовнішнього середовища, саме тому не відбувається забруднення навколишнього середовища продуктами переробки.

До недоліків даної біогазової установки можна віднести:

1. Нерівномірність генерування біогазу у часі;
2. Значні витрати біогазу на власні потреби (нагрівання гною);
3. Значні капітальні затрати;
4. Не здійснюється утилізація теплоти виробленого біогазу та зброженого гною для попереднього нагрівання гною.

2.2. Патентний пошук та вибір конструкції теплообмінника нагрівача гною

До обладнання для нагрівання та охолодження речовин висуваються теплові, гідродинамічні, конструктивні, експлуатаційні та технологічні вимоги, які враховуються при виборі, розрахунку та проектуванні відповідного апарату.

Основні вимоги до такого обладнання включають:

- досягти максимальний коефіцієнт теплопередачі при мінімумі гідравлічного опору;
- забезпечити герметичність поверхні нагріву;
- бути надійними в роботі зручними в обслуговуванні;
- мати низьку металоємність.
- якомога більша поверхня нагрівання;
- бути достатньо міцними;
- висока продуктивність.

Найбільш поширені в промисловості **кожухотрубні теплообмінники**. Вони забезпечують великі поверхні теплообміну в одному апараті, прості у виготовленні та надійні в експлуатації [5].

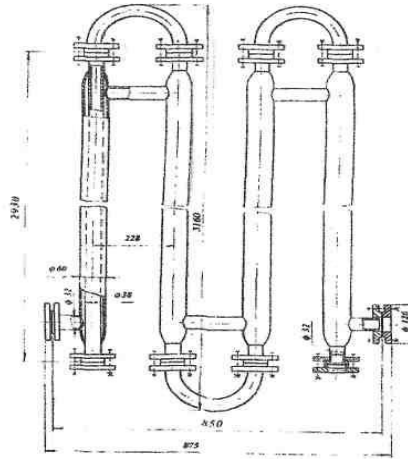


Рис. 2.3. Теплообмінник типу «труба в трубі».

Використовують також двохтрубні теплообмінні апарати типу «труба в трубі» (рис. 3.7). Вони бувають розбірні і нерозбірні. Крім того вони можуть бути однопоточні, двопоточні і багатопоточні. Такі теплообмінники придатні для високих тисків теплоносіїв. Завдяки великим швидкостям рідини (1,0-11,5 м/с) вони мають високі коефіцієнти теплопередачі. Проте вони дуже громіздкі і металоємні, незручні для очистки.

Прикладом найпростішого підігрівача є одноходовий трубчастий теплообмінник (рис. 3.8). Він складається з паралельних трубок, кінці яких ввальцьовані в дві трубні решітки 4. Трубки поміщені в циліндричний корпус 1. Апарат має патрубок 3 для підведення теплоносія в простір між трубками і патрубок 6 для відведення теплоносія. Подача продукту здійснюється через патрубок 5, а відвід – через патрубок 7. Для покращення процесу теплообміну в міжтрубному просторі встановлені перегородки.

Теплообмінник має велику поверхню нагрівання і невеликий поперечний переріз всіх трубок. Тому швидкість руху продукту в трубах велика і коефіцієнт теплопередачі значний.

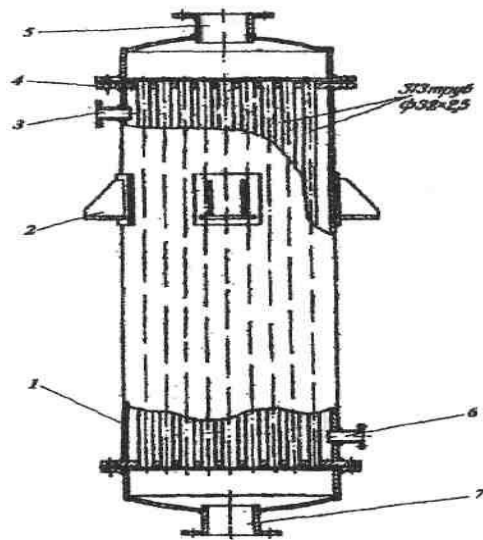


Рис. 2.4. Одноходовий підігрівач.

1 – корпус; 2 – опора; 3 – патрубок виходу теплоносія; 4 – трубна решітка; 5 – патрубок входу продукту; 6 – патрубок входу теплоносія; 7 – патрубок виходу продукту.

В останні роки все більшого розповсюдження набувають **пластинчасті теплообмінники** (рис. 3.9). Їх ставлять і закріплюють на станині 2. Поверхня пластин має виступи 4, які утворюють багаточисельні канали між пластинами. По цих каналах тонким шаром (3-6 мм) протікає рідина. Шари рідини чергуються, тому теплообмін у кожному шарі рідини відбувається через обидві обмежуючі поверхні. Ущільнення пластин досягається гумовими прокладками 3, приклеєними по периферії. Проте їх недоцільно застосовувати у випадку, коли агент, що переміщується має механічні включення, що можуть привести до забивання каналів.

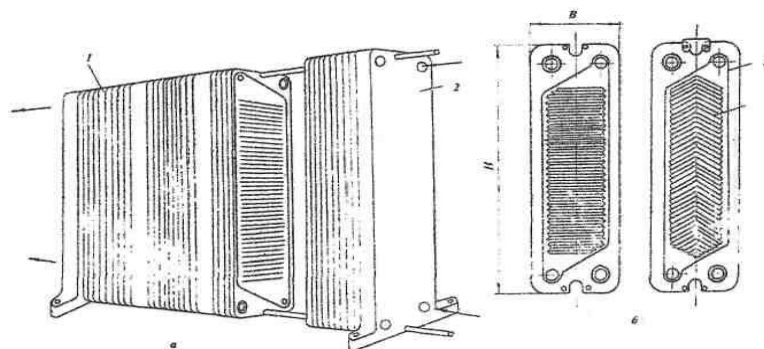


Рис. 2.5. Пластинчастий теплообмінник.

а – загальний вигляд; б – пластини; 1 – пластини; 2 – пластина; 3 – резинові прокладки; 4 – виступи пластин.

Змійовикові теплообмінники мають порівняно низький коефіцієнт теплопередачі, але через простоту виготовлення та зручність обслуговування вони набули значного розповсюдження. Вони використовуються як для нагрівання, так і для охолодження.

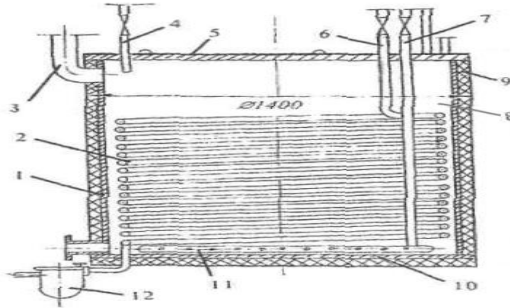


Рис. 2.6. Змійовиковий теплообмінний апарат:

1 – корпус; 2 – змійовик; 3, 4, 6, 7, 13 – патрубки; 5 – кришка; 8 – робоча камера; 9 – теплоізоляція; 10 – днище; 11 – барботер; 12 – відвідник конденсату.

Аналіз конструкції теплообмінників показує, що доцільно вибрати в якості нагрівача гною трубчастий теплообмінник, який при невеликих габаритах має значну поверхню нагрівання, що забезпечує великий коефіцієнт теплопередачі. Теплообмінник відноситься до апаратів безперервної дії та горизонтальним розташуванням поверхні нагрівання. Пара подається у міжтрубний простір. Найбільший робочий тиск у паровій камері 0,6 МПа, в трубках – 0,6 МПа.

Висновки до розділу 2.

Таким чином, поаналізувавши існуючі конструкції біогазових установок удосконалення повинно здійснюватись за наступними напрямками:

- розробка функціональної та технологічної схеми установки на основі вибраної технології;
- розрахунок параметрів технологічного процесу та параметрів технологічного обладнання установки;
- вибір високопродуктивного технологічного обладнання та його удосконалення в разі потреби;
- розробка автоматизованої системи подачі гною та видалення збродженого гною;

- застосування пристроїв утилізації тепла для попереднього нагрівання гною.

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА

3.1 Обґрунтування необхідності удосконалення біогазової установки

За прогнозами компетентних організацій, при збереженні нинішніх темпів споживання наявних на планеті запасів викопних енергоносіїв, нафти вистачить на 40-50 років, природного газу – 60-80 років, вугілля – 150-180 років [9]. Після вичерпання їхніх запасів техносфера ризикує залишитися без джерела енергії, що виявиться техно-соціальною катастрофою для нашої цивілізації. Необхідність забезпечення стійкого шляху розвитку цивілізації вже зараз вимагає рішення проблеми переходу до використання альтернативних і швидко поновлюваних джерел енергії, до числа яких можна віднести: геліоенергію, вітроенергію, геотермальну енергію, енергію припливів та ін. Найбільш перспективним напрямком є розвиток біоенергетики.

Одним з ефективних методів одержання енергії з біомаси, яке не потребує відводу додаткових посівних площ, є мікробіологічний, у якому використовується здатність метаногенних мікроорганізмів перетворювати біомасу в біогаз.

Для одержання біогазу в сільському господарстві основною сировиною є гнойова маса із тваринницьких ферм. По даним [9], при анаеробному

зброджені гною, одержуваного протягом доби від однієї корови, виділяється $1,2 \div 1,5 \text{ м}^3$ біогазу, що містить $50 \div 80\%$ метану. Кількість тепла одержуваного при спалюванні 1 м^3 біогазу приблизно дорівнює $15 \div 22 \text{ МДж/м}^3$.

Після очищення від домішок вуглекислого газу й водяної пари, біогаз може успішно використатися як паливо для карбюраторних двигунів внутрішнього згорання. Дешева й проста в реалізації технологія очищення біогазу до 94% може здійснюватись абсорбційними методами.

У минулі роки на Україні по типових і індивідуальних проектах була побудована значна кількість молочнотоварних ферм на 800, 1200, 1600 дійних корів [6]. Було також налагоджене промислове виробництво біогазових реакторів для тваринницьких ферм. Однак їхнє застосування було обмежено одиничними випадками. Одна з головних причин, яка викликала труднощі узгодження добових графіків виробництва й споживання біогазу, була висока нерівномірність споживання тепла для забезпечення технологічних процесів тваринницьких ферм при рівномірному виділенні біогазу протягом доби.

Для подолання цієї проблеми пропонується створення на базі сільськогосподарських підприємств енерговиробничих комплексів, які поєднували б у своєму складі об'єкти по виробництву сільськогосподарської продукції, об'єкти по її переробці, джерела енергії нетрадиційних систем енергозабезпечення, енергогенеруючі об'єкти, систему виробництва палива для мобільної с.г. техніки. Такі комплекси повинні розроблятися здебільшого в індивідуальному порядку, з урахуванням специфічних особливостей конкретних сільськогосподарських підприємств. Як приклад на рис. 3.1 запропонований варіант структурно-технологічної схеми комплексу на базі молочнотоварної ферми.

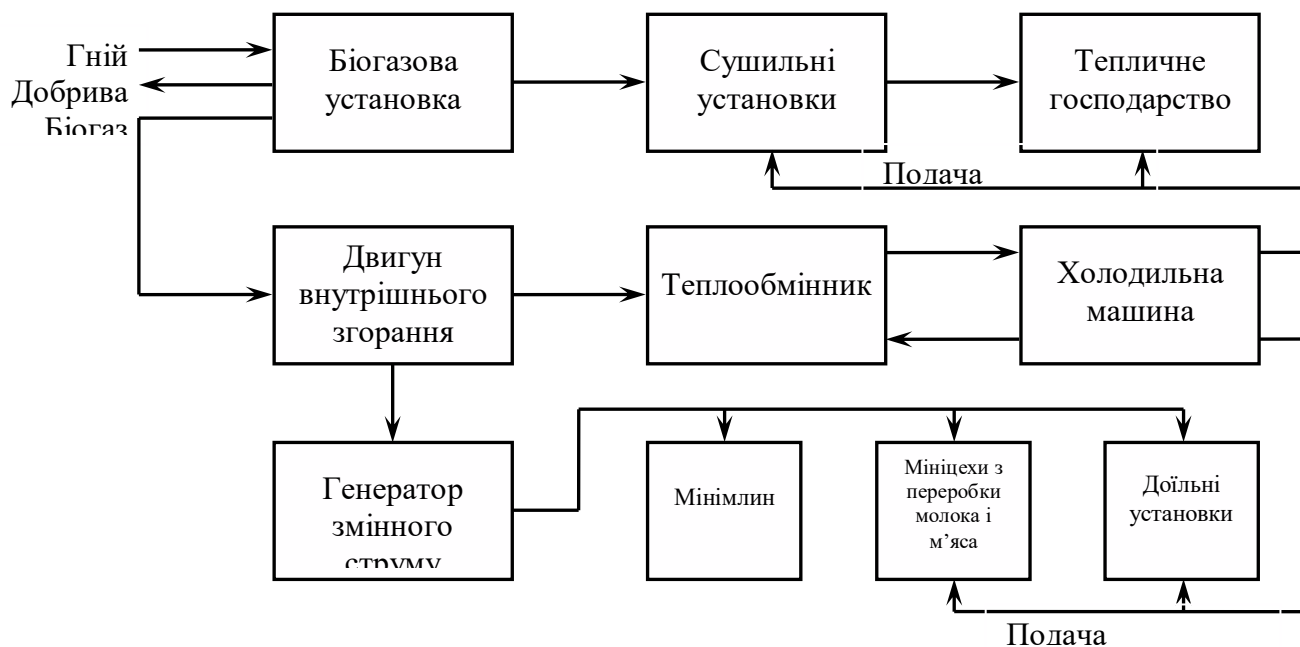


Рис. 3.1. Структурно-технологічна схема виробничо-енергетичного комплексу

Як первинне джерело енергії служить біогаз. Для забезпечення погодженості графіків його виробництва й споживання, одержуваний біогаз

пропонується використати як паливо для карбюраторного двигуна внутрішнього згорання, що приводить у дію електричний генератор автономної електростанції. Всю одержувану електроенергію пропонується використати для приведення в дію устаткування групи переробних цехів. Споживачів електроенергії варто підібрати таким чином, щоб вона використалася рівномірно протягом доби.

З розгляду середньостатистичного енергетичного балансу двигуна внутрішнього згорання [3], видно що в електроенергію може бути перетворено тільки 30-35% від нижчої теплоти згорання біогазу. Близько 10% втрачається через неповноту згорання палива в циліндрах і теплообміну поверхні двигуна з навколишнім середовищем. Інші 65-70% теплової енергії втрачається через радіатор, при охолодженні двигуна, і з вихлопними газами, температура яких досягає 500-700°C.

Температура вихлопних газів дозволяє утилізувати їхнє тепло для одержання перегрітої водяної пари, яку можна використати для обігріву теплоспоживаючого технологічного устаткування переробних цехів. Вихлопна система двигуна повинна бути обладнана теплообмінником-утилізатором тепла вихлопних газів.

Теплова потужність, що знімається з утилізатора тепла вихлопних газів, приблизно вдвічі перевищує електричну потужність, що знімається з електрогенератора. При спалюванні одного кубічного метру біогазу отримують до 2,5 кВт·год електричної енергії та до 4-5 кВт·год теплової енергії. При цьому технологічне обладнання переробних цехів споживає 75% утилізованого тепла. Залишок - 25% тепла дозволяє забезпечити роботу холодильної машини, необхідної для охолодження й короткострокового зберігання сировини й продукції переробних цехів. Експлуатація такої машини в комбінованому холодильно-теплонасосному циклі [5] дозволяє одержувати теплу воду з температурою - +40°C, необхідну для миття технологічного устаткування.

В цьому випадку може бути застосована холодильна машина адсорбційного або пароежекторного типу [7]. Низькопотенціальне тепло, що знімає з конденсатора холодильної машини, може бути утилізовано декількома різними способами залежно від пори року.

У зимовий час частина низькопотенціального тепла необхідна для обігріву біогазового реактора з метою підтримки в ньому необхідного температурного режиму. Залишок тепла можна застосувати для обігріву тепличного господарства.

У літню пору низькопотенційне тепло можна частково або повністю утилізувати в різних сушильних установках.

Оскільки цехи переробки м'яса й молока споживають тільки незначну частину вироблюваної електроенергії, то для її повного використання в групі споживачів доцільно включити вальцевий мінімлин. Характери протікання технологічних процесів мінімлина дозволяють відновити його роботу практично в будь-який момент часу, що дозволяє легко маневрувати режимами енергоспоживання.

Невелику частину резерву електричної потужності можна використати для привода доїльних установок.

Для повного споживання залишків біогазу до складу виробничо-енергетичного комплексу повинна бути включена газонаповнювальна станція для заправлення балонів, використовуваних на автотранспорті. Компресори ставляться до класу машин, продуктивність і споживана потужність яких порівняно легко регулюються в досить широкому діапазоні. Завдяки цьому за допомогою газонаповнювальної станції можна досить тонко регулювати споживання біогазу, забезпечуючи його максимальну погодженість із графіком виробництва біогазу.

Грубе регулювання споживання біогазу здійснюється за допомогою встановлення добового графіка позмінної роботи групи переробних мініцехів.

Таким чином використання біогазу в сільськогосподарському виробництві дозволяє у визначених межах успішно вирішувати проблему переходу до альтернативних, дешевих та швидковідновлюваних джерел енергії. Тому розробка та вдосконалення біогазових установок є важливою задачею сьогодення.

3.3. Розробка функціональної схеми біогазової установки

Доцільно вибрати мезофільний спосіб зброджування гною при температурі $+40^{\circ}\text{C}$ з періодичним перемішуванням його в реакторі. В цьому випадку тривалість бродіння субстрату буде становити п'ять діб. При такій технології анаеробного зброджування відбувається розділення субстрату в реакторі на рідку та тверду фракції. Остання осідає на дні реактора, що дає змогу періодично видаляти її. Також доцільно двостадійний процес зброджування гною здійснювати в одному пристрої – реакторі. В цьому випадку замість підігрівача-витримувача гною зі значним об'ємом робочої камери необхідно застосувати проточний компактний нагрівник. Це забезпечить зменшення вартості установки.

В загальному випадку функціональна схема біогазової установки має наступний вигляд (рис. 3.5).

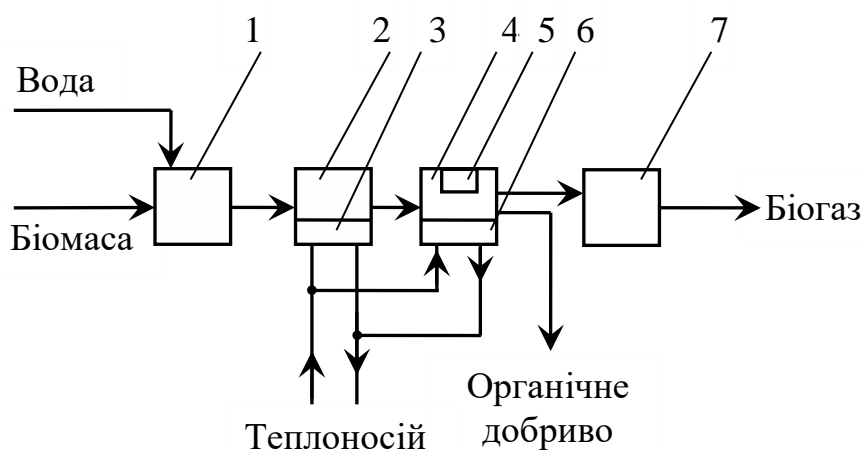


Рис. 3.2. Функціональна схема біогазової установки (загальна): 1 – подрібнювач-зволожувач; 2 – підігрівач-витримувач; 3 – теплообмінник; 4 – реактор; 5 – пристрій для перемішування біомаси; 6 – теплообмінник; 7 – газгольдер.

Біогазова установка працює так. Біомаса поступає до подрібнювача-зволожувача, в якому зволожується водою, подрібнюється та перемішується. Далі біомаса подається до підігрівача-витримувача, в якому нагрівається до температури бродіння. Нагріта біомаса подається до реактора, в якому в результаті анаеробного зброджування її виділяється біогаз. Для запобігання утворення кірки на поверхні біомаси, її періодично перемішують. Біогаз подається до резервуару накопичення – газгольдера, із якого надходить до

споживачів. Зброджена біомаса видаляється із реактора і використовується як органічне добриво. В країнах зі спекотним кліматом підігрівач гною не застосовується. В малих біогазових установках застосовують суміщення функцій реактора і газгольдера в одному пристрої.

В господарстві в якості біомаси буде використовуватись гній ВРХ вологістю до 88%. Для роботи біогазової установки вологість гною повинна становити 92-95%. Тому виникає потреба розводити гній водою до необхідної консистенції. Для подрібнення підстилкового матеріалу, що потрапляє в гній, необхідно застосовувати подрібнювач. Після подрібнення та зволоження гній являє собою рідку, однорідну масу, яку перед подачею в реактор необхідно підігріти до температури збродження $+40^{\circ}\text{C}$. Нагрівання гною здійснюється в два етапи: на першому шляхом утилізації тепла біогазу, що виділився в реакторі та збродженого гною, а на другому – з застосуванням теплообмінника, розміщеного в підігрівачі гною. Підігрітий гній подається в реактор, в якому відбувається мезофільний процес анаеробного збродження гною з виділенням біогазу. Для запобігання виникнення кіркоутворення гній необхідно перемішувати гідравлічними чи механічними засобами або шляхом барботажу гною газом. Для стимулювання газоутворення в газовій камері реактора підтримують невисоке розрідження за рахунок постійного відведення біогазу компресором. Біогаз містить: метан – 55-65%, вуглекислий газ – 35-40%, азот – 3%, водень – 1% та до 1% кисню та сірководню. За даними [5] при анаеробному збродженні гною можна отримати до 20 м^3 біогазу з 1 тони субстрату. Біогаз із реактора за допомогою компресора проходить через теплообмінник пристрою утилізації тепла і подається в газгольдер. Більша частина біогазу із газгольдера через пристрій для очищення газу подається до двигуна внутрішнього згорання, який приводить в дію електрогенератор. При очищенні із біогазу видаляють воду та сірку. Інша частина біогазу (менше 35-40%) подається до котла-пароутворювача. Кількість тепла одержуваного при спалюванні 1 м^3 приблизно дорівнює 15-22 МДж. Котел подає гарячу пару в теплообмінники нагрівача гною та реактора. Із реактора зброджений гній насосом подається до пристрою розділення гною на рідку та тверду фракції. Тверду фракцію додатково зневоднюють прес-фільтром. Рідку та тверду

фракції транспортують до гноєсховища. Під час запуску установки добова норма завантаження реактора становить 6-8 м³ гною. Після заміни повного об'єму реактора норму збільшують до 10% автоматичною подачею порцій.

Таким чином біогазова установка являє собою установку безперервної дії з автоматичною подачею гною та видаленням збродженого гною. Таким шляхом досягається однакова маса субстрату в реакторі, що забезпечує постійні умови перебігу процесу газоутворення, а отже більш рівномірне отримання біогазу. Функціональна схема удосконаленої біогазової установки має наступний вигляд (рис. 3.3).

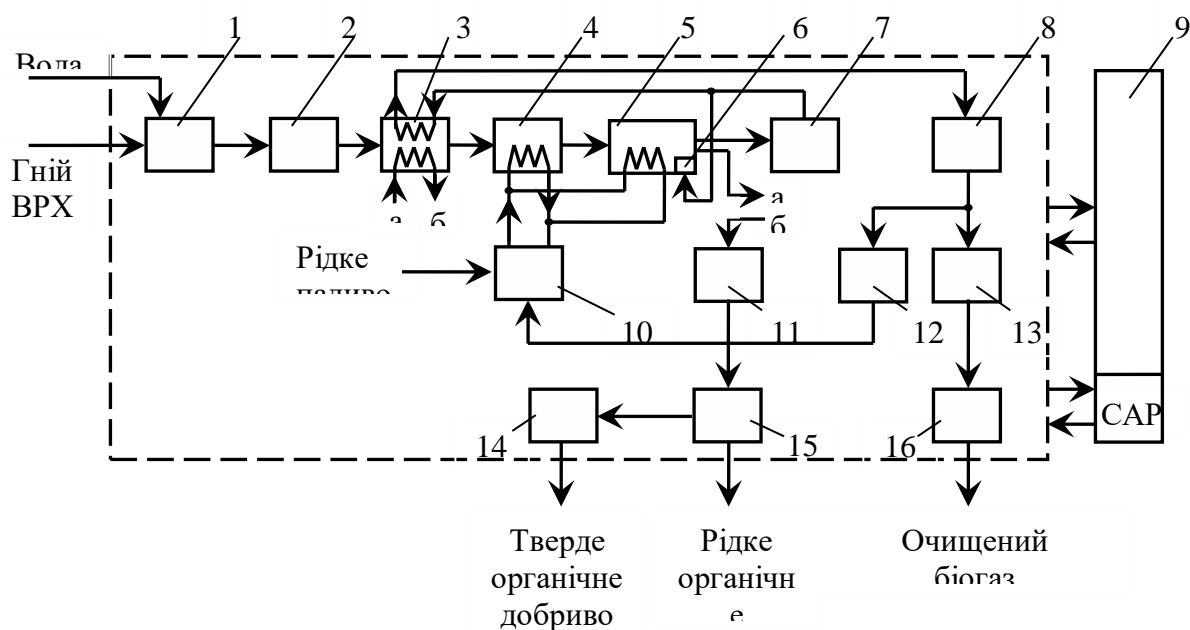


Рис. 3.3. Функціональна схема біогазової установки:

1 – гноєприймач; 2 – насос; 3 – пристрій утилізації тепла біогазу та збродженого гною т; 4 – підігрівач гною; 5 – реактор; 6 – барботери; 7 – компресор; 8 – газгольдер; 9 – станція керування; 10 – котел-пароутворювач; 11 – насос; 12 – лічильник газу; 13 – очисник біогазу; 14 – прес-фільтр; 15 – розділювач осаду на фракції; 16 – лічильник газу [5].

Таким чином, застосування в складі установки утилізатора тепла зменшить витрати біогазу на власні потреби (нагрівання гною). Застосування барботажу для перемішування гною в реакторі забезпечить зменшення затрат електроенергії порівняно з використанням лопатевої мішалки обладнаної електроприводом. Вибір технологічного процесу зброджування гною з

двостадійним перебігом в реакторі потребує зміни конструкції підігрівача гною.

3.4. Розрахунок процесу анаеробного зброджування гною

Для роботи біогазової установки потрібен гній вологістю 92-95%. Вологість видаленого з ферми підстилкового гною становить 88%. Тому перед подачею його до установки гній розбавляють водою до необхідної консистенції. Воду додають в такій кількості [4]:

$$G_{\dot{a}} = \frac{G_{\dot{a}}(W_{\dot{e}} - W_{\dot{a}i})}{100 - W_{\dot{a}i}}, \quad (3.1)$$

де $G_{\dot{b}}$ – добова норма подачі води у гній, кг;

$W_{\text{к}}$ – кінцева вологість рідкого гною, %, $W_{\text{к}} = 92\%$;

$W_{\text{гн}}$ – вологість вихідного гною, %, $W_{\text{гн}} = 88\%$.

$$G_{\dot{a}} = \frac{24 \cdot (92 - 88)}{100 - 88} = 6 \text{ } \dot{\text{д}} .$$

Добовий вихід гною вологістю 92% становить:

$$G'_{\dot{a}} = G_{\dot{a}} + G_{\dot{a}} = 24 + 6 = 30 \text{ } \dot{\text{д}} .$$

Об'єм накопичувача рідкого гною:

$$V_{\dot{a}i} = \frac{Q_{\dot{d}} \cdot t_{\text{н}}}{\rho_{\text{гн}}}, \quad (3.2)$$

де $Q_{\text{д}}$ – добовий вихід гною ферми, кг;

$\rho_{\text{гн}}$ – густина рідкого гною, кг/м³;

$t_{\text{н}}$ – час накопичення гною, діб.

$Q_{\text{д}} = 30\ 000$ кг при вологості гною 92%;

$\rho_{\text{гн}} = 1000$ кг/м³;

$t_{\text{н}} = 2$ доби;

$$V_{\dot{a}i} = \frac{30000 \cdot 2}{1000} = 60 \text{ } \dot{\text{д}}^3 .$$

Об'єм теплообмінника гноснагрівача:

$$V_{\delta} = \frac{Q_i \cdot t_{\zeta} \cdot K_t}{\rho_{\tilde{a}i}}, \quad (3.3)$$

де Q_{Π} – маса порції гною, кг;

t_3 – час нагрівання гною, хв;

K_t – коефіцієнт, що враховує зміну об'єму гною при нагріванні, $K_t = 1,2$;

$$Q_i = \frac{Q_{\tilde{a}}}{n},$$

де n – кількість завантажень гною протягом доби, $n = 24$.

$$Q_i = \frac{30000}{24} = 1250 \text{ кг}.$$

$$t_{\zeta} = \frac{Q_i}{\rho_{\tilde{a}i} \cdot V_{\delta\delta}}, \quad (3.4)$$

де $V_{\text{тр}}$ – швидкість транспортування гноївки, м³/хв, $V_{\text{тр}} = 4 \text{ м}^3/\text{хв}$;

$$t_{\zeta} = \frac{1250}{1000 \cdot 4} = 0,3125 \text{ год};$$

$$V_{\delta} = \frac{1250 \cdot 0,3125 \cdot 1,2}{1000} = 0,45 \text{ м}^3.$$

Об'єм реактора:

$$V_{\delta} = \frac{100 \cdot Q_{\tilde{a}} \cdot t_{\text{бр}}}{\rho_{\tilde{a}i} \cdot q_{\zeta}}, \quad (3.5)$$

де q_3 – добова доза завантаження реактора, %, $q_3 = 100\%$;

$t_{\text{бр}}$ – час бродіння, діб, $t_{\text{бр}} = 5 \text{ діб}$.

$$V_{\delta} = \frac{100 \cdot 30000 \cdot 5}{1000 \cdot 100} = 150 \text{ м}^3.$$

Добовий вихід біогазу:

$$G_{\tilde{a}} = Q_{\tilde{a}} \cdot q', \quad (3.6)$$

де $q' = 20 \text{ м}^3/\text{т}$;

$$G_{\tilde{a}} = 30 \cdot 20 = 600 \text{ м}^3 \text{ за добу}.$$

Об'єм газгольдера:

$$V_{\tilde{a}} = \frac{G_{\tilde{a}} \cdot t_{\text{нб}}}{24}, \quad (3.7)$$

де $t_{\text{нб}}$ – час накопичення біогазу в газгольдері, год, $t_{\text{нб}} = 3 \text{ год}$.

$$V_{\bar{a}} = \frac{600 \cdot 3}{24} = 75 \text{ м}^3.$$

Загальна теплова енергія біогазу за добу:

$$Q_{\bar{a}} = G_{\bar{a}} \cdot \tilde{N}_{\bar{a}}, \quad (3.8)$$

де $C_{\bar{a}}$ – теплотворна здатність біогазу, $C_{\bar{a}} = 24$ МДж/м³.

$$Q_{\bar{a}} = 600 \cdot 24 = 14400 \text{ МДж}.$$

Витрати теплоти на нагрівання вихідного гною від +8°C до +40°C:

$$W_{\bar{a}} = \frac{Q_{\bar{a}}(t_2 - t_1)C_{\bar{a}}}{\eta}, \quad (3.9)$$

де $C_{\bar{r}}$ – теплоємність гною, кДж/кг·°C, $C_{\bar{r}} = 4,06$ кДж/кг;

$$t_1 = 8^\circ\text{C}, t_2 = 40^\circ\text{C};$$

η – ККД нагрівника гною, $\eta = 0,7$.

$$W_{\bar{a}} = \frac{30000 \cdot (40 - 8) \cdot 4,06}{0,7} = 5568 \text{ МДж}.$$

Витрати теплоти на власні потреби:

$$W_{\bar{a}\bar{r}} = W_{\bar{a}} + W_{\bar{e}}, \quad (3.10)$$

де $W_{\bar{k}}$ – витрати теплоти на компенсацію тепловитрат, МДж, $W_{\bar{k}} = 500$ МДж.

$$W_{\bar{a}\bar{r}} = 5568 + 500 = 6068 \text{ МДж}.$$

Загальний об'єм біогазу, що використовується на власні потреби:

$$G_{\bar{a}\bar{r}} = \frac{W_{\bar{a}\bar{r}}}{\tilde{N}_{\bar{a}}}, \quad (3.11)$$

де $C_{\bar{b}\text{вп}}$ – теплоємність одного м³ біогазу, $C_{\bar{b}\text{вп}} = 24$ МДж/м³.

$$G_{\bar{a}\bar{r}} = \frac{6068}{24} = 254 \text{ м}^3.$$

Вихід біогазу, що використовується для теплоенергетичного модуля господарства (товарний біогаз):

$$G_{\bar{a}\bar{o}} = G_{\bar{a}} - G_{\bar{a}\bar{r}} = 600 - 254 = 346 \text{ м}^3.$$

Технічні характеристики біогазової установки наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2.

Показники	Кількість
-----------	-----------

<i>1. Добова переробка гною, т</i>	<i>30</i>
<i>2. Температура бродіння субстрату, °С</i>	<i>40</i>
<i>3. Тривалість бродіння субстрату, діб</i>	<i>5</i>
<i>4. Добовий вихід товарного біогазу, м³</i>	<i>346</i>
<i>5. Обслуговуючий персонал, чол</i>	<i>1</i>

Висновки до розділу 3.

Створення на основі біогазової установки теплоенергетичного модуля, що включає двигун внутрішнього згорання та електричний генератор, забезпечить господарство у визначених межах дешевою електричною та тепловою енергією власного виробництва. Також наряду з виробництвом біогазу установка виробляє цінне незаражене органічне добриво.

ВИСНОВКИ

Аналіз обладнання зарубіжних та вітчизняних біогазових установок, а також проведений патентний пошук показує, що для удосконаленої біогазової установки доцільно вибрати наступне обладнання:

- підігрівач – циліндричний сталевий резервуар з теплообмінником, який являє собою сталеву циліндричну ємність, в якій розміщений теплообмінник, виконаний у вигляді сукупності металевих труб. Теплообмінник такої конструкції має достатню площу поверхні теплопередачі, що забезпечить нагрівання рідкого гною до заданої температури при транспортуванні його до реактора;

- реактор являє собою резервуар заглибленого типу, який виготовляється на місцевості із залізобетону, або монтується з бетонних блоків невеликого розміру. Таке конструктивне рішення зменшить вартість споруди. Теплова ізоляція реактора та підігрівника виконується із стандартного ізоляційного матеріалу (мінеральна вата) завтовшки 8-12 см. Гідроізоляція резервуара виконується смолою;

- теплообмінник реактора, представляє собою обігрівний трубопровід з високоякісної сталі, змонтований на внутрішній стіні реактора;

- пристрій для перемішування гною в реакторі – барботер, який подає газ в реактор для перемішування субстрату;

- газгольдер – циліндричний сталевий резервуар з зовнішнім газовим мішком, виготовленим із гуми, який вільно розтягується в просторі. Такий газгольдер має більш просту конструкцію та надійніший в роботі в порівнянні з газгольдерами, що мають підйомний сталевий купол, обладнаний гідравлічним затвором;

- насоси для транспортування рідкого гною – шнекові насоси типу НШ-50-1 потужністю 3 кВт, обладнані подрібнювачем, об'ємна швидкість транспортування рідини до 6 м³/год;

- пристрій для видалення осаду із реактора – гвинтовий насос типу В;

- пристрій для розділення гною на фракції – дугове сито СД-Ф-50;

- пристрій для зневоднення гною – шнековий прес-фільтр типу ПЖН-68;

- котел-пароутворювач – котел типу КВ-300.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баадер В. “Біогаз”. – Київ.: “Урожай”, 1982. – 162 с.
2. Баротрі М “Енергозберігаючі технології і агрегати на тваринницьких фермах”. – К.: “Урожай”, 1990. – 244 с.
3. Бацанов І.Н. “Прибирання і утилізація гною на свинарних комплексах”; - Київ.: “Урожай”, 1987. – 64 с.
4. Водяницький Г.П. Методичні вказівки з курсового і дипломного проектування «Проектування і рахунок технологічних процесів тваринницьких підприємств промислового типу». - Житомир. ДАЕУ. 2005. – 195 с.
5. Гюнтер Л.І. “Метантенки”; - К.: “Урожай”, 1991. – 46 с.
6. Гладушко В.І., Астрелін І.М. Органічні відходи – невичерпне джерело забезпечення агропромислового комплексу паливом // Екотехнології і ресурсозбереження , 1998. № 5. – 30 с.
7. Кільчицька С.С. “Відновлювальні джерела енергії”, - К.: “Знання”, 1990. – 52 с.
8. Клименко В. “Біогазові установки – малим господарствам”; “техніка АПК”; №7-8, 1994. – 30 с.
9. Свінціцький І.І. “Біоенергетика та продуктивність”; К.: “Урожай”, 1993. – 134 с.
10. Семенко І.В. “Обґрунтування завантаження біоенергетичної установки”; К.: «Урожай» , 312, 1991. – 48 с.
11. Смірнов О. “Анаеробна установка на тваринницькі комплекси”; “Техніка АПК” 4-5, 1994. – 30 с.
12. Ялі І.І. “Механізація видалення гною на фермах і комплексах”, - К.: “Урожай”, 1993. – 84 с.
13. Ясенецький В.А. “Зниження енергозатрат у тваринництві” – К.: “Урожай”, 1990. – 86 с.
14. Опис винаходу до авторського свідоцтва «Нагрівач з зустрічними потоками (19) SU (11) 458221 M 31511 СОС 3/00».
15. Опис винаходу до авторського свідоцтва «Теплообмінний апарат. (19) SU (11) 1477456 A1 4(51) B 01 D 53/20».