МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

БАБИЧ ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 620.95

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МАЛООБ'ЄМНОЇ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

208 "Агроінженерія"

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Бабич О.М.

Керівник роботи
Савченко В.М.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Бабич Олександр Миколайович. Розробка конструкції малооб'ємної біогазової установки. *– Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В кваліфікаційній роботі на підставі проведеного аналізу стану існуючих методів утилізації та знезараження органічних відходів, технологічних схем існуючих біогазових установок та їх класифікацій, запропоновано уточнену класифікацію малооб'ємних біогазових установок з об'ємом реактора до 1 $м^3$.

Розроблено конструкційно-технологічну схему та виготовлено експериментальну малооб'ємну біогазову установку з нагрівачем та мішалкою, встановленою в реакторі. На основі інженерних розрахунків обґрунтовано основні конструктивно - технологічні параметри установки: висота реактора 4 м; діаметр реактора d = 0,3 м; мішалка рамного типу із частотою обертання 60 - 80 $хв^{-1}$; нагрівальний елемент з підтримкою робочої температури 55°С, при цьому забезпечується рівномірний розподіл метаноутворюючих бактерій у всьому об'ємі реактора і передача тепла субстрату, а також найбільший вихід біогазу.

Визначено енергетичну та економічну ефективність роботи малооб'ємної біогазової установки: кількість товарної електричної енергії 704 кВт·год на рік; обсяг субстрату, що переробляється 1300 кг на рік; кількість одержуваних високоякісних органічних добрив 1222 кг на рік; річний економічний ефект 15356 грн.; термін окупності 4,5 років.

Ключові слова: біогаз, установка, реактор,енергія, мішалка, субстрат.

ANNOTATION

Babych Oleksandr Mykolaiovych. Design development of a small-scale biogas plant. *– Qualification work on the rights of the manuscript*.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In the qualification work, based on the analysis of the state of the art of existing methods of utilisation and disinfection of organic waste, technological schemes of existing biogas plants and their classifications, a refined classification of small-scale biogas plants with a reactor volume of up to 1 m3 is proposed.

A design and technological scheme has been developed and an experimental small-scale biogas plant with a heater and a stirrer installed in the reactor has been manufactured. On the basis of engineering calculations, the main structural and technological parameters of the plant are substantiated: reactor height 4 m; reactor diameter d = 0.3 m; frame-type stirrer with a rotation speed of 60-80 min-1; heating element with a working temperature of 55°C, which ensures uniform distribution of methane-forming bacteria throughout the reactor and heat transfer to the substrate, as well as the highest biogas yield.

The energy and economic efficiency of the small-scale biogas plant was determined: the amount of marketable electricity is 704 kWh per year; the amount of substrate processed is 1300 kg per year; the amount of high-quality organic fertiliser produced is 1222 kg per year; the annual economic effect is 15356 UAH; the payback period is 4.5 years.

Keywords: biogas, plant, reactor, energy, stirrer, substrate.

ЗМІСТ

ВСТУП……..……..……5
РОЗДІЛ 1. БУДОВА, ПРИНЦИП РОБОТИ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК…….……..…9
РОЗДІЛ 2. БУДОВА МАЛООБЄМНОЇ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ…..……21
РОЗДІЛ 3. ЗАЛЕЖНІСТЬ ВИХОДУ БІОГАЗУ ВІД ВПЛИВУ РІЗНИХ ФАКТОРІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОПОНОВАНОЇ МАЛООБ'ЄМНОЇ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ…….……..……..….34
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……..…..……..…..…….43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……...……...……..44

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Нині дуже серйозно загострилися проблеми, що повязані з природними екологічними системами. Також необхідно приділяти пильну увагу розробці попереджувальних рішень при виробництві як продуктів харчування, так і всіх видів продукції. Значні витрати енергії у виробничих умовах, витрати різного виду палива призводить до збільшення забруднення природи. Проблеми, що загострилися, так званого «вуглецевого сліду», також дуже актуалізували пошук нових технологій і технологічних засобів на основі високоефективних та інноваційних матеріалів, робочих органів і т.п. розробка та створення нових, з енергетичної точки зору, чистих технологій та систем, що задовольняють потреби виробництва при мінімізації матеріальних витрат, залишається актуальним завданням.

Сьогодні відомі природні мінеральні ресурси, такі як вугілля, нафта і природний газ. Вугілля, нафта і природний газ, відомі як викопне паливо, беруться із покладів колись живих організмів, які були поховані під земною корою. Коли ці види палива спалюються, вуглець виділяється як вуглекислий газ. В результаті фотосинтезу вуглекислий газ поглинається рослинами і перетворюється знову на живу матерію. Цей вуглекислий газ створює глобальне потепління через парниковий ефект, який впливає на клімат.

Україна має величезний потенціал застосування нетрадиційних (альтернативних) джерел енергії з урахуванням використання біологічних відходів. В рамках даної роботи вивчено енергоефективні технології, їх інтеграцію в галузі агропромислового комплексу, можливі бар'єри на шляху розвитку, впровадження енергоефективних технологій, переробку органічних відходів сільського господарства та варіанти їх вирішення.

Однією з актуальних проблем при проектуванні, будівництві та експлуатації тваринницьких комплексів, невирішеними залишаються питання утилізації гною, його зберігання, знезараження, незважаючи на їхню високу

оснащеність засобами механізації та автоматизації, та забруднення ґрунту. Знезараження гною стоків, особливо зі свинокомплексів, перетворилося на серйозну проблему в масштабі всієї країни.

При впровадженні сучасних багатотоннажних виробництв у сільському господарстві виникли проблеми з видаленням та переробкою відходів, що залишаються після напування тварин та миття технологічного обладнання. До того ж, через недоліки установок напування і недотримання правил експлуатації напувалок в гнойові канали надходить чимала кількість води. Також на багатьох тваринницьких комплексах і до сьогодні для очищення приміщень гною застосовується змив за допомогою води. Розрідження гною водою є наслідком того, що гній як субстрат для отримання цінних органічних добрив стає непридатним, крім того, для перевезення необхідні спеціальні транспортні агрегати та експлуатаційні витрати. Для їх зберігання потрібно витрачати великі капіталовкладення на споруду гноєсховищ. До того ж, невчасне та неякісне прибирання гною призводить до погіршення мікроклімату та санітарного стану ферм, обумовлює зниження якості тваринницької продукції (особливо молока), створює сприятливе середовище для виникнення хвороб тварин. Способам ефективного вирішення проблем збирання та утилізації гною у фермерських господарствах, які запобігають завданню екологічних збитків та забезпечують отримання цінного екологічно чистого органічного добрива. Видалення гною зі стійл - найбільш трудомістка операція на тваринницьких фермах, що впливає на забезпечення необхідного мікроклімату, санітарний стан ферм, збереження здоров'я тварин та обслуговуючого персоналу.

Також, останніми роками особливо гостро стоїть проблема стічних вод не тільки у сільській місцевості, а й у міському середовищі.

Проблема утилізації гною вимагає негайного вирішення, ця проблема актуальна практично для кожної ферми чи комплексу і не залежить від поголів'я тварин. Ця проблема вирішується у цій роботі шляхом анаеробної переробки гною та гнойових мас. При цьому одержуємо високоякісні органічні добрива та

біогаз – газову суміш, що містить метан, вуглекислий газ, сірководень та інші гази з одночасним отриманням високоякісних органічних добрив. Анаеробна переробка вирішує не лише екологічну проблему, а й дозволяє отримати високоякісне органічне добриво.

Аналіз літературних джерел показав, що вихід добрив та біогазу в основному залежить від температурного режиму зброджування та складу субстрату. При цьому значну роль відіграє наявність пристрою для перемішування субстрату, як для руйнування кірки, що утворюється, так і для інтенсифікації процесу. Однак питання комплексних досліджень залежності виходу цільових продуктів від зазначених вище факторів проведено недостатньо і ці процеси недостатньо вивчені. Дослідниками недостатньо вивчено питання щодо застосування малооб'ємних біогазових установок у селянсько-фермерських та підсобних господарствах. Також не повністю розкрито вплив біологічних добавок та хімічних препаратів на ефективність процесу зброджування в реакторі біогазових установок.

Мета роботи – Підвищення ефективності анаеробної переробки органічних відходів сільського господарства на біогаз з одночасним отриманням високоякісних органічних добрив.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі завдання:

1. Провести аналіз технологічних схем малооб'ємних біогазових установок та розвинути класифікацію цих установок.

2. Розробити конструкційно–технологічну схему малооб'ємної біогазової установки з нагрівачем та мішалкою встановленою в реакторі.

Об'єкт дослідження малооб'ємна біогазова установка.

Предмет дослідження є закономірності процесу одержання біогазу та органічних добрив при мезофільному та термофільному режимах зброджування, а також при додаванні до субстрату хімічних препаратів та біологічних добавок.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Савченко В.М. **Бабич О.М.** Будова, принцип роботи та класифікація біогазових установок. *Збірник тез IX-ї всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*. м. Житомир, 5 квітня 2023 року. Житомир : ЖАТФК. С. 174-176.

2. Савченко В.М. **Бабич О.М.** Принцип дії малооб'ємної біогазової установки. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науковопедагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики.* 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. С. 11-14.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для аграрних підприємств України представляють розроблені рекомендації щодо застосування хімічного препарату та біологічної добавки у субстрат, при його переробці у малооб'ємній біогазовій установці.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 17 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 46 сторінок комп’ютерного тексту, містить 17 рисунків та 4 таблиці.

РОЗДІЛ 1
БУДОВА, ПРИНЦИП РОБОТИ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

Найпершу біогазову установку з відповідними документами було побудовано в Бомбеї (Індія) 1859 року. Надалі біогаз почали застосовувати для освітлення вулиць, наприклад в Англії. На початку XX століття було визначено бактерії, які зіграли найважливішу роль в отриманні біогазу.

У СРСР експерименти проводилися в 40-х роках минулого століття. У 1948-1954 рр. було винайдено і створено першу установку.

Також наприкінці XX століття в радянському Союзі зокрема з науки і техніки було розроблено програму розвитку біогазової установки. Запорізький конструкторсько-технологічний інститут сільськогосподарського машинобудування побудував 10 комплектів обладнання.

Свій внесок у вивчення утворення біогазу зробили й українські вчені.

Принцип отримання біогазу. Розглянемо, що ж таке являє собою сам біогаз. Так отримують два типи газу - біогаз і біоводень, бо його отримують різними бродіннями органічних відходів - водневими і метановими. Метанове бродіння відбувається завдяки розкладанню біологічної маси, у процесі якого беруть участь три види різноманітних бактерій, що складають замкнутий ланцюжок живлення, тобто поглинають продукти життєдіяльності попередніх - гідролізні, кислотоутворювальні та метаноутворювальні. Таким чином, біогаз виробляють не тільки метаноутворювальні бактерії (метагони).

Хоч мова в цій роботі йде про біогазові установки, слід згадати відмінності з виробництвом біоводню. При утворенні біологічного водню беруть участь також три види бактерій, але в підсумку вони утворюють не біогаз, а водень.

На рис. 1.1 показано приблизну схему установки для отримання реструктурованого гною, біогазу та когенераційної електричної енергії.

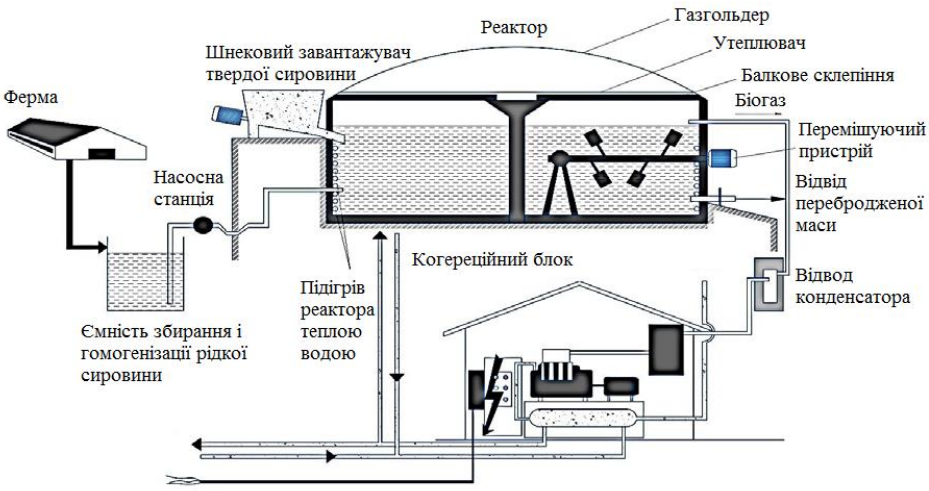

Рис. 1.1. Біогазова та когенераційна установка Біогазові установки бувають промислових і малих об'ємах. У промислових установках відмінним від малих є відсутність використання механізації, не завжди застосовується підігрів, гомогенізація та автоматизація. Особливо вживаний промисловий метод - анаеробне зброджування в метантанках.

Різке зростання споживання природного палива - вугілля, нафти і газу - останніми роками в усьому світі призводить до збільшення вартості традиційних енергоносіїв, тому багато країн стали активно використовувати альтернативні джерела електроенергії. До нетрадиційних видів насамперед належать сонячна, вітрова, геотермальна тощо.

Біопаливо, що отримується з органічних відходів, може замінити традиційне паливо і використовуватися у звичайних енергоустановках.

Для подальшого аналізу розглянемо біогазову установку кулястої форми. Реактор цієї біогазової установки являє собою герметичний резервуар (рис. 2) кулястої форми. Усередині реактора до верхньої частини прикріплена коаксіальна концентрична перегородка, що розділяє реактор на дві (зовнішня, зовнішня) камери зброджування. У верхній частині реактора розташована горловина для збору біогазу. У зовнішній камері встановлений патрубок через яку подаються розріджені органічні відходи, а у внутрішній камері зброджування встановлений патрубок для відведення отриманих біодобрив.

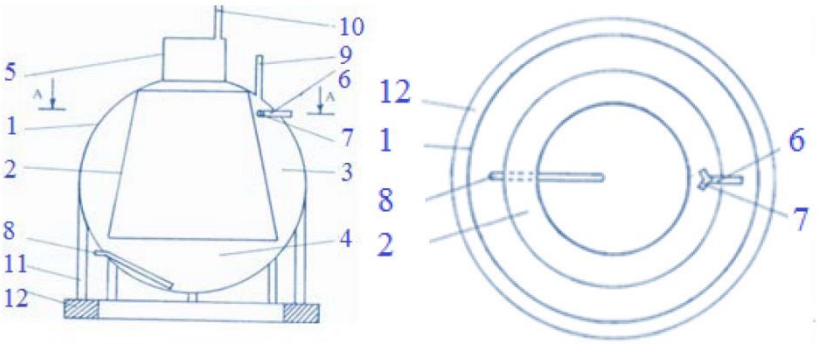

Рис. 1.2. Реактор: 1 – резервуар; 2 – концентрична перегародка; 3, 4 – камери зброджування; 5 – газозбірна горловина; 6 – патрубок; 7 – трійник; 8 – патрубок відводу збродженого субстрату; 9, 10 – біогазовідвідні патрубки; 11 – стійка реактора; 12 – підставка.

До реактора періодично подають органічні відходи за допомогою насосної станції або завантажувача. Відомо, що субстрат використовують як джерело енергії, а найпоширеніший спосіб отримання енергії - спалювання його. Таким чином, у сільській місцевості отримують до 15 % енергії. Це зумовлено наявністю низки переваг біомаси перед викопним паливом.

Під час спалювання субстрату, порівняно зі спалюванням вугілля, у навколишнє середовище виділяється в десятки разів менше сірки (до 20 разів) і набагато менше золи (до 5 разів). До того ж кількість вуглекислого газу, який виділяється під час переробки субстрату, за об'ємом дорівнює кількості вуглекислого газу, який поглинається під час фотосинтезу, що також показує перевагу субстрату.

Для ефективного використання енергії з органічних відходів вирощують спеціальні сільськогосподарські культури. Наприклад, для виробництва спирту - кукурудзу, сорго та інші. Не можна не відзначити органічні відходи, як поновлюване джерело енергії.

Також важливим є, і форма реакторів для отримання біогазу та біодобрив. Здебільшого реактор являє собою утеплений резервуар, який підігрівається з нагрівачем і перемішується з різними мішалками.

Залежно від конструкції реактора, ємність виготовляється зі скла, металу або їхньої комбінації. Відношення висоти реактора до діаметра лежить у межах 1.5...2.5. Реактори, які виготовляють у Європі, зазвичай витягнутіші, ніж ті, які виготовляють у США. Заповнення реактора близько 70%. Така частка робочого об'єму в ємності реактора. Вимоги до матеріалів ємності високі, щоб не відбулося уповільнення росту мікроорганізмів. Це ж стосується будь-яких інших частин (датчики, труби та ін.), що поміщаються всередину реактора. Для біогазових установок промислових зразків в якості реактора служать найчастіше залізобетонні або сталеві, а для малих установок використовують композиційні матеріали.

Низка авторів вважають, що біогазові технології поділяються на такі види реакторів: а) малої потужності (0,05 – 20 $м^3$, для фермерських господарств); б) середньої потужності (200 – 1000 $м^3$, для тваринницьких комплексів); в) великої потужності (1000 – 10000 $м^3$, на промислових заводах).

Завантаження перероблюваного субстрату можна завантажувати безперервно або періодично.

Устаткування біогазової установки має бути виконане і розміщене з дотриманням нормативних відстаней, наведених у "Єдиних вимогах безпеки та виробничої санітарії до конструкції технологічного обладнання та технологічного процесу утилізації гною".

Конструкції реакторів різні й відрізняються не тільки режимами завантаження субстрату, а й способами завантаження (рис. 1.2).

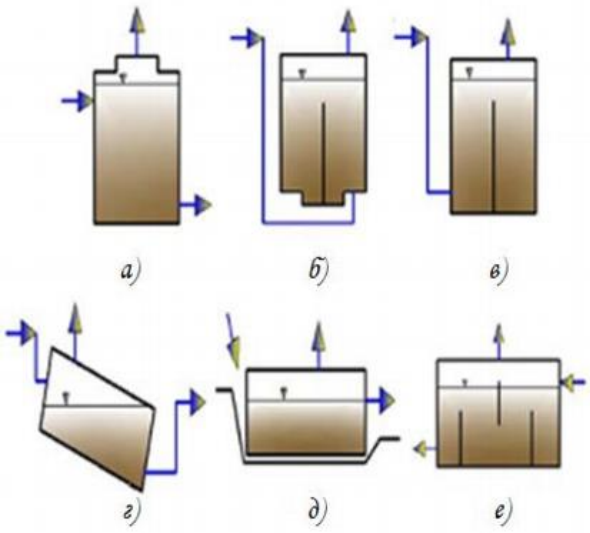

Рис. 1.3. Різні конструкції реакторів: а – циліндричний реактор із верхнім завантаженням; б – циліндричний реактор із нижнім завантаженням; в – циліндричний двосекційний реактор; г – похилий реактор; д – траншейний реактор із плаваючим покриттям; е – горизонтальний секційний реактор

У різних біогазових установках кількість реакторів може бути, як один, так і кілька. Для роботи біогазової установки цілий рік з отриманням біогазу і добрив він оснащується спеціальним нагрівальним елементом, який підігріватиме субстрат, що переробляється, а стінки його утеплюється особливим полімерним матеріалом. Верхня частина реактора обігрівається природним шляхом завдяки біогазу, що виділяється.

За психофільного температурного режиму температура в реакторі не повинна опускатися нижче 37º С. За цього режиму оптимальною є температура для бродіння від 37º до 45º С.

У роботі розглянуто біогазові установки малої потужності та наведено їх основні технічні характеристики.

Найбільше значення мають біогазові установки малої потужності. Проведений аналіз показав, що на сьогоднішній день переважно застосовуються реактори циліндричної форми. У більшості розглянутих біогазових установок є нагрівальний елемент. Деякі із них обладнані для водогрійних котлів.

Нами у процесі аналізу було розглянуто патенти біогазових установок з одним реактором. Розроблено побутовий реактор, що має циліндричний корпус з

теплоізоляційним матеріалом. Реактор цієї установки розділений перфорованими перегородками на чотири секційні камери бродіння. На побутовому реакторі для переробки органічних відходів встановлено завантажувальні та вивантажувальні патрубки, водяний затвор для відведення біогазу. Одним із недоліків побутового реактора це складність конструкції через поділи на чотири секції, що для малооб'ємних біогазових установок необов'язково. Розподіл реактора на секції не впливає на процес утворення біогазу та добрив. Також у реакторі відсутня мішалка, що могло б підвищити виробництво біогазу та скоротити тривалість бродіння.

Відомий біореактор з корпусом із сталевої ємності, також розділений перегородками на кілька секцій. До недоліків даного біореактора відноситься складність конструкції та низький ступінь ефективності змішування.

Відомий біореактор складається з вертикального циліндричного герметичного резервуара з усіченим конусним днищем та сферичним куполом. Через відсутність перемішуючого пристрою не забезпечується повне зброджування субстрату і уповільнюється швидкість виходу біогазу, тим самим утворюється кірка у верхній частині біореактора.

Для аналізу розглянемо міні-заводи: "БУГ-1", "БУГ-3", "БУГ-М", "БУГ-МР", "БУГ-Р".

Міні-завод «БУГ-1» складається з реактора об'ємом 6 м^3, газгольдера об'ємом 2 м^3, ванни для підготовки субстрату та резервуару для збору біодобрив, а для перекачування субстрату є фекальний насос із рукавом. Міні-завод «БУГ-1» працює в такий спосіб. У реактор «БУГ-1» фекальним насосом перекачується 6 м^3 субстрату (гною), вологістю 85%, води, змішаних у пропорції 1:1. У реакторі автоматично підтримується температура +50°С. Чотири рази на добу на 15 хвилин автоматично вмикається пристрій, що перемішує.

Міні-завод «БУГ-3» складається з реактора об'ємом 12 м^3, газгольдера об'ємом 2 м^3, ванни для підготовки субстрату, резервуару для збирання біодобрив та фекального насоса з рукавом.

Індивідуальна біогазова установка (ІБГУ-1)

ІБГУ-1 має контрольно-вимірювальні прилади, які встановлені на реактори: датчик контролю рівня субстрату, датчик контролю температури і датчик тиску всередині реактора.

Органічні відходи збираються у спеціальній ємності. Залежно від типу ІБГУ-1 розмір ємності, призначений для збирання гною, повинен відповідати добовому або подвійному добовому обсягу відходів. Місткість використовується для досягнення потрібної однорідності та вологості, іноді із застосуванням механічних пристроїв, що перемішують.

На рис. 1.4 показано індивідуальну біогазову установку ІБГУ-1.

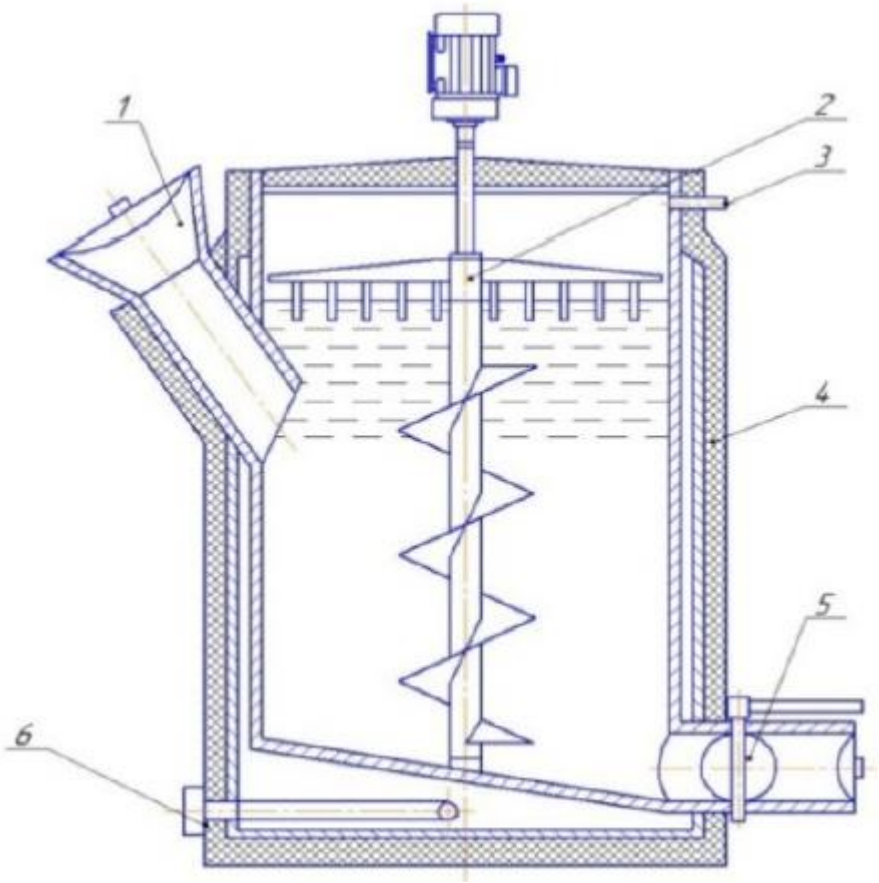

Рис. 1.4. Індивідуальна біогазова установка ІБГУ-1: 1 – патрубок для завантаження; 2 – мішалка; 3 – патрубок відведення біогазу; 4 – теплоізоляційний матеріал; 5 – механізм видалення біодобрив; 6 – термометр.

Патрубки для завантаження та вивантаження ведуть прямо в реактор і розташовуються, як правило, на протилежних кінцях реактора для рівномірного розподілу свіжого гною по всьому об’єму реактора та ефективності видалення отриманого добрива. Продуктивність ІБГУ-1 з вироблення кг екологічно чистих органічних добрив від 100 до 300 кг і перетворити 3 – 12 м^3 біогазу на добу.

Біореактор – метантенк та газгольдер теплоелектростанції АБЕУ-20

На рис. 1.5 показаний біореактор – метантенк та газгольдер теплоелектростанції АБЕУ-20.

Рис. 1.5. Біореактор-метантенк та газгольдер теплоелектростанції АБЕУ-20

Раціональним способом збирання біогазу більшою мірою залежить від того, для яких цілей буде використаний біогаз.

Пересувна універсальна 16іогазові установка.

Установка (рис. 1.6) працює наступним чином: субстрат (гній) відповідної щільності і вологості, що переробляється, завантажується через воронку одночасно з сумішшю соломи подається у верхню частину камери. Камера розділена по вертикалі полицями, що обертаються навколо своєї осі. Підігрівається рідкий гній, який сприяє утворенню біогазу, який трубою перекачується в газгольдер. Перероблений субстрат перетворюється на біодобрива, яке видаляється через вивантажувальний патрубок. Перемішування

перероблюваного субстрату в біореакторі забезпечується завдяки дна, що обертається. Органічне біодобриво, що виходить внаслідок обробки гною анаеробним способом, видаляється примусово за допомогою шнека. Для вимірювання температури та підтримки процесів у біореакторі встановлено кілька термометрів.

Приймач субстрату знаходиться під землею, виконаний із листової сталі. Приймач обладнаний знімною корзиною з металевої сітки, що запобігає потраплянню до приймача великих включень, що порушують роботу фекального насоса.

Перемішування субстрату можна здійснити механічним способом, вручну або від двигуна.

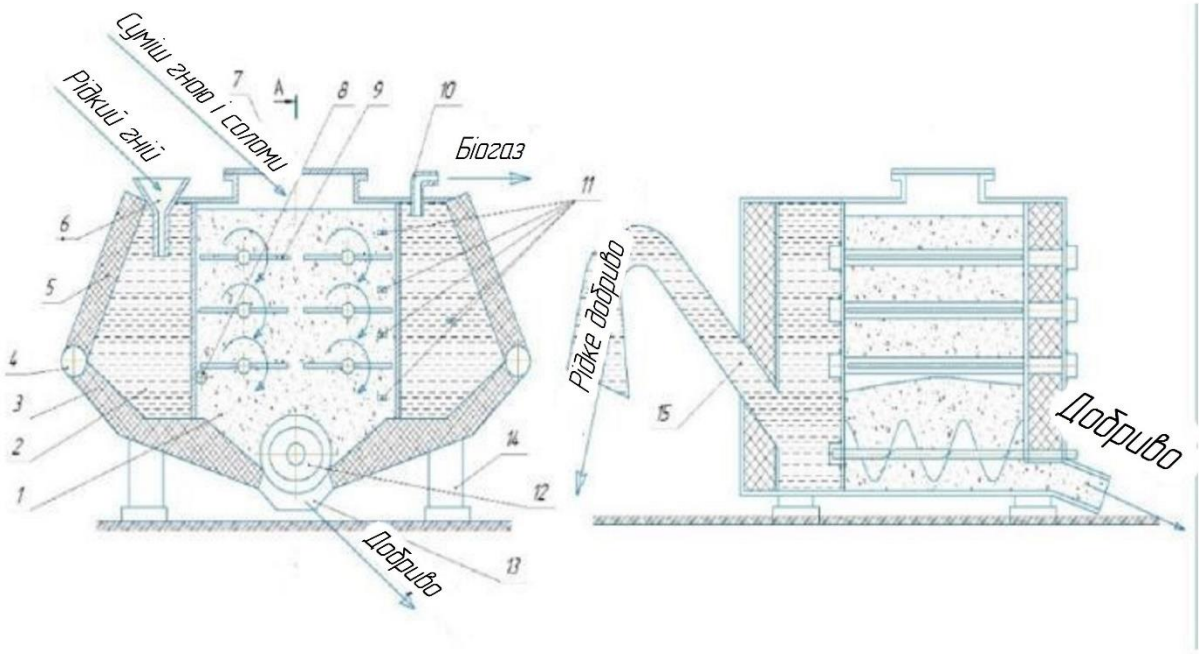

Рис. 1.6. Схема пересувної універсальної біогазової установки: 1, 2 – камери бродіння; 3 – теплоізоляційне покриття; 4 – шарнір; 5 – ізоляційні шари; 6 – завантажувальна вирва; 7 – завантажувальна горловина; 8 – розділяючі полиці; 9 – обертове дно; 10 – газовідвідний патрубок; 11 – термометр; 12,13 – шнек; 14 – стійка реактора; 15 – патрубок з краном для вивантаження переробленої маси.

Для уникнення втрати тепла в біореакторі і щоб забезпечити стійкість процесу газоутворення, поверхня біогазової установки ізольована теплоізоляційним матеріалом. Для підігріву субстрату, що переробляється, установка використовує енергію сонця, сонячні промені нагрівають поверхню реактора тим самим підігрівається субстрат і починається процес бродіння утворюючи біогаз.

Класифікація біогазових установок, що застосовуються у сільському господарстві. Існуючі біогазові установки розрізняються за методом завантаження субстрату, на вигляд і т. п.

За методом завантаження субстрату - порційне та безперервне завантаження. Найкращим є установки безперервного завантаження.

Біогазові установки поділяються на промислові та малі. У промислових установках використовують системи механізації та автоматизації, а також системи підігріву тощо.

Біогазові установки також різняться і в залежності від способу накопичення та зберігання. Газ може збиратися у верхній частині установки, під куполом або у спеціальному газгольдері.

Розроблена нами та представлена на рис. 1.7 класифікація дозволяє аналізувати існуючі методи та особливості конструкторсько-технічних рішень біогазових установок.

Класифікацію біогазових установок ми розділили на чотири основні категорії: «технологія отримання біогазу»; «принцип застосування біогазу»; «сировина, що використовується»; «принцип застосування переробленої маси».

У категорію «технологія отримання біогазу» додано новий спосіб підігріву з подачею гарячого повітря на основі отриманого патенту на корисну модель.

У літературі не наводиться застосування каталізаторів як сировини для біогазових установок. В результаті проведених досліджень, виявлено дію органічних та хімічних добавок на вихід біогазу та біодобрив. У зв'язку з цим

категорія «сировина, що використовується» уточнена застосуванням біологічно активних добавок (БАД).

Перероблена маса зазвичай використовується як органічне добриво для прямого внесення у ґрунт. Якщо в біогазовій установці переробити харчові відходи, зелену масу або відходи сільськогосподарських угідь, то масу можна застосовувати як кормові добавки для тварин. Виходячи з цього, нами розвинена категорія «принцип застосування переробленої маси» з поділом цієї категорії на «внесення в ґрунт» і як «кормові добавки».

Проведено аналіз складу субстрату, що переробляється, визначено фактори та параметри, що сприяють підвищенню вироблення біогазу та органічних добрив. На підставі проведеного аналізу стану існуючих методів утилізації та знезараження органічних відходів, технологічних схем існуючих біогазових установок та їх класифікацій, розглянуто питання класифікації малооб'ємних біогазових установок.

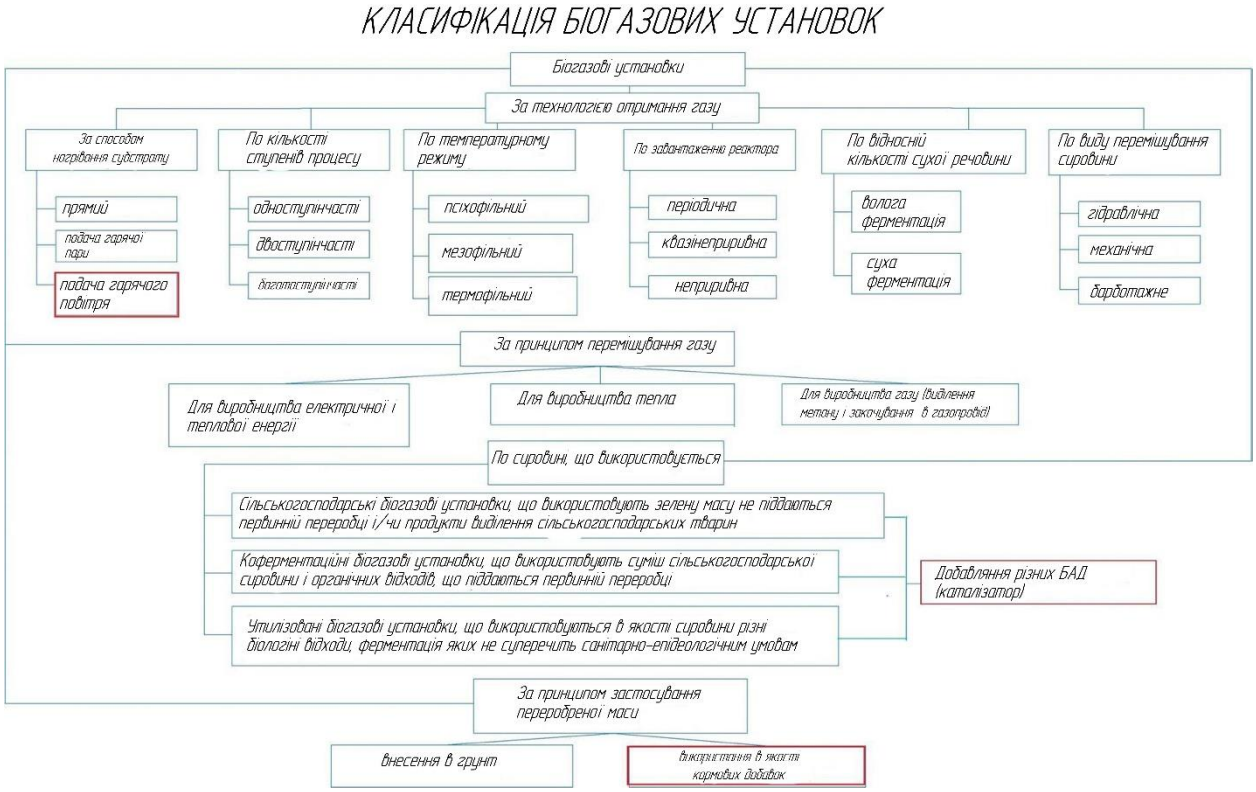

Рис. 1.7. Класифікація біогазових установок

Висновки по розділу

Таким чином, розроблено уточнену класифікацію із застосуванням запропонованої нами установки для переробки органічних відходів рослинництва та тваринництва.

РОЗДІЛ 2
БУДОВА МАЛООБЄМНОЇ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

2.1. Склад обладнання малооб'ємної біогазової установки

На сьогоднішній день є велика різноманітність біогазових установок. Усі відомі біогазові установки схожі за своєю будовою. Біогазові установки можуть працювати цілий рік, практично скрізь, де є доступна біомаса або органічні відходи.

Сьогодні переважно в Україні випускаються різні біогазові установки, але переважно, які працюють у мезофільном температурному режимі.

Нині створюється багато малих фермерських підприємств, у яких має місце застосування цієї конструкції, так як вона складається з нескладних деталей та вузлів. Порівняно не дорога і не потребує додаткового налаштування. Аналізуючи літературні джерела та зарубіжний досвід конструювання біогазових установок розроблено конструкцію малооб'ємної біогазової установки, на якій провели дослідження (рис. 2.1).

Рис. 2.1. Загальний вид малооб'ємної біогазової установки

Головними частинами установки є: реактор (інша назва – біореактор, метантенк, ферментатор); мішалка; нагрівальний елемент; датчики; газгольдер; лічильник газу; компресор; фільтр; прилади контролю; пальник; малий газгольдер (водяний затвор) та інші.

Комплектацію малооб'ємної біогазової установки наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Комплектація малооб'ємної біогазової установки

№ п/п	Найменування обладнання малооб'ємної біогазової установки	Кількість
	Устаткування	
1	Реактор із нержавіючої сталі	1
2	Пальник	1
3	Силовий щит ВРУ	1
4	Водяний затвор; малий газгольдер	1
5	Газгольдер	1
6	Нагрівальний елемент	1
	Прилади КИПа та автоматики	
7	Модуль регулювання температури	1
8	Розподільний щит управління з елементами автоматики	1
9	Датчики температури тиску, манометри, термометри, термостати	По 1
	Вузли обліку	
10	Облік газу (газовий лічильник)	1
11	Облік електроенергії	1
12	Трубопроводи, теплоізоляція, кріплення	1

На рис. 2.2 показано деякі елементи малооб'ємної біогазової установки.

а) компресор

б) газгольдер

в) фільтр-очисник

г) програматор ОВЭН ПР 110

д) водяний затвор

е) електроконтактний манометр

Рис. 2.2. Деякі елементи малооб'ємної біогазової установки

На рис. 2.3 схематично показано малооб'ємну біогазову установку (схеми а, б, в).

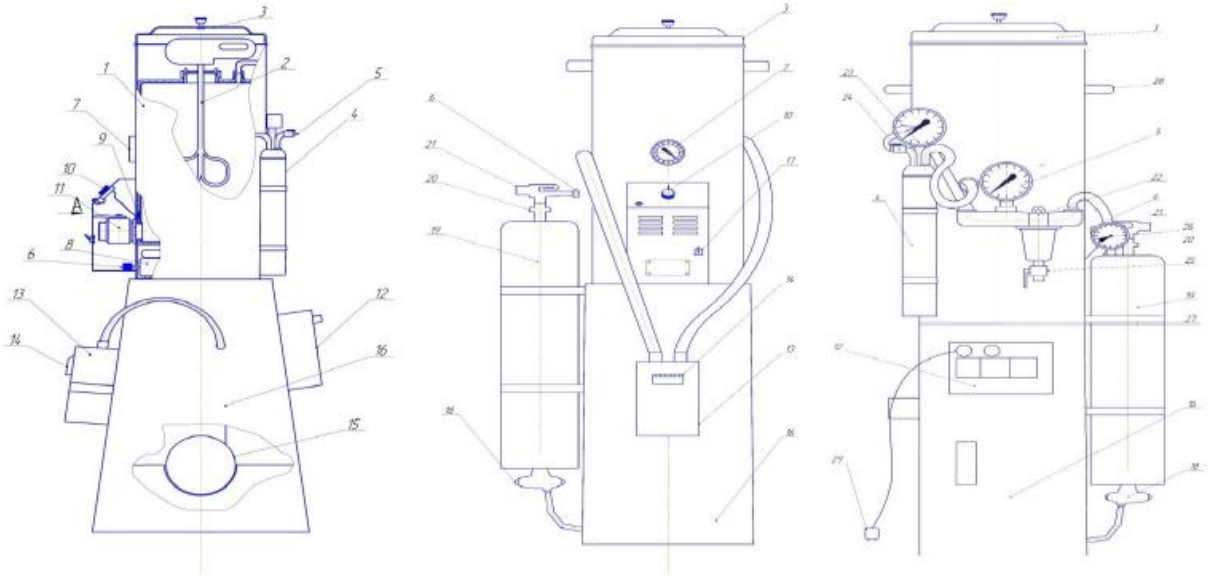

Рис. 2.3. Схема малооб'ємної біогазової установки: а – вид у розрізі, б – вид із боку запуску реактора, в – загальний вигляд1 – реактор; 2 – мішалка; 3 – кришка; 4 – малий газгольдер (водяний затвор); 5 – манометр; 6 – кран пальника; 7 – термометр; 8 – нагрівальний елемент; 9 – термопара; 10 – регулятор температури у реакторі; 11 – зливальний кран субстрату; 12 – програматор; 13 – лічильник біогазу; 14 – показники лічильника біогазу; 15 – компресор; 16 – підставка реактора; 17 – перемикач живлення; 18 – регулятор тиску; 19 – газгольдер; 20 – випускний кран газгольдера; 21 – пальник; 22 – відстійник-фільтр; 23 – електроконтактний манометр; 24 – кран водяного затвору; 25 – зливний кран відстійник - фільтра; 26 – манометр газгольдера; 27 – тримач газгольдера; 28 – ручка реактора; 29 – вилка електрична.

Конструкція малооб'ємної біогазової установки передбачає максимальне використання стандартних деталей і вузлів, які виробляються в багатьох країнах. При цьому складові виготовляються з сучасних матеріалів, що характеризуються хімічною стійкістю, і малою вагою, що забезпечують необхідну термоізоляцію.

Рама в цій установці має трапецієподібну форму. Газовий лічильник фіксує обсяг виробленого продукту, манометр визначає його тиск.

Ми пропонуємо застосувати малооб'ємну біогазову установку з реактором малого обсягу до 1 м^3. Перевагою подібних установок є те, що вони працюють у

різних режимах, включаючи мезофільний та термофільний, більше того, їхня робота простіше піддається точній автоматизації.

Підготовча ємність

Така ємність призначена для підготовки та збору органічних відходів, які надалі будуть завантажені до реактора біогазової установки для переробки. Якість збору субстрату залежить не тільни як на ефективність, а й взагалі на роботу біогазової установки. Однак, оскільки йдеться про малооб'ємні біогазові установки, то з метою зменшення вартості можна відмовитися від підготовчої ємності та використовувати для цього будь-яку ємність, де можна змішувати субстрат із різними органічними та хімічними добавками. Після підготовки субстрату малооб'ємна біогазова установка заправляється за допомогою спеціального насоса, перекачуючи субстрат в реактор.

Перед закладкою субстрату в підготовчу ємність воно обов'язково фільтрується для видалення каміння, скла та будь-яких інших великих фрагментів, які можуть засмітити стоки.

Насос для завантаження в реактор

Він призначений для автоматизованого (за розкладом) завантаження порцій субстрату в реактор. Для закачування субстрату в реактор застосовується занурювальний насос, бажано з ріжучими ножами.

Утеплений реактор з нержавіючої сталі

Як реактор використовується металевий циліндр відповідних розмірів, що випускається для промисловості. Він покривається спеціальним багатошаровим покриттям, яке захищає від усіх типів тепловтрат. Реактор обладнаний системою завантаження та системою вивантаження. Постійну температуру субстрату в реакторі забезпечує нагрівальний елемент, керований блоком автоматики. Періодичне перемішування субстрату в реакторі забезпечує мішалка, яка також автоматично вмикається і вимикається.

Розроблений нами реактор біогазової установки являє собою термос, тобто має зовнішню та внутрішню стінку та утеплювач між ними. У реальних умовах

має бути вакуум, але зробити такий реактор трудомістким, але система утеплення реактора має будуватися за подібним принципом.

Реактор встановлений на досить тверду, але із гарною термоізоляцією, підставку. Найпростішим матеріалом для такої підставки є металевий куб.

Верхня частина реактора автоматично утеплена шаром повітря, що знаходиться у ній. Тим не менш, верхня частина реактора також утеплена так само, як і стінки, оскільки основні тепловтрати йдуть у верхньому напрямку.

Таким чином, ми отримуємо, що утеплення реактора повинно бути повітряним шаром або шаром з пористого матеріалу і зовнішньою стінкою, що відображає тепло всередину і забезпечує герметичність повітряного шару.

Нагрівальний елемент біогазової установки

Базовим типом обігріву реактора є електричний, який здійснюється за допомогою теплоелектронагрівача (ТЕН). Влітку нагрівачі майже не включаються. Нагрівальний елемент нашої малооб'ємної біогазової установки вмонтовано у нижній частині стінки реактора. Особливий спосіб монтажу, хороша теплопровідність субстрату та постійний контроль температури автоматикою унеможливлюють розплавлення нагрівального елемента та інших полімерних матеріалів біогазової установки. Такий спосіб монтажу електричної системи підігріву є найдешевшим і забезпечує найвищий ККД. Для забезпечення рівномірності нагріву субстрату нагрів включаються синхронно з пристроєм перемішування.

Для створення мезофільного або термофільного режиму в 36, 55º С включається живлення нагрівального елемента шляхом включення мережі в 220 В. При досягненні призначеної температури терморегулятор вимикає нагрівальний елемент від мережі, а при зменшенні необхідної температури - включає.

Система перемішування субстрату в реакторі

Система перемішування є електродвигуном з рамною мішалкою необхідним діаметром і кроком. Ця система встановлюється всередині реактора

таким чином, щоб забезпечити рух усієї маси субстрату, що знаходиться в реакторі.

Розташування мішалки в реакторі полегшує завдання регулювання напрямку струменя перемішування оптимальним чином, щоб струмінь закручувався по висхідній спіралі вздовж вертикальних стінок реактора.

Блок автоматики

Ідеальний варіант блоку автоматики - це комп'ютер із платами введення аналогової інформації та виведення сигналів, що управляють. Це рішення найгнучкіше, але й найдорожче, враховуючи ціни на плати, датчики, виконавчі пристрої та програмне забезпечення промислової автоматики.

Для малих та середніх установок ми застосовуємо набір стандартних недорогих контролерів: таймер, термоконтролер тощо. В результаті блок автоматики виходить недорогим та простим в управлінні.

Блок автоматики нашої малооб'ємної біогазової установки виконаний із сучасних промислових контролерів керування техпроцесами. Він забезпечує можливість перепрограмування техпроцесу для підбору оптимальних параметрів анаеробного бродіння.

Після проведеного аналізу ринку компонентів систем автоматики для створення біогазової установки вибрали засоби автоматизації ОВЕН. Основу блоку управління складає контролер ОВЕН ПР110, що володіє широкими можливостями програмування та привабливою ціною. Застосування ПР110 дозволяє збільшувати продуктивність установки та за необхідності інтегрувати блок управління верхнього рівня. Система управління технологічним процесом малооб'ємної біогазової установки наведено на рис. 2.4.

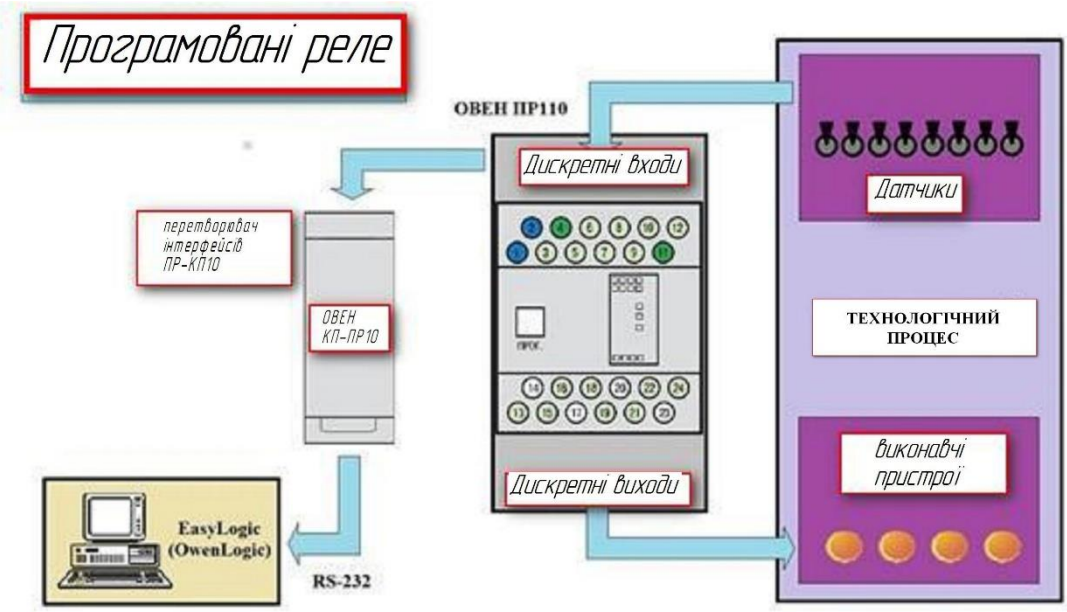

Рис. 2.4. Схема роботи автоматичної комп'ютерно-моніторингової системи

Автоматизація в утилізації та переробки органічних відходів сільського господарства є одним із напрямків технічного прогресу. Тут застосовуються саморегулюючі елементи, які звільняють людину від участі у процесах отримання енергії та інформації. Тим самим істотно зменшується ступінь та трудомісткість операцій.

У малооб'ємній біогазовій установці, на основі сигналів, що надійшли від датчиків програматора формуються управляючі сигнали на виконавчі механізми (компресор, насос, мішалка, нагрівальний елемент). Температуру субстрату в реакторі вимірює термопара. Нагрів субстрату до необхідної температури (55°C) здійснює нагрівальний елемент. Під час перемішування субстрат витримується протягом одного дня. При перебігу реакції на перший день виділяється вуглекислий газ (CO_2), який необхідно видаляти. Після цього починається анаеробний процес зброджування органічних відходів з одержанням метану. Виділення біогазу йде у безперервному режимі до завершення циклу.

2.2. Принцип дії малооб'ємної біогазової установки установка

Розроблена малооб'ємна біогазова установка працює таким чином (рис. 2.5). Алгоритм роботи електричного кола наведено на рис. 2.6.

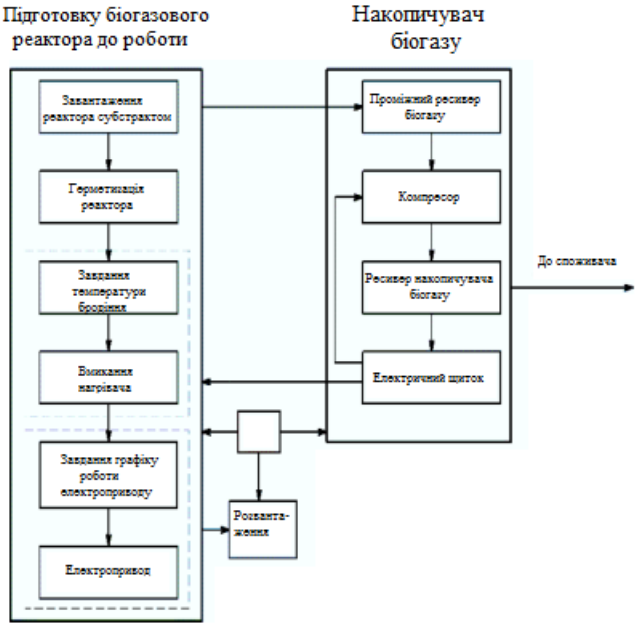

Рис. 2.5. Технологічний процес отримання біогазу.

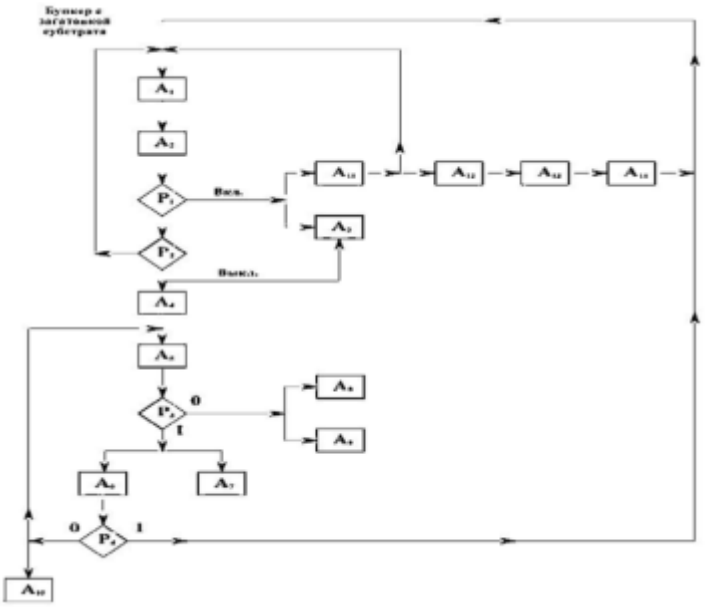

Рис. 2.6. Алгоритм роботи електричного кола біогазової установки: A_1 - електрична засувка (клапан) завантаження реактора субстратом; A_2 - електричний насос для завантаження реактора субстратом; A_3 - електричний клапан для випуску (травлення) повітря і залишків газу з реактора під час

завантаження реактора субстратом; P_1 - датчик нижнього рівня субстрату в реакторі (субстрат відсутній у реакторі); P_2 - датчик верхнього рівня субстрату в реакторі (реактор заправлений (заповнений) субстратом); A_4 - електропривод змішування шарів субстрату; A_5 - пристрій підігріву субстрату; P_3 - тиск газу в проміжному ресивері; A_6 - електричний клапан Магістралі "проміжний ресивер-ресивер накопичувач" увімкнено через клапан (магістраль готова до транспортування газу з проміжного ресивера у ресивер накопичувач); A_7 - увімкнення компресора в роботу (газ транспортується з проміжного ресивера в накопичувач); A_8 - електричний клапан магістралі "проміжний ресивер-ресивер накопичувач" вимкнений (магістраль перекрита (закрита)); A_9 - вимкнення компресора (газ не транспортується з проміжного ресивера); Р4 - тиск у накопичувальному ресивері менше заданого (небезпечного); A_{10} - увімкнення оптичної та звукової сигналізації; A_{11} - таймер відліку часу ($t_П$) активності бродіння заданого об'єму субстрату; A_{12} - увімкнення електропривода люка нижньої частини реактора (відкривання люка для звільнення реактора від відпрацьованого субстрату); A_{13} - увімкнення електричного клапана подачі води у водяний розпилювач (змив відпрацьованого субстрату з реактора);
A_{14} - увімкнення електроприводу люка нижньої частини реактора (закривання).

Перед початком експерименту готується субстрат. Після цього він завантажується в реактор. Завантаження органічних відходів можливе як зверху реактора вручну, так і через зливний кран за допомогою насоса автоматично. Підключається установка до електричної мережі 220 v. Під час експерименту необхідно підтримувати потрібну нам температуру. Накопичення біогазу здійснюється в реакторі і через водяний затвор надходить у малий газгольдер, накопичуючись у ньому. Вода перешкоджає зворотному проникненню газу в реактор. Наявність газових бульбашок у водяному затворі свідчить про процес газоутворення.

Обсяг одержуваного газу вимірюється газовим лічильником і за допомогою компресора примусово через фільтр-очищувач перекачується на

газгольдер. Одночасно за допомогою тихохідного компресора з ємності реактора видаляється повітря і встановлюється анаеробне середовище. Безпека роботи забезпечується запобіжним клапаном. Безперервний процес горіння свідчить про оптимальний перебіг процесу утилізації органічних відходів. Органічні відходи, що надходять на переробку в реактор, зважуються на електронних вагах, і перемішуються в ємності з теплою водою.

Видалення відпрацьованого субстрату з отриманого добрива здійснюється через випускний патрубок Ø 50 мм з краном 11 у відкритому вигляді кришки реактора.

У даному технологічному процесі за термофільного режиму зброджування субстрат у реакторі витримується протягом 7 - 14 діб, а за мезофільного режиму зброджування субстрат у реакторі витримується 20 - 24 доби.

Такі самі експерименти проводилися на основі гною ВРХ, свині та коня за термофільного та мезофільного режимів зброджування.

У деяких випадках замість тирси додавали подрібнену солому.

Проводили досліди без перемішування субстрату в біореакторі. Отримані результати показано у вигляді графіків у четвертому розділі дисертації.

Функціональне призначення малооб'ємної біогазової установки 1. Виробництво рідких органічних біодобрив в обсягах, що приблизно дорівнюють обсягам завантаження сировини в період повного бродіння. 2. Виробництво біогазу (65…75% метану).

Технологія переробки відходів із застосуванням малооб'ємної біогазової установки дає можливість отримувати біогаз і мінералізовані органічні добрива.

Отримані високоякісні органічні добрива - універсальні. Таке добриво можна застосовувати під різні культури та на різних ґрунтах. Застосувавши отримане добриво для вирощуваних культур, можна досягти, підвищення врожайності на 20…30 %, ніж без них, і на 5…20 % вище, ніж з використанням мінеральних добрив.

Іншим продуктом малооб'ємної біогазової установки є біогаз.

Оскільки в малооб'ємній біогазовій установці за добу виробляється досить мало біогазу, то реальних способів його застосування небагато. Це самоутримання, обігрів приміщень чи теплиць і приготування їжі.

Для біогазу можна застосовувати звичайні побутові газові прилади без змін конструкцій. Вони безвідмовно функціонують і на біогазі.

Типи вихідної сировини для малооб'ємної біогазової установки 1. Гній ВРХ, свиней, овець, коней та інших тварин (гнойова рідина).

Гній являє собою суміш підстилки з твердими та рідкими виділеннями тварин. Гнойова рідина містить 0,2 % азоту, 0,5 % калію і 0,1 % фосфору. 2. Пташиний послід (з обмеженнями).

Кількість і властивість посліду залежать від виду, віку птиці, умов її утримання та якості корму. Крім того, вихід і склад посліду визначаються системою видалення посліду, гідрологічною характеристикою місця прив'язки птахоферм, якістю будівельних робіт і культурністю виробництва.

У посліді гусей і качок, які харчуються більш водянистим кормом, міститься менше поживних речовин і більше води, ніж у посліді курей. У середньому на рік вихід сухого пташиного посліду від курки 5-6 кг, від качки – 7…8 кг, від гуски – 10…11 кг.

Для підстилки використовують солому або тирсу. Вологість (під час розрахунків) свіжого посліду курей та індиків 75...76%, качок і гусей – 83...85%. 3. Стоки туалету (з обмеженнями). 4. Харчові відходи кухні (з обмеженнями). 5. Рослинна маса (з обмеженнями).

Зелене добриво (сидерація). Зелене добриво, або сидерація, застосовується для збагачення ґрунту органічною речовиною та азотом. Для цих цілей вирощують рослини - сидерати з родини бобових - люпин, буркун, сераделлу, чину, коске боби тощо. Бобові рослини здатні використовувати азот повітря і завдяки глибоко проникаючій кореневій системі - елементи зольного живлення з глибоких шарів ґрунту. Азотне добриво під сидерати не вносять, але фосфорні та

калійні добрива рекомендується застосовувати під глибоку оранку в дозі 60…120 кг P_2O_5 і K_2O на 1 га.

Кукурудза дуже вимоглива до реакції середовища та родючості ґрунту.

Добре росте за pH 6…7 на чорноземах, темно-сірих, темно-каштанових, а також при заплавних дерново-карбонатних ґрунтах.

Віддає перевагу ґрунтам легкого механічного складу. Кукурудза - рослина посухостійка, чутлива до концентрації ґрунтового розчину. 6. Відходи бійні (крім кісток).

Основним обмеженням для всіх типів сировини є розмір фрагментів сировини. Вони не повинні перевищувати в лінійних розмірах 1…2 см. За більших розмірів відбуватиметься засмічення трубопроводів і заклинювання мішалки. Тому всі відходи мають бути подрібнені перед завантаженням у біогазову установку.

Високопоживні відходи, такі як пташиний послід, зелена рослинна маса (конюшина, силос) повинні завантажуватися в суміші з гноєм ВРХ. Застосування таких типів субстрату в чистому вигляді вимагає іншого технологічного процесу та іншої конструкції біогазової установки.

Жири повинні використовуватися тільки як добавка до основного субстрату, хоча вони дають дуже великий вихід біогазу. У стоках туалету не повинні міститися синтетичні мийні речовини, що пригнічують життєдіяльність бактерій.

Застосовуваний гній і послід мають бути свіжими. Харчові відходи кухні та відходи бійні мають бути свіжими, або мають бути піддані пастеризації перед завантаженням у реактор.

РОЗДІЛ 3
ЗАЛЕЖНІСТЬ ВИХОДУ БІОГАЗУ ВІД ВПЛИВУ РІЗНИХ ФАКТОРІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОПОНОВАНОЇ МАЛООБ'ЄМНОЇ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

Для оцінки виходу біогазу з додаванням зерна кукурудзи в гній ВРХ провели натурні експерименти. Результати показані графічно (рис. 3.2). Перед початком експерименту було підготовлено субстрат. Для цього було взято гній ВРХ розбавлений водою. У нього додали подрібнених зерен кукурудзи та перемішували. На рис. 3.1 а, б видно, що на дробарці подрібнювали качани кукурудзи та концентрати перемішували у підготовчій ємності з водою. Після цього субстрат завантажувався у реактор.

а) подрібнювач, подрібнена маса кукурудзи

б) підготовча ємність

Рис. 3.1. а, б. Заготівля субстрату для завантаження в реактор

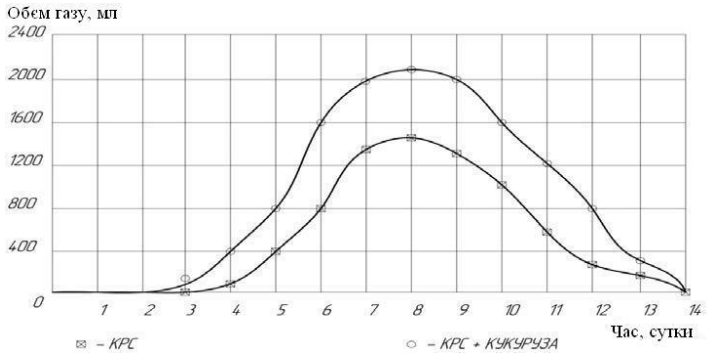

Рис. 3.2. Залежність виходу біогазу з гною ВРХ та гною ВРХ з додаванням зерен кукурудзи

Аналіз даних випробувань біогазової установки показує, що вихід біогазу збільшується при додаванні подрібнених зерен кукурудзи в гній. Дослідження залежності витрати біогазу при встановленні факельного пальника показали, що горіння здійснюється стабільно.

Застосування препарату Мефосфон для прискорення процесу виходу біогазу та дозрівання органічних відходів

В основу технологічного процесу зниження класу небезпеки відходів тваринництва з отриманням добрива під впливом біологічно-активного препарату «Мефосфон» покладено доведену властивість препарату активізувати аборигенну мікрофлору відходів тваринництва та прискорювати перебіг процесів ферментації/компостування.

Для виявлення впливу препарату Мефосфон на вихід біогазу та отримання біодобрив проводили декілька експериментів. Вплив препарату Мефосфон на процес анаеробного зброджування екскрементів корови із підсобного особистого господарства було досліджено при концентрації 10–4 г/л. Дози препарату, що вноситься, визначалися згідно з Технологічним регламентом і за результатами попередньо проведених експериментів. Під час випробувань вели контроль за підтримкою температури субстрату, визначали рівень запаху випробуваного субстрату, початкову та кінцеву вологість екскрементів корови та наявність патогенної мікрофлори в отриманому продукті. Дослідження проводилися при термофільному режимі зброджування за допомогою робочої температури 55°С з використанням наступних субстратів: експеримент 1, екскременти корови 30 л (вологість 84,4%); експеримент 2, екскременти корови 30 л (вологість 85%) з додаванням 10-4 г/л препарату Мефосфон. У цьому технологічному процесі при термофільному режимі зброджування субстрат у біореакторі в анаеробних умовах витримувався протягом 10 діб, а при додаванні препарату Мефосфон субстрат у біореакторі витримувався 7 діб.

Результати експериментів представлені на рис. 3.3.

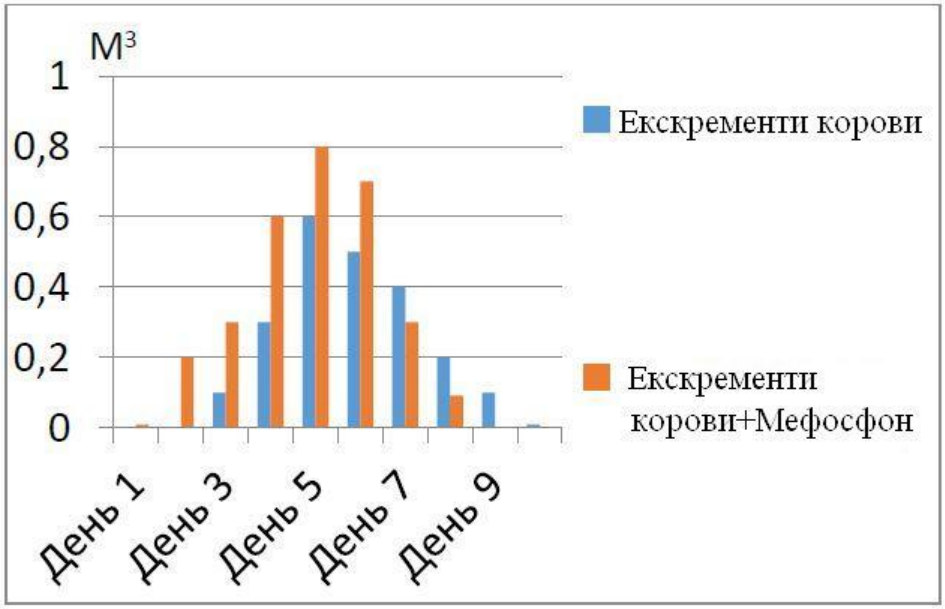

Рис. 3.3. Кінетика утворення біогазу

Аналіз діаграми (рис. 3.3) показує, що у субстраті з препаратом Мефосфон максимальний вихід біогазу – 0,8 м^3, газовиділення спостерігається до 7 дня. Вміст метану (CH_4) становить близько 65%. Грунтуючись на результатах проведених випробувань, можна відзначити, що виділення біогазу без додавання препарату Мефосфон починається в середньому на 2 - 3 день, а при додаванні його до субстрату виділення починається у 1-2 день. Це залежить насамперед від складу вихідного субстрату, від співвідношення білків, жирів та вуглеводів, які містяться в субстраті.

У реакторі йде унікальний процес зброджування (переробка екскрементів корови за допомогою бактерій). При додаванні до субстрату препарату Мефосфон підвищується концентрація біомаси цих бактерій, а також продуктів їхньої життєдіяльності. Перероблене в МБУ біодобрив набуває нових властивостей. До його складу входять всі компоненти (амінокислоти, фосфор, азот, калій, макро- та мікроелементи), які сприяють нормальному зростанню та розвитку рослини. При внесенні біоорганічного добрива в ґрунт, анаеробні бактерії сприяють азотофіксації та амоніфікації, тим самим допомагають рослинам асимілювати азот. Все це покращує склад та структуру ґрунту, підвищує врожайність та скорочує час дозрівання.

Проведений мікробіологічний аналіз експериментів показав, що в експерименті із застосуванням препарату Мефосфон, вміст ентерококів та бактерій групи кишкової палички були нижчими, ніж в експерименті без препарату Мефосфон. Препарат Мефосфон скорочує час дозрівання та знешкодження відходів сільського господарства, що свідчить про перспективність його застосування. Після переробки відходів у біогазовій установці у них відсутні хвороботворні патогенні мікрофлори, яйця гельмінтів, насіння бур'янів, нітрити та нітрати.

Аналіз токсикологічних характеристик зразків екскрементів корови показав, що переробка їх у біогазовій установці до кінця циклу бродіння призводить до зниження токсичності досліджуваних проб. Результати дослідження токсичності наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Зміна токсичних властивостей екскрементів корови під час експерименту

Варіант експериментів	Токсичність, ($Кр_{10}$) *			
	Початкова		Після переробки на МБУ	
	P. caudatum	C. affinis	P. caudatum	C. affinis
№1	0	215	25	62
№2			25	39

$Кр_{10}$ * – кратність розведення водної витяжки із субстрату, при якій усувається його шкідливий вплив на гідробіони.

При подальшій інкубації без зовнішнього втручання токсичність всіх проб субстрату по відношенню до Ceriodaphnia affinis практично не змінилася, а по відношенню до Paramecium caudatum знизилася в 1,5 рази.

Необхідно підкреслити, що кінцевий вміст азоту в обробленому субстраті вищий, ніж у необробленому субстраті. Значення кислотності в субстраті pH 6,7 у необробленому та 7,5 в обробленому субстраті. Це свідчить про інтенсивний метаболізм органічних кислот в останньому та активному функціонуванні

спороутворюючих мікроорганізмів. Це веде до повного розпаду білків, виділення аміаку. Отриманий продукт ефективно застосовувати на кислих ґрунтах. Вміст фосфатів (P_2O_5 – 1,4-1,5%) та калію (K_2O – 1,0-1,1%) в обох зразках добрив після обробки в біогазовій установці практично не відрізнялося.

Дослідження показують, що під час ферментації із застосуванням препарату Мефосфон прискорюється процес перебігу та зникає неприємний запах. Звідси можна сказати, що використовуючи цей препарат сприяємо покращенню екологічного стану територій тваринницьких та птахівницьких комплексів. Ця технологія дозволить збільшити швидкість переробки посліду і, як наслідок, скоротити час перебування субстрату в реакторі до кількох днів (на відміну від тижнів для мезофільних режимів переробки, найбільш поширених на сьогоднішній день).

У процесі виконання досліджень було визначено такі види ефективності: енергетична, економічна та екологічна. При розрахунку показників ефективності використано вихідні дані, наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані визначення ефективності малооб'ємної біогазової установки

Показники	Значення
Вартість малооб'ємної біогазової установки, грн.	70 000
Місткість реактора, л	30
Об'єм завантажуваного гною, кг	50
Тривалість одного циклу, днів	14
Вироблення (вихід) біогазу на 1 цикл, $м^3$	7
Вихід біогазу з 1 кг гною, $м^3$	0,14
Кількість циклів в рік	26
Об'єм гною, що переробляється на рік, кг	1300
Вироблення (вихід біогазу) на рік, $м^3$	182

Енергетична ефективність малооб'ємної біогазової установки оцінювали за такими показниками:

1) Вихід потенційної енергії на рік ($Q_{виб}^{год}$), МДж:

$$Q_{виб}^{год} = V_{виб}^{цикл} \cdot n \cdot q_{БГ}, \quad (3.1)$$

де $V_{виб}^{цикл}$ – вихід біогазу за один цикл, м^3; n – число циклів на рік; $q_{БГ}$ – теплотворна здатність біогазу, Вт с/м^3.

$$Q_{виб}^{год} = 7 \cdot 26 \cdot 25 = 4550 \text{ МДж}.$$

2) Енергетична ефективність малооб'ємної біогазової установки ($Э_б$), МДж:

$$Э_б = V_{год}^{БГтов} \cdot q_{БГ}, \quad (3.2)$$

де $V_{год}^{БГтов}$ – вихід товарного біогазу на рік, м^3.

$$Э_б = 101{,}4 \cdot 25 = 2535 \text{ МДж}.$$

3) Коефіцієнт товарності ($К_т$):

$$К_т = \frac{Эб}{Q_{виб}^{год}} \cdot 100. \quad (3.3)$$

$$К_т = \frac{2535}{4550} \cdot 100 = 55{,}8$$

4) Річна економія умовного палива ($В_{у.п.}$), у.т.:

$$В_{у.п.} = \frac{Эб}{2930}. \quad (3.4)$$

$$В_{у.п.} = \frac{2535}{2930} = 0{,}866 \text{ у.п.}$$

5) Можлива отримувана електрична енергія ($Э_{ел}$), кВт·год:

$$Э_{ел} = Э_б \cdot К_э, \quad (3.5)$$

де $К_э$ – коефіцієнт перекладу.

$$Э_{ел} = 2535 \cdot 0{,}277778 = 704 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

6) Вартість отримуваної електричної енергії ($С_{эл}$), грн.:

$$С_{эл} = Э_{эл} \cdot Ц_э, \quad (3.6)$$

де $Ц_э$ – ціна 1 кВт · год електричної енергії, грн.

$$С_{эл} = 704 \cdot 4 = 2816 \text{ грн}.$$

При визначенні шкоди, що завдається екології, необхідно враховувати, що гній, що перегнається на відкритому повітрі, виділяє в атмосферу закис азоту і метан.

Екологічна ефективність малооб'ємної біогазової установки визначали за такими показниками:

1) Обсяг субстрату, що переробляється на рік (Q_c), кг:

$$Q_c = Q_c^{цикл} \cdot n, \quad (3.7)$$

де циклс $Q_c^{цикл}$ – обсяг завантажуваного субстрату за один цикл, кг.

$$Q_c = 50 \cdot 26 = 1300 \text{ кг.}$$

2) Вихід біодобрив ($Q_{бу}$), кг:

$$Q_{бу} = Q_c \cdot K_n, \quad (3.8)$$

де K_n – коефіцієнт, що враховує втрати біомаси в процесі перетворення субстрату в біогаз.

$$Q_{бу} = 21300 \cdot 0{,}94 = 1222 \text{ кг.}$$

3) Вихід NPK від 1 кг гною, г, визначений на підставі Протоколу досліджень: азот - 5; фосфор - 21; калій - 5,1; разом - 31,1.

Вихід NPK від усього об'єму гною, що переробляється 1 кг.д.в., кг:

$$NPK = 1222 \cdot 31{,}1 \text{ г} = 38 \text{ кг.}$$

4) Виторг від реалізації біодобрив ($В_{бу}$), грн.:

$$В_{бу} = NPK \cdot Ц_{бу}, \quad (3.9)$$

де $Ц_{бу}$ – ціна 1 кг біодобрив, грн.

$$В_{бу} = 1222 \cdot 10 = 12220 \text{ грн.}$$

5) Застосування як органічні добрива під урожай картоплі:

- додаткова продукція (ΔП), кг:

$$ΔП = NPK \cdot Н, \quad (3.10)$$

де Н – норматив збільшення врожаю картоплі від внесення 1 кг.д.в., кг.

$$ΔП = 38 \cdot 30 = 1140 \text{ кг.}$$

- додаткова продукція в грошах ($ΔП_{грн.}$), грн.:

$$ΔП_{грн} = ΔП \cdot Ц_{карт}, \quad (3.11)$$

де $Ц_{карт}$ – ціна 1 кг картоплі, грн.

$$ΔП_{грн} = 1140 \cdot 11 = 12540 \text{ грн.}$$

Таким чином, можна сказати, що і при реалізації отриманих органічних добрив та при застосуванні їх як добрива виходить практична однакова вигода.

Економічну ефективність біогазової установки визначали за такими показниками:

1) Річний економічний ефект ($Э_{гэ}$), грн.:

$$Э_{гэ} = Э_{ел} + \Delta П_{грн} \quad (3.12)$$

$$Э_{гэ} = 2816 + 12540 = 15356 \text{ грн.}$$

2) Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ($Е_{эф}$):

$$Е_{эф} = \frac{Эгэ}{Сб}, \quad (3.13)$$

де $С_б$ – балансова вартість біогазової установки, грн.

$$Е_{эф} = \frac{15356}{70000} = 0,22.$$

3) Термін окупності ($Т_{ок}$), років:

$$Т_{ок} = = \frac{Сб}{Эгэ}, \quad (3.14)$$

$$Т_{ок} = = \frac{70000}{15356} = 4,5 \text{ року.}$$

У таблиці 3.3 наведено результати розрахунків показників біогазової установки при масштабуванні її на 50 голів ВРХ.

Таблиця 3.3 – Основні показники біогазової установки

Найменування параметру	МБУ	При масштабуванні на 50 голів
Поголів'я ВРХ	1	50
Об'єм реактора, $м^3$	0,30	10
Добовий вихід біогазу, $м^3$	1,3	65
Кількість енергії в біогазі, МДж/діб	32,5	1625
Частка біогазу, що витрачається на власні потреби, Мдж/сут	22,75	1138
Вихід товарного біогазу, МДж/діб	9,75	487
Вихід органічних добрив, т/рік	1,3	7,3

Висновки по розділу

Зазначимо також, що застосування біогазової установки дозволить виключити штрафні санкції за неправильну утилізацію та зберігання гною та знизити витрати на закупівлю мінеральних добрив під час виробництва сільськогосподарської продукції. Проведені дослідження свідчать, що навіть при врахуванні лише енергетичної та екологічної ефективності запропонованої малооб'ємної біогазової установки термін її окупності становить 4,5 років.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На підставі проведеного аналізу стану існуючих методів утилізації та знезараження органічних відходів, технологічних схем існуючих біогазових установок та їх класифікацій, запропоновано уточнену класифікацію малооб'ємних біогазових установок з об'ємом реактора до 1 $м^3$.

Розроблено конструкційно-технологічну схему та виготовлено експериментальну малооб'ємну біогазову установку з нагрівачем та мішалкою, встановленою в реакторі. На основі інженерних розрахунків обґрунтовано основні конструктивно - технологічні параметри установки: висота реактора 4 м; діаметр реактора d = 0,3 м; мішалка рамного типу із частотою обертання 60 - 80 $хв^{-1}$; нагрівальний елемент з підтримкою робочої температури 55°С, при цьому забезпечується рівномірний розподіл метаноутворюючих бактерій у всьому об'ємі реактора і передача тепла субстрату, а також найбільший вихід біогазу.

Визначено енергетичну та економічну ефективність роботи малооб'ємної біогазової установки: кількість товарної електричної енергії 704 кВт·год на рік; обсяг субстрату, що переробляється 1300 кг на рік; кількість одержуваних високоякісних органічних добрив 1222 кг на рік; річний економічний ефект 15356 грн.; термін окупності 4,5 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. П’яних К.Є. Розвиток наукових засад теплотехнологій заміщення природного газу альтернативними видами палива: автореф. дис. докт. техн. наук: спец. 05.14.06. «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика» Київ : Інститут газу НАН України, 2017. 45 с.

2. Клюс С.В. Визначення основних показників та ефективності часткової газифікації біомаси в газогенераторі щільного шару з оберненим дуттям. Відновлювана енергетика. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2016. № 2. С. 79 – 87.

3. Куріс Ю.В. Економічні аспекти виробництва та застосування біогазу. Газ метантенків Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. Харків: НТУ «ХПІ», 2010. №7. С. 23 – 30.

4. Четверик Г.О. Екологічні аспекти виробництва біогазу в Україні. Міжнародна конференція "Зелена енергетика", тези доповідей.Київ : Національний авіаційний університет, 2013 р. С. 386 – 388.

5. Четверик Г.О. Виробництво та споживання біогазу в Україні. Міжнародна конференція "Відновлювана енергетика XXI століття", тези доповідей. смт. Миколаївка, 2011 р. С. 432 – 434.

6. Кучерук П.П. Підвищення ефективності виробництва біогазу шляхом сумісного метанового бродіння гнойових відходів та силосу кукурудзи: дисертація канд. техн. наук: спец. 05.14.08. «Перетворювання відновлюваних видів енергії». Київ : Інститут технічної теплофізики НАН України, 2016. 164 с.

7. Блюм Я.М. Новітні технології біоенергоконверсії. К.: Аграр Медіа Груп, 2010. 326 с.

8. Клюс С.В. Енергоефективне перетворення біомаси в горючий газ і біовугілля в газогенераторах щільного шару палива: дисертація канд. техн. наук: спец. 05.14.08. «Перетворювання відновлюваних видів енергії» Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2016. 167 с.

9. Четверик Г.О. Сповільнення швидкості проходження біохімічних реакції метанового анаеробного зброджування хімічними факторами. Відновлювана енергетика. 2009. № 1. С. 70 – 79.

10. Термодинамічна ефективність та ресурси рідкого біопалива України. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2006. 226 с.

11. Клюс В.П. Сумісне анаеробне бродіння гнойових відходів та конденсату газогенераторної установки. Відновлювана енергетика. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2017. № 3. С. 80 – 86.

12. Клюс В.П. Переробка конденсату газогенераторної установки в біогаз. Відновлювана енергетика. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2017. № 4. С. 84 – 92.

13. Мовсесов Г.Є. Установка для дослідження метанового зброджування органічних відходів сільського господарства. Збірник наукових праць ІМТ УААН. К.: Інститут механізації тваринництва УААН, 2009. Вип. 1(3,4). С. 151 – 155.

14. Четверик Г.О. Математична модель біотехнологічного процесу анаеробного зброджування органічних речовин. Відновлювана енергетика. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2007. № 2. С. 92 – 102.

15. Четверик Г.О. Математична модель метанового анаеробного зброджування органічних речовин. Відновлювана енергетика. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2008. № 1. С. 62 – 74.

16. Савченко В.М. **Бабич О.М.** Будова, принцип роботи та класифікація біогазових установок. *Збірник тез IX-ї всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*. м. Житомир, 5 квітня 2023 року. Житомир : ЖАТФК. С. 174-176.

17. Савченко В.М. **Бабич О.М.** Принцип дії малооб'ємної біогазової установки. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науковопедагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених*

факультету інженерії та енергетики. 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. С. 11-14.