

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного
Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав. каф. «Технічний сервіс та системи в АПК»

доц. _____ Андрій СМЕЛОВ

“ _____ ” _____ 20__ р.

Пояснювальна записка
до дипломної роботи здобувача СВО Магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему: «Обґрунтування технологічного процесу метаногенерації в біогазовій установці в умовах товариства з обмеженою відповідальністю «Батьківщина-555» Нижньосірогозького району Херсонської області»

ЗІТСД.008.000000ПЗ

Виконав: здобувач ВО 2 курсу, групи 25МБ АІ
спеціальності 208 Агроінженерія
за ОПІ Агроінженерія
(шифр і назва спеціальності та ОПІ)

_____ **Олександр ГУЗЬ**

(підпис)

Керівник проф. _____

(підпис)

Консультант проф. _____

(підпис)

Нормоконтроль доц. _____

(підпис)

Рецензент інж. _____

(підпис)

Мелітополь - 2021 рік

1 ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз стану утилізації гною в товаристві з обмеженою відповідальністю «Батьківщина-555»

У товаристві з обмеженою відповідальністю (ТОВ) «Батьківщина-555» як і у більшості господарств України утилізації гною не придають значної уваги в супереч санітарним нормам та правилам утилізації гною. Зараз тільки на нових фермах можна зустріти спеціальні гноєсховища, а більшість господарств в тому числі і ТОВ «Батьківщина-555» вивозять та звалюють гній у бурти біля полів, або відразу вносять в землю, що призводить до забруднення навколишнього середовища.

На сільськогосподарському підприємстві відсутні засоби зберігання, знезараження, утилізації, переробки гною та підготовки його до використання. Гній вважається головним органічним добривом при вирощуванні рослин. В господарств отриманий від тварин гній з приміщень транспортується на поле, де складається у бурти. Потім з цих буртів гній вноситься без підготовки у ґрунт.

Крім того, реальну загрозу гній створює, насамперед, як джерело інфекції та інвазії. Епідеміологічна та епізоотична небезпечність гною виявляється і в тому, що він у багатьох випадках є місцем розмноження мух і середовищем для гризунів, які, як відомо, є переносниками багатьох інфекційних та інвазійних хвороб [1-3].

Утримання великої кількості тварин пов'язане з ризиком перевантаження ґрунту необробленим рідким гноєм, що може призвести до серйозних екологічних проблем: забруднення підземних і поверхневих вод, погіршення структурно-механічних властивостей ґрунту та його ерозії, утворення зон засолення ґрунту, забруднення ґрунтів насінням бур'янів, зниження врожайності сільськогосподарських культур, підвищення

концентрації нітратів у продуктах землеробства та погіршення їх якості за іншими показниками.

Ще один проблемний момент - великі втрати азоту у вигляді аміаку та органічних летких сполук (до 80 %) на полях і луках, де вноситься свіжий рідкий гній [4-6].

Найбільші втрати спостерігаються, коли гній вивозять у невідповідний час. Перенасичення навколишнього середовища викидами аміаку викликає особливо великі проблеми для зон житлової забудови.

У випадках внесення в ґрунт сирого гною, не зважаючи на заборону в Україні нормативними документами такого його використання, доводиться додатково застосовувати підвищену кількість пестицидів та гербіцидів. За кілька років такої роботи господарству гарантовано надмірне насичення ґрунтів сполуками фосфору, розвиток ерозії ґрунтів, що в свою чергу тягне за собою зниження родючості посівних площ та врожаю. Тому сфера утилізації гною та виробничих стічних вод тваринницьких комплексів із об'єктів тваринництва повинна ретельно контролюватись державними органами. Згідно ВНТП-АПК-09-06 [1,4]

1.2 Огляд існуючих технологій метаногенерації з гною з рослинною сировиною

В даний час як у нашій країні, так і за кордоном [6-12] застосовують різні технології переробки відходів сільськогосподарських підприємств, як гній, рослинні рештки на полях, відходи кормоприготування та інші органічні відходи. Переробка відходів передбачає отримання органічних добрив, біогазу, рідкого палива, кормових добавок та ін.

Розробка сучасних економічно ефективних біогазових технологій базується на поєднанні таких основних принципів: фундаментальних знань складного біологічного процесу метаногенерація органічних речовин рослинного і тваринного походження, включаючи сучасні досягнення

мікробіології, біохімії, молекулярної біології та біотехнології; особливостей механічно - хімічного складу використовуваного сировини; конструктивного рішення обладнання, спрямованого на зниження металоємності і енергоємності; економічних, екологічних та енергетичних особливостей конкретного регіону [2-7].

Інтеграція зазначених принципів дозволила розробити серію найбільш перспективних біогазових технологій (рис.1.1) .

На рисунку 1.1 представлена класифікація біогазових технологій.

За температурним режимом біогазові технології поділяються на:

- а) технології з психрофільним температурним режимом ($0 \div 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$);
- б) технології з мезофільним температурним режимом ($25 \div 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$);
- в) технології з термофільним температурним режимом ($40 \div 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$);

Підтримка оптимальної температури є одним з найважливіших чинників процесу зброджування. У природних умовах утворення біогазу відбувається при температурах від 0°C до 97°C , але з урахуванням оптимізації процесу переробки органічних відходів для отримання біогазу та біодобрив виділяють три температурні режими.

Процес анаеробного зброджування дуже чутливий до змін температури. Рівень чутливості залежить від температурного режиму, допустимі зміни температур:

- психрофільний: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ на годину;
- мезофільний: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ на годину;
- термофільний: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ на годину.

По вологості субстрату біогазові технології можна розділити на:

- а) твердо фазну метаногенерацію;
- б) ферментацію рідких органічних відходів;
- в) ферментацію «суперрідина» органічних відходів;

До першої групи технологій відноситься технологія твердо фазної метаногенерації. Всупереч широко поширеній думці було експериментально встановлено, що процеси утворення метану можуть активно протікати при

вологості субстрату менше 85%, аж до 10%, причому при вологості субстрату в межах 5-10% кількість утворюється метану прямо пропорційно кількості води в субстраті. Твердо фазний процес може бути безперервним, напів періодичним і періодичним, протікати при температурах в діапазоні від 18 до 55 °С.

Друга група технологій - ферментація рідких органічних відходів, вологість яких становить 85 - 98 %.

Третя група технологій - ферментація «суперрідких» органічних відходів (переробної промисловості - молочний, цукрової, паперовій, шкіряній, консервної, текстильної і т.д.), вологість яких становить 98 - 99%. Технологія заснована на використанні [4-10]:

- Осадження бактеріальних гранул і контакту надходить сировини з утворюється активним мулом;

- Нерухомого шару мулу (бактеріальні гранули) і надходження сировини в реактор знизу вгору, або реактора з висхідним шаром;

- Анаеробного фільтра з закріпленням - іммобілізацією метаноутворюючих бактерій на нерухомих носіях;

- Біореактори з псевдо зрідженим і збільшеним шаром бактеріальної маси, закріпленої на дрібних інертних частинках;

- Біореактор із закріпленою плівкою.

Перевага таких технологій полягає у високих швидкостях обробки, зниження обсягів реакторів, зниженні капітальних витрат на одиницю маси оброблюваних стоків.

Особливості конструктивно - технологічної схеми дозволяють класифікувати біогазові технології по наступному ряду ознак.

За обсягом біореактора біогазові технології можна розділити на:

- а) малої потужності (5 - 20 м³, наприклад, фермерські господарства);

- б) середньої потужності (200-1000 м³, наприклад, тваринницькі комплекси);

- в) великої потужності (1000-10000 м³, наприклад, промислові заводи).

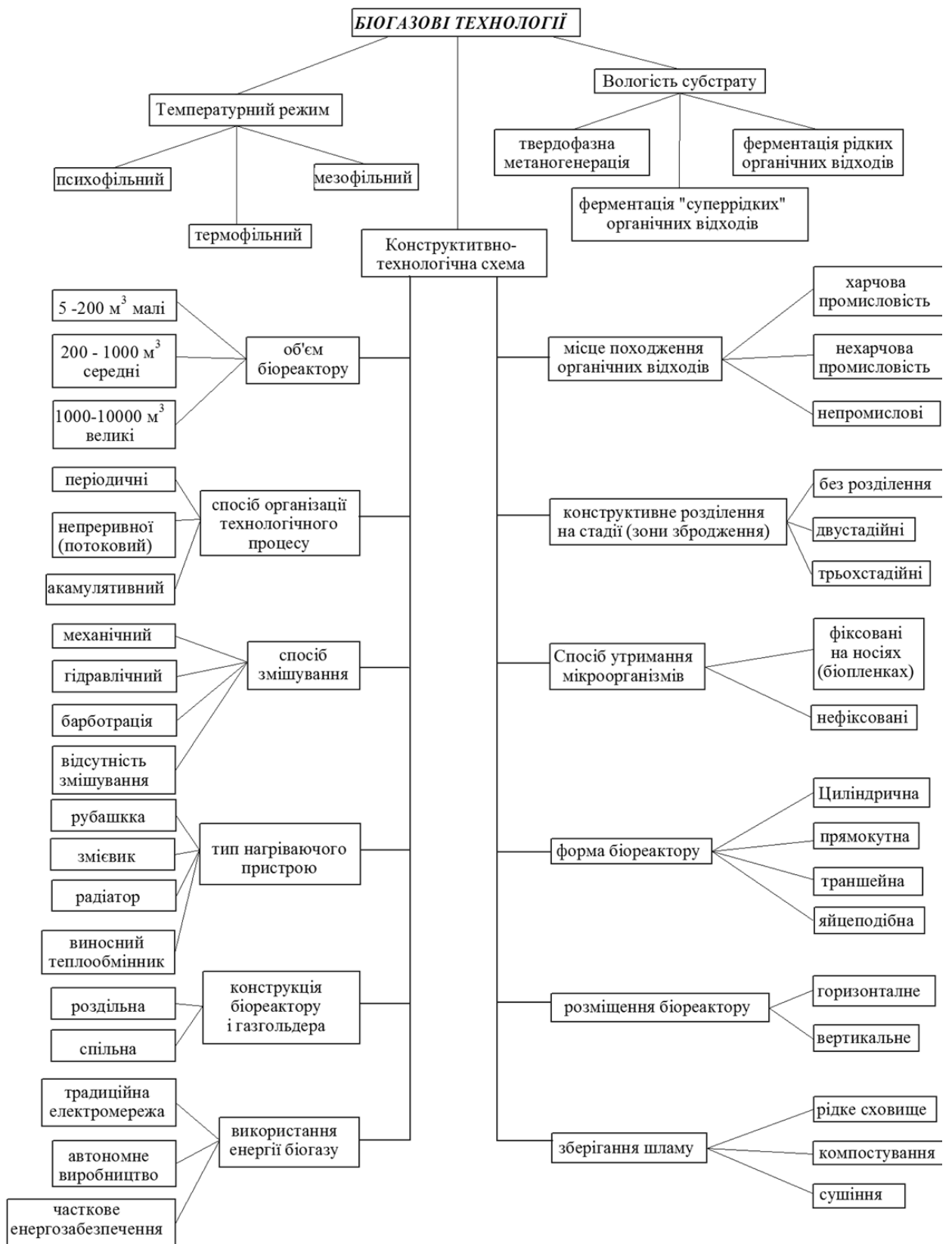


Рисунок 1.1 - Класифікація біогазових технологій

За способом організації технологічного процесу біогазові технології поділяються на [2,14]:

- а) БГУ з проточною системою анаеробного зброджування;
- б) БГУ з циклічною системою анаеробного зброджування;
- в) БГУ з акумулятивний системою анаеробного зброджування.

При проточною (безперервної або квазонеperеривній) системі свіжий субстрат завантажують в камеру зброджування безперервно або через певні проміжки часу (від 2 до 10 разів на добу), видаляючи відповідно така ж кількість зброженого гною.

Система з поперемінним використанням реакторів характеризується переривчастим процесом, що протікає не менш ніж у двох однакових за розмірами і формою реакторах. Оскільки при постійній кількості подаваного в реактор матеріалу завантаження робочого простору під час процесу заповнення буде постійно знижуватися в порівнянні з оптимальним значенням, відповідним вихідного кількості шламу, потенційна продуктивність цієї системи буде використовуватися не повністю.

Акумулятивна (басейнова) система виконується тільки з одним рідинним реактором. Він виконує функції бродильної камери і накопичує шлам до моменту вивезення в поле.

Методи перемішування, вживані в різних біогазових технологіях, можна розділити на [10-16]:

- а) механічні;
- б) гідравлічні;
- в) барботування;
- г) відсутність перемішування.

Типи нагрівальних пристроїв, застосовуваних у різних біогазових технологіях, можна розділити на:

- а) сорочка;
- б) змійовик;
- в) радіатор;
- г) внесений теплообмінник.

Найбільш поширеною системою підігріву сировини є зовнішня система підігріву з водонагрівальним котлом, що працює на біогазі, електриці або твердому паливі.

Конструкції біореактора і газгольдера, вживані в різних біогазових технологіях, можуть бути [10,15]:

- а) роздільні;
- б) суміщені.

З використання енергії біогазу технології анаеробного зброджування можуть бути спрямовані на:

а) повну передачу біогазу в традиційну енергосистему (ТЕЦ, котельня). Потреби біогазової установки в енергії забезпечуються традиційною енергосистемою;

- б) автономне виробництво з аварійним резервуванням;
- в) часткове енергозабезпечення.

За основи походження біомаси можна виділити три типи біогазових технологій:

- а) аграрно-харчової промисловості;
- б) нехарчової промисловості;
- в) непромислові.

За конструктивним поділу на стадії (зони бродіння) розрізняють такі біогазові технології:

- а) без поділу на стадії;
- б) двох стадійні;
- в) трьох стадійні.

Процес виробництва біогазу може бути розділений на три стадії: гідроліз, окислення і утворення метану. Сучасні біогазові технології передбачають конструктивне поділ процесу на стадії (зони бродіння).

Типи біореакторів, що застосовуються в різних технологіях анаеробного зброджування, можуть бути розділені на дві великі групи:

а) з нефіксованими мікроорганізмами (реактори повного перемішування, контактні реактори, реактори висхідного потоку з активним шаром мулу);

б) з мікроорганізмами, фіксованими на носіях (біоплівках). До цієї групи відносяться реактори з анаеробними фільтрами, з рухомими біодисками, з рециркуляцією активного мулу, мають інертні носії маленького розміру (частки міліметра), які межують з контактними реакторами, і реактори зі зваженим або киплячим шаром активного мулу, фіксованого на інертних носіях.

Форми біореакторів, що застосовуються в різних технологіях анаеробного зброджування, можуть бути класифіковані як [10,16]:

- а) циліндрична;
- б) прямокутна;
- в) траншейна;
- г) яйцеподібна.

З точки зору динаміки рідин, оптимальна яйцеподібна форма реактора, але її спорудження вимагає великих витрат. Другий найкращою формою є циліндр з конічним або напівкруглим дном і верхом. Квадратні реактори з бетону або цегли не рекомендуються до використання, так як в кутах утворюються тріщини через тиск сировини, а також збираються тверді частинки, що порушує процес зброджування.

Розташування біореакторів, що застосовуються в різних технологіях анаеробного зброджування, можуть бути розділені на дві великі групи:

- а) горизонтальне;
- б) вертикальне.

По зберіганню шламу біогазові технології поділяються на:

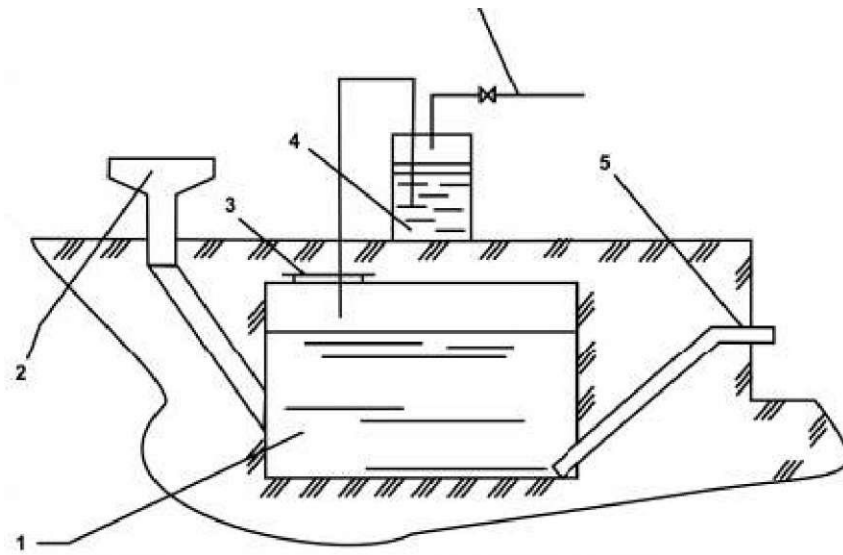
- а) технології з рідким зберіганням шламу;
- б) технології з висушуванням шламу;
- в) технології з компостуванням шламу.

1.3 Аналіз існуючих біогазових установок в СНГ і Європі

У країнах Європи та СНГ клімат [17,51,67] не дає змоги використовувати найпростіші біогазові установки протягом року. Тому в цих регіонах використовують біогазові установки з терморегуляцією. Оскільки терморегуляція потребує використання енергії то ефективність установки падає для підвищення ефективності метаногенерації в БГУ встановлюють мішалки, роблять БГУ модульною для використання різних температурних режимів.

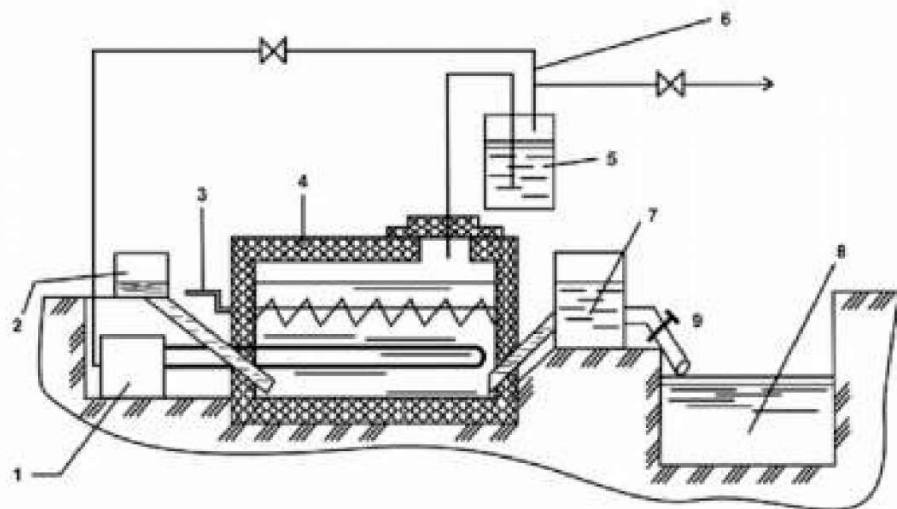
У простих, зокрема в невеликих біогазових установках, які споруджуються власними силами, бродильна камера має форму паралелепіпеда (басейн з кришкою). Для підвищення ефективності такий реактор перегороджують вертикальною стінкою, створюючи головну бродильну камеру та камеру для остаточного зброджування та осадження шламу. Проте установки такого типу не дозволяють досягти високого ступеню розкладення субстрату, оскільки в них практично неможливо забезпечити рівномірне перемішування біомаси, управління завантаженням робочого об'єму камери та дотримання часу перебування маси в реакторі, що є необхідним для отримання максимальної кількості газу [3-8].

Біогазова установка (рисунок 1.2) призначена для невеликих фермерських господарств. Об'єм реактора від 3 до 10 м³, розрахований на переробку 50-200 кг гною на добу. Переваги установка в тому що вона містить мінімум складових частин для забезпечення процесу переробки гною та отримання біодобрив та біогазу. Установка дешева та проста у використанні. Вона може бути використана у південних регіонах без підігріву і перемішування і працює в психрофільному температурному режимі від 5°C до 20°C. Процес метаногенерації у цій установці протікає довго та нестабільно і це являється причиною малої кількості виробляемого метану. Біогаз, який виробляється установкою, відразу направляється на використання в газових приладах.



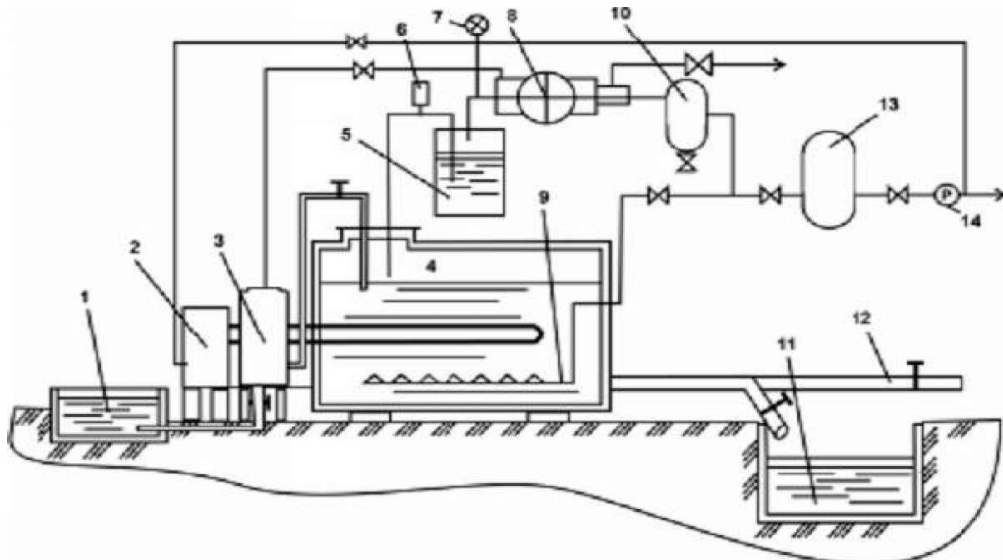
1 - реактор; 2 - бункер завантаження; 3 - люк для доступу в реактор; 4 - водяний затвор; 5 - вивантажувальна труба; 6 - відвід біогазу

Рисунок 1.2 - Схема найпростішої біогазової установки з ручним завантаженням без перемішування і без підігріву сировини в реакторі



1 - водонагрівуючий котел; 2 - бункер завантаження; 3 - перемішуючий пристрій; 4 - реактор; 5 - водяний затвор; 6 - відвід біогазу; 7 - вивантажувальний бункер; 8 - ємність для зберігання біодобрив; 9 - вивантажувальна труба

Рисунок 1.3 - Схема біогазової установки з ручним завантаженням, перемішуванням і підігрівом сировини в реакторі



1 - приймач гною; 2 - водонагрівуючий котел; 3 - бункер завантаження; 4 - реактор; 5 - водяний затвор; 6 - запобіжний клапан; 7 - манометр електроконтактний; 8 - компресор; 9 - мішалка газова; 10 - ресивер; 11 - сховище для біодобрих; 12 - відвід труби для завантаження в транспорт; 13 - газгольдер; 14 - редуктор газовий.

Рисунок 1.4 - Схема фермерської біогазової установки з газгольдером, механічною підготовкою, пневматичним завантаженням, перемішуванням і підігрівом сировини

Перероблена маса видаляється з реактора через вивантажувальну трубу в момент завантаження чергової порції сировини або за рахунок тиску біогазу. Зброджена маса, яка вивантажується, потрапляє в ємність для тимчасового зберігання, об'єм якої повинна бути не менший, ніж об'єм реактора.

Встановлення перемішуючого пристрою (рисунок 1.3) [3,51, 60, 64] не вимагає великих фінансових затрат. Для підвищення ефективності роботи біогазової установки змонтовано пристрій ручного перемішування сировини та більш інтенсивного і стабільного процесу зброджування встановлена система підігріву реактора (рисунок 1.3). Установка може працювати в мезофільному і термофільному режимі. Реактор біогазової установки

підігрівається за допомогою водонагрівуючого котла, який працює на біогазі, що виробляється. Решта біогазу використовується безпосередньо в газових приладах.

Особливістю цієї біогазової установки, за якою вона відрізняється (рисунок 1.4), є наявність спеціальної ємності для підготовки сировини, звідки вона подається за допомогою вакуумного насоса в бункер завантаження, а потім за допомогою стиснутого біогазу - в реактор установки. Для роботи системи обігріву використовується частина вироблюваного біогазу. Установка забезпечена автоматичним відбором біогазу і газгольдером для його зберігання. Наявність системи обігріву дозволяє експлуатувати біогазову установку у всіх режимах бродіння.

Біогазова установка ZORG (Зорг) (рисунок 1.6) [4, 51] отримує біогаз і біодобрива з біовідходів сільського господарства і харчової промисловості шляхом анаеробного зброджування. Як сировину можна використовувати гній ВРХ, гній свиней, пташиний послід, відходи бійні (кров, жир, кишки), відходи рослин, силос, прогниле зерно, каналізаційні стоки, жири, біосміття, відходи харчової промисловості, садові відходи, солодовий осад, спиртну барду, буряковий жом, технічний гліцерин (від виробництва біодизеля).

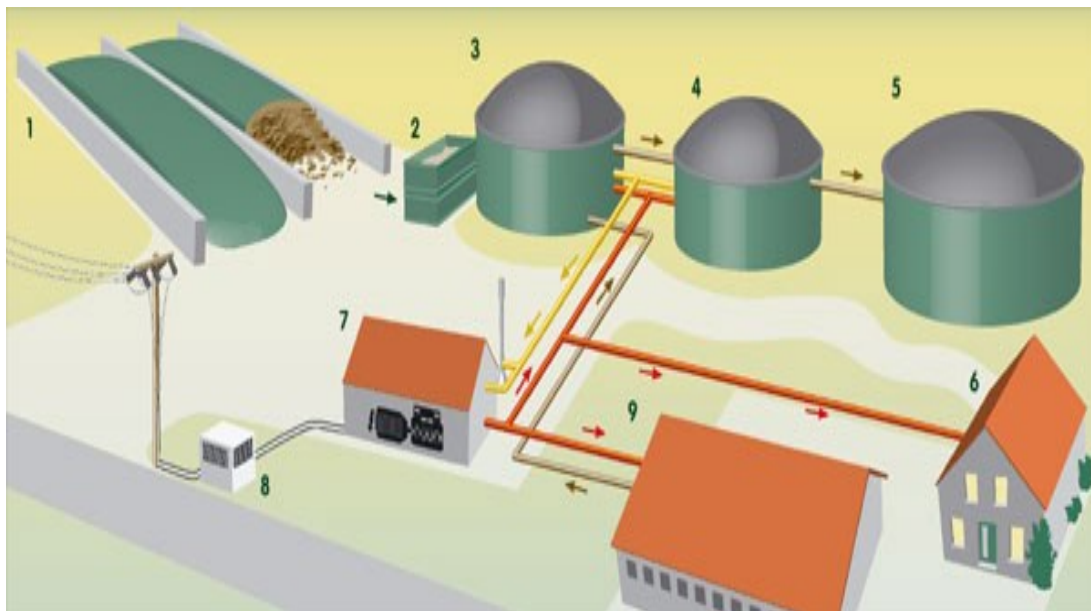
При використанні таких збалансованих біодобрив врожайність підвищується на 30-50%. Звичайний гній, барду або інші відходи не можна ефективно використовувати як добриво 3-5 років. При використанні ж біогазової установки біовідходи переброджують і переброджена маса тут же може використовуватися як високоефективне біодобриво.

Принцип роботи біогазової установки ZORG [4].

Біовідходи доставляються вантажівками або ж перекачується на біогазову установку насосами. Або ж, якщо установка невелика, то сировина збирається у вигрібній ямі (сховищі) біля реактора. Із сховища реактор безперервно наповнюється за допомогою помпи. Відходи рослинної маси або інші коферменти (різні види сировини) привозяться вантажівками і розвантажуються в закриті сховища, які зазвичай закриті для зменшення

неприємних запахів, що виділяються, і відкриваються тільки для додавання коферментів. Спочатку коферменти висипаються (перемелюються), гомогенізуються і перемішуються з гноєм (послідом).

Гомогенізація найчастіше виконується при температурі 70° С протягом однієї години при розмірі максимальної частинки 1 см.



1 - ділянка зберігання біовідходів; 2 - система завантаження біомаси; 3 - реактор; 4 - реактор доброджування; 5 - сховище для складування добрива; 6 - система опалювання; 7 - силова установка; 8 - система автоматики і контролю; 9 - система газопроводів

Рисунок 1.5 - Схема біогазової установки ZORG

Мікроорганізми мають бути забезпечені всіма необхідними поживними речовинами. Свіжа сировина подаватися в реактор невеликими порціями кілька разів в день. Середній час гідравлічного відстоювання усередині реактора (залежно від субстратів) – 20–40 днів [4]. Впродовж цього часу органічні речовини усередині біомаси метаболізуються (перетворюються) мікроорганізмами. На виході маємо два продукти: біогаз і субстрат (компостований і рідкий). Останній зберігається в стандартному танкері для зберігання (складування) добрива. Біогаз же зберігається в місткості для зберігання газу - газгольдері. Тут в газгольдері вирівнюються тиск і склад газу.

З газгольдера йде безперервна подача газу в газовий або дизель-газовий двигун-генератор. Тут вже виробляється тепло і електрика. Іноді потужність може досягати декілька МВт. Крупні біогазові установки мають аварійні факельні установки на той випадок, якщо двигун/двигуни не працюють і біогаз треба спалити. Все контролюється пристроєм контролю газової установки. Всією системою управляє система автоматики. Для управління досить 1 людину, яка працюватиме 2 години на день. Ця людина веде контроль за допомогою комп'ютера і вона ж працює на тракторі для подачі біомаси.

Біогазова установка компанії NQ - Anlagentechnik GmbH 26 [5, 51].

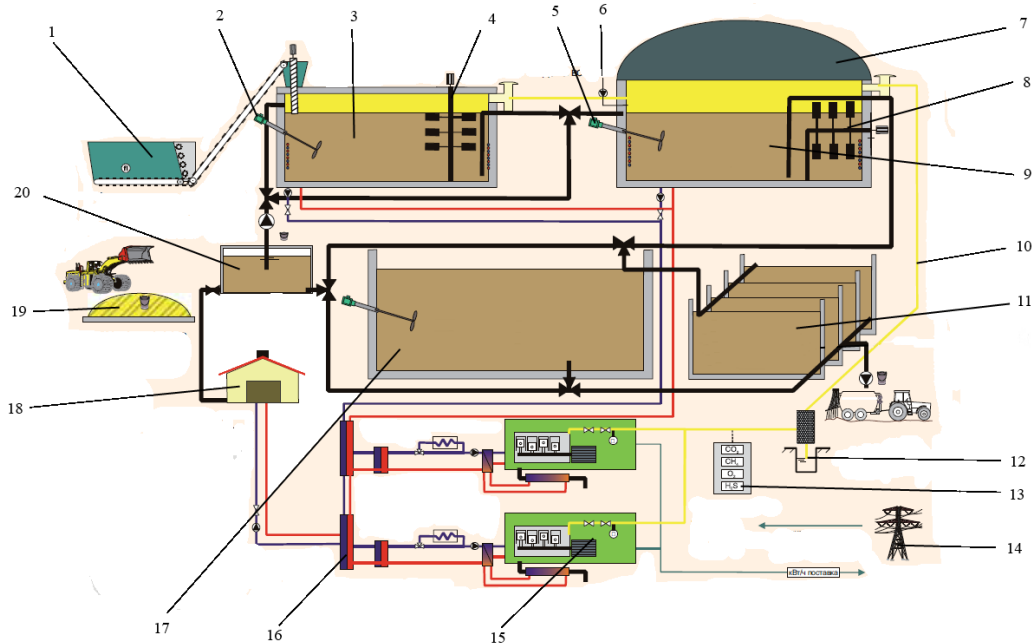
БГУ включає в себе ферментер 1 з робочим об'ємом 950 м³ і ємність для доброджування 2 з робочим об'ємом 1400 м³. Для зберігання залишків ферментуючої маси змонтована ємність 17 з робочим об'ємом 3500м³. Крім того використовуються чотири додаткових резервуару для зберігання гною.

Ємності частково забезпечені покриттям, однак жодне покриття не є газонепроникним (рисунок 1.6).

Пристрій для завантаження твердих компонентів 1 (виробник: UTS, модель Doma) має приймальну ємність, обсяг якої становить 30 м³. Завантаження твердих компонентів регулюється по часу і здійснюється 24 рази на день. Органічні добрива у вигляді свинячий гноївки перекачуються в ферментер з приймального бункера (85 м³) 10 разів на день.

Після відповідного часу відстоювання субстрату в ферментаторі маса надходить через переливний пристрій у ємність для доброджування. Для переливу субстрату з ємності для доброджування в сховища залишків ферментують маси, які розташовуються нижче інших ємностей, необхідно відкрити (вручну) відповідні заслінки. Субстрат переливається в резервуари самостійно, перекачування насосом не потрібно. За таким же принципом функціонує подача маси для доброджування чи матеріалу зі сховища в приймальний резервуар, звідки масу можна завантажувати в ферментатор за допомогою насоса (рециркуляція субстрату). Одне зі сховищ

використовується в якості приймального резервуара для силосного соку, який виділяється з силосної маси. Завдяки тому, що сховище пов'язано з прийомним резервуаром, що володіє енергетичним потенціалом силосний сік у невеликих дозах можна використовувати в процесі бродіння маси. Крім того з приймального резервуара можна здійснювати також завантаження матеріалу в ємність для доброджування



1 – система завантаження твердих компонентів з датчиками ваги, 2- погрузна мішалка, 3 – ферментер, 4 – мішалка лопатева, 5 – погрузна мішалка 6-Повітря 7-газове сховище, 9 - ємності для доброджування 10-газопрровід 11-сховище залишків переробленої маси 1340 м³ 12- водовіддільник 13-газоаналізатор 14 - ЛЕП 15- блокові газові ТЕЦ, 16- опалення 17- сховище залишків переробленої маси 3500 м³ 18-свиноферма 19-силосний бурт, 20-приймальний резервуар

Рисунок 1.6 - технологічна схема працюючої установки БГУ компанії NQ - Anlagentechnik GmbH 26

Перемішування маси в ферментері здійснюється за допомогою погрузного міксеру 2 і лопатевого змішувача 4. У ємності для доброджування змонтований конструктивно ідентичний лопатевий змішувач

із зменшеною потужністю 8, а також занурювальний міксер. Зберігання виробленого біогазу здійснюється в ємності для доброджування під повітронепроникним подвійним плівковим покриттям. Сірководень, який міститься у виробленому газі, видаляється шляхом подачі повітря в верхній частині ферментера (рисунок 1.6).

Для вироблення електричної і теплової енергії використовуються дві блокові газові ТЕЦ. Теплова енергія використовується для забезпечення технологічного процесу. Крім того вироблювана теплова енергія служить для опалення свинарників, а гаряча вода використовується для приготування рідких кормів.

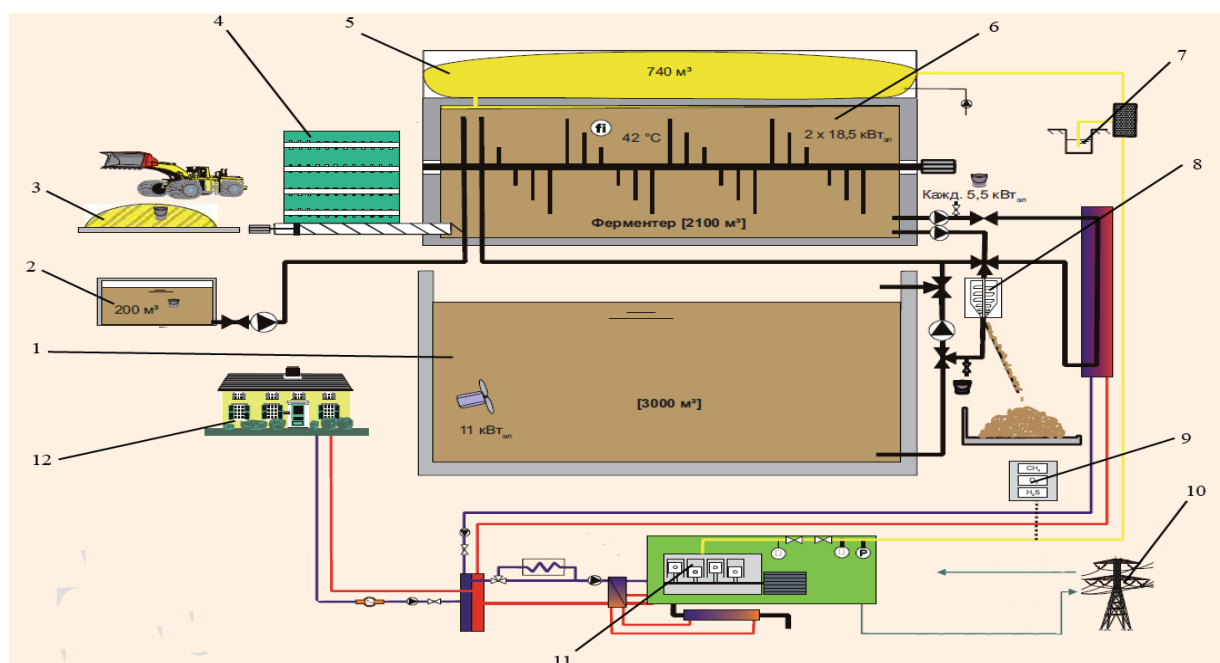
Біогазова установка компанії Rückert 53 [5, 51].

У біогазовій установці 53 (рисунок 1.7) для підтримки збалансованого процесу виробництва та забезпечення біогазу поживними речовинами використовують індюшачий послід та силос різноманітних енергетичних рослин.

Біогазова установка була спланована і змонтована компанією Rückert і знаходиться в експлуатації з 2006 р. Розміщений горизонтально ферментер має робочий об'єм 2100м^3 та виконано із залізобетону. Установка для виробництва газу є одноступінчастої, причому використання газу, який може вироблятися в сховище залишків ферментують маси (циліндричний резервуар, виконаний із залізобетону, робочий об'єм 3000м^3), не представляється можливим, так як резервуар не має покриття. Для збору маючого енергетичний потенціал соку, що витікає з силосної маси, як уловлювача використовується третій циліндричний резервуар (200 м^3). Рідина з нього надходить у ферментер. Залишок ферментують матеріалу поділяється на тверду і рідку масу. Твердий залишок переродженої маси компостується і вивозиться з установки. Рідка маса подається в сховище для залишків ферментують маси і знову дозовано завантажується в ферментер для розбавлення субстрату. Рідка маса перебродившого матеріалу також

використовується як органічне добриво в процесі вирощування відновлюваної сировини.

Для завантаження твердих компонентів використовується підйомно-транспортний пристрій з рухомим підлогою компанії Romberger, обладнане прес-шнеком. Заповнюваний обсяг прийомного бункера становить 80 м³. Тверді компоненти завантажуються зусиллям пресування через отвір у нижній частині ферментера 48 разів на день. Утворений в результаті тиску пресування субстратний ком, що володіє високою щільністю, запобігає зворотний рух матеріалу для ферментера в пристрій для завантаження. Крім того система обладнана зворотним заслінкою.



1 - сховище залишків ферментуючої маси, 2 - ємкість для силосного соку, 3 - твердий субстрат 4 - система завантаження твердих компонентів з ваговими датчиками 5 - подушкоподібному резервуарі з плівки (гагольдер), 6 - реактор (ферментер) 7 - водовіддільник, 8 - сепаратор, 9 - газоаналізатор, 10 - електро мережа, 11 - блокова ТЕЦ з газовим двигуном.

Рисунок 1.7 - Біогазова установка 53 компанії Rückert

У ферментері субстрат підігрівається за рахунок зовнішнього опалення шляхом перекачування в протivotоці через двотрубний теплообмінник. Насос скомбінований з подрібнювачем. У ферментері

субстрат підігрівається за рахунок зовнішнього опалення шляхом перекачування в протivotоці через двотрубний зворотний рух закінченні встановленого часу відстоювання і виділення газу перебродивши маса перекачується за допомогою роторного насоса для поділу на твердий і рідкий матеріал.

Для перемішування субстрату в горизонтально розташованому ферментер має 2 паралельно розташованих змішувача мотовильного типу.

Для вироблення електричної і теплової енергії використовуються одна блокова газова ТЕЦ.

Зберігання виробленого біогазу здійснюється в подушкоподібному резервуарі з плівки (740 м³), який встановлений на другому поверсі будівлі установки. Сірководень, який міститься у виробленому газі, окислюється в елементарну сірку шляхом взаємодії з сірчаними бактеріями в сховищі біогазу. Для досягнення цієї мети днище газового сховища покрито свіжим фільтратом з сепаратора , крім того здійснюється подача повітря.

1.4 Аналіз результатів наукових досліджень метаногенерації

Оскільки розкладання органічних відходів відбувається за рахунок діяльності певних типів бактерій, то істотний вплив на нього робить навколишнє середовище. Кількість вироблюваного газу значною мірою залежить від температури: чим тепліше, тим більші швидкість і ступінь ферментації органічної сировини. Саме тому перші установки для одержання біогазу з'явилися в країнах з теплим кліматом [4, 18, 60, 68]. Однак застосування надійної теплоізоляції, а іноді і підігрітої води, дозволяє освоїти застосування генераторів біогазу в районах, де температура узимку опускається до мінус 20°C [64,66,68,72].

Існують також певні вимоги до сировини [58,69,70]. Вона повинна бути придатна для розвитку бактерій, містити органічну речовину, що біологічно розкладається, й у великій кількості воду (90-94%). Бажано, щоб

середовище було нейтральним і без речовин, що заважають дії бактерій. Такими речовинами є наприклад, мило, пральні порошки, антибіотики тощо.

Для одержання біогазу можна використовувати рослинні і господарські відходи, гній, стічні води та інші відходи [67,71,73]. У процесі ферментації суміш в резервуарі має тенденцію до поділу на три фракції. Верхня — кірка, утворена з великих часток, яка захоплюється пухирцями газу, що піднімаються. Через якийсь час вона може стати досить твердою і буде заважати виділенню біогазу. У середній частині ферментатора накопичується рідина В нижній частині фракція випадає в осад.

Бактерії найактивніші в середній зоні. Тому вміст резервуара необхідно періодично перемішувати, бажано до шести разів на добу. Перемішування може здійснюватися за допомогою механічних пристосувань гідравлічними засобами (під дією насоса), під напором пневматичної системи (часткова рециркуляція біогазу) чи за допомогою різних методів самоперемішування.

Анаеробне бродіння в біореакторі процес складний і хиткий, на нього впливають як зовнішні, так і внутрішні чинники основні фактори, що впливають на процес бродіння [6, 7 - 9]:

- зовнішня температура;
- внутрішня температура середовища;
- лужність середовища. рН;
- наявність речовин інгібіторів;
- фракційний склад субстрату та його вологість і в'язкість;
- час бродіння;
- інтенсивність перемішування:
- вплив хімічного складу та типу вихідного матеріалу;
- термостабілізація процесу бродіння:
- тиск в системі;
- будова резервуара.

Вплив деяких із наведених чинників є досить значним і недотримання технологічних меж може зупинити процес. Інші мають не такни критичний вплив, але при сукупності дії всіх чинників їх ефект додається.

1.5 Мета і завдання досліджень

Аналіз господарства виявив недоліки в технології переробки та зберігання гною. В господарстві багато рослинних решток залишається на полях що не рідко призводить до пожеж на полях.

Мета досліджень - обґрунтування технологічного процесу метаногенерації в біогазовій установці в умовах товариства з обмеженою відповідальністю «Батьківщина-555» Нижньосірогозького району Херсонської області. Визначення експлуатаційних параметрів та конструктивно-технологічної схеми біогазової установки.

У відповідності до мети дослідження поставлені наступні завдання досліджень.

- 1 Аналіз умов ферментації.
- 2 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми біогазової установки.
- 3 Дослідження процесу метаногенерації в реакторі установки.
- 4 Визначення продуктивності установки.
- 5 Техніко економічна оцінка використання біогазової установки.

До складу біогазу входять сірководень (H_2S), вуглекислий газ (CO_2) і метан. Метан, що входить до складу біогазу, практично не отруйний. Він легше за повітря, легко запалає і утворює з повітрям (5-15% метану) або киснем вибухову суміш. У разі витoku, за наявності вентиляції, газ випаровується без яких або наслідків. Сірководень, якщо і представляє небезпеку для здоров'я людей, то зустрічається в невеликих кількостях і легко виявляється по неприємному запаху. Оскільки сірководень важче за повітря, необхідно звертати увагу на те, щоб при витках цей газ не зміг нагромаджуватися в поглибленнях. При високих концентраціях він притупляє сприйняття запаху, що утрудняє його виявлення і може привести до смертельних отруєнь, але ще раз можна відзначити, що частка сірководню в біогазі дуже мала і складає не більше 1 %. Вуглекислий газ (CO_2) входить до складу біогазу, теж може накопичуватися в глибоких виїмках, оскільки він важче за повітря, за наявності нещільності в установці викликає небезпеку задухи.

При експлуатації біогазової установки необхідно звертати увагу на наступне:

- вдих біогазу у великих кількостях на протязі тривалого часу може викликати отруєння, так як сірководень, який міститься в біогазі, дуже отруйний. Неочищений біогаз пахне тухлими яйцями, але після очистки не має ніякого запаху. Тому всі приміщення, де стоять побутові прилади, які використовують біогаз, треба регулярно провітрювати. Газові труби повинні регулярно перевірятися на герметичність і захищатися від пошкоджень. Витік газу необхідно виявляти за допомогою мильної емульсії або спеціальних приладів. Застосування відкритого вогню для виявлення витoku газу забороняється. Біогаз у суміші з повітрям в пропорції від 5% до 15% при наявності джерела спалаху з температурою $600^{\circ}C$ або вище може призвести до вибуху. Відкритий вогонь небезпечний при концентраціях біогазу у повітрі понад 12%. Таким чином, забороняється куріння та розведення вогню біля установки. Під час проведення зварювальних робіт відстань до газового

обладнання повинна бути не менше 10 метрів. Після зливу сировини з біогазових установок для проведення ремонту реактор повинен провітрюватися, так як існує небезпека вибуху суміші біогазу і повітря.

- тиск газу, який подається по газопроводу до місця споживання, не повинен перевищувати 0,15 МПа (1,5 кг/см²), а перед газовими приладами має бути не більше 0,13 кг/см². Реактор повинен бути обладнаний засувками, гідрозатворами, які у випадку необхідності могли б відключити його від магістрального скиду надлишкового тиску у газовій систему у випадку перевищення ним норми.

- електрообладнання, яке використовується, повинно бути заземлене. Опір проводу для заземлення має бути не більше 4,0 Ом.

- основними джерелами санітарної небезпеки є присутність у рідкому гною і гнійних стоках яєць гельмінтів, бактерій груп кишкової палички та іншої патогенної мікрофлори. Тому, необхідно дотримуватися запобіжних заходів для попередження зараження. Так, не рекомендується споживати їжу в приміщенні ферми та поряд з біогазовою установкою.

4.4 Заходи охорона навколишнього середовища

1 Відповідно до вимог закону «Про охорону навколишнього середовища» [48,49] при проектуванні, будівництві та експлуатації систем видалення і підготовки до використання гнойових стоків повинні зі спостерігатися вимоги в галузі охорони навколишнього середовища, проводитися заходи з охорони земель, ґрунтів, водних об'єктів, рослин, тварин та інших об'єктів.

2 При проектуванні систем видалення та підготовки до використання гною необхідно враховувати наступних вимоги з охорони компонентів довкілля від забруднення.

Проекти систем повинні містити дані про кількість вихідного і підготовленого гною, гнойових стоків, продуктів їх переробки, вказівки про способи, напрями використання та утилізації.

Конструктивні рішення споруд збору, накопичення та зберігання всіх видів гною і поверхневого стоку, повинні забезпечувати їх герметичність і виключати процеси фільтрації рідини в ґрунт ґрунтових вод.

3 Не допускається розміщення споруд та систем підготовки і використання всіх видів гною і поверхневих стоків на територіях першого і другого поясів санітарної охорони джерел водопостачання , і з мінеральних вод та санітарної зони курортів.

4 Не допускається будівництво нових, розширення існуючих систем видалення та підготовки гною до використання на території санітарно - захисних зон між підприємствами та поверхневими водними об'єктами.

5 Забороняється скидання у водні об'єкти неочищених до необхідних параметрів гнойових і виробничих стоків.

6 Проекти нового будівництва та реконструкції систем видалення і підготовки всіх видів гною до використання підлягають узгодженню з органами державного ветеринарного, санітарного нагляду та екологічного контролю.

Залежно від потужності, умов експлуатації, характеру і кількості виділяються в навколишнє середовище забруднюючих речовин, створюваного шуму , вібрації та інших шкідливих фізичних факторів, а також з урахуванням передбачених заходів щодо зменшення несприятливого впливу їх на довкілля й здоров'я людини відповідно до санітарної класифікації промислових об'єктів і виробництв встановлені наступні орієнтовні розміри санітарно - захисних зон:

- промислові об'єкти та виробництва першого класу - 1000 м;
- промислові об'єкти та виробництва другого класу - 500 м;
- промислові об'єкти та виробництва третього класу - 300 м;
- промислові об'єкти та виробництва четвертого класу - 100м;

- промислові об'єкти та виробництва п'ятого класу - 50 м;

Відповідно до «Санітарно - захисні зони і санітарна класифікація підприємств, споруд та інших об'єктів»

Розмір санітарно - захисної зони для діючих свинарських ферм і комплексів може бути зменшений при [36,48]:

- Об'єктивному доказі досягнення рівня хімічного, біологічних забруднення атмосферного повітря і фізичних впливів на атмосферне повітря до ГДК і ПДУ на межі санітарно - захисної зони та за її межами за матеріалами систематичних лабораторних спостережень для підприємств I і II класу небезпеки (не менше п'ятдесяти досліджень на кожен інгредієнт в окремій точці) і вимірювань та оцінці ризику для здоров'я, для промислових об'єктів і виробництв III , IV , V класу небезпеки за даними натурних досліджень пріоритетних показників за станом забруднення атмосферного повітря (не менше тридцяти досліджень на кожен інгредієнт в окремій точці, за винятком зимового періоду) вимірювань;

- Підтвердження вимірами рівнів фізичного впливу на атмосферне повітря на межі санітарно - захисної зони до гігієнічних нормативів і нижче;

- Зменшенні потужності , зміну складу , перепрофілювання промислово об'єктів і виробництв, і пов'язаним з цим зміною класу небезпеки;

- Впровадженні передових технологічних рішень, ефективних очисних споруд, спрямованих на скорочення рівнів впливу на середовище проживання.

4.5 Функціонування установки у надзвичайних ситуаціях

Організаційні заходи передбачають завчасну розробку і планування дій начальника цивільного захисту та начальника штабу ЦО, служб при виробничому процесі, проведенні рятувальних і невідкладних робіт у надзвичайних умовах [36,48].

Цивільний захист на підприємства організовується з метою оперативного проведення рятувальних і інших невідкладних робіт та своєчасної підготовки біогазової установки до захисту від наслідків надзвичайної ситуації.

Обов'язки начальника з цивільного захисту підприємства у режимі звичайної діяльності: постійно удосконалювати особисту підготовку; створення, організація, підготовка і дієздатність системи цивільного захисту на об'єкті; спланувати і забезпечити здійснення відповідних заходів щодо захистів працівників об'єкту під час надзвичайної ситуації; організувати забезпечення структурних підрозділів об'єкта сучасними засобами оповіщення і зв'язку.

Обов'язки начальника з цивільного захисту у режимі підвищеної готовності: здійснення прогнозування і моделювання обстановки, що може скластись; перевірити стан системи оповіщення і збору керівного складу, органів управління цивільного захисту персоналу об'єкту; встановити постійний зв'язок і взаємне інформування про ситуацію, що склалася, з вищестоящим керівництвом; доповісти про обстановку і проведені заходи вищестоящому керівництву; організація спостереження і контроль за станом навколишнього середовища і прилеглих до об'єкта території; забезпечення захисту персоналу під час загрози надзвичайної ситуації техногенного, природного та воєнного характеру; при виникненні надзвичайної ситуації, що загрожує життю і здоров'ю персоналу, здійснюється їх екстрена евакуація в безпечний район.

Обов'язки начальника з цивільного захисту у режимі надзвичайної ситуації:

По-перше:

- оцінити обстановку, прийняти відповідні рішення;
- забезпечити своєчасне оповіщення персоналу об'єкта;
- проведення рятувальних та інших невідкладних робіт;

- організувати надання першої медичної допомоги постраждалим і евакуація їх у лікувальні заклади;
- забезпечення контролю за заходами безпеки при проведенні рятувальних, аварійно – відновлювальних та інших невідкладних робіт;
- евакуація персоналу у безпечний район.

По – друге:

- доповісти вищестоящому керівництву про місце, час, причину, вид надзвичайної ситуації, завдані збитки, вжиті заходи.

Обов'язки начальника штабу ЦО полягає в забезпеченні негайного доведення одержання сигналу оповіщення чи інформації про виникнення надзвичайної ситуації до керівництва, невоєнізованих формувань цивільного захисту, усього персоналу. Прийняття негайних заходів щодо захисту персоналу. Організація і здійснення рятувальних, аварійно-відновлювальних та інших невідкладних робіт. Забезпечення функціонування за призначенням органів управління та невоєнізованих формувань цивільного захисту. Організування практичного виконання плану ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного, природного чи воєнного характеру та їх наслідків. Забезпечення розробки наказів, розпоряджень і вказівок начальника цивільного захисту та органів управління цивільного захисту. Забезпечення своєчасного подання відповідних звітів і донесень до вищестоящого керівництва.

5 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Проектування і експлуатація установок метанового шумування показує, що методика визначення економічної ефективності [77-79] від впровадження установки метанового шумування, повинна враховувати оптимальний вплив позитивних факторів, із зведенням до мінімальних, затрат на її впровадження, тобто [2,11]

$$E = P - Z \quad (5.1)$$

де E – річний економічний ефект, грн.;

P – господарський ефект від впровадження установки, грн.;

Z – витрати на впровадження установки, грн.

Так, якщо в розвинених країнах основним ефектом від будівництва біогазових установок вважається екологічний, то в Україні біогазові технології змушені [57-62] конкурувати з іншими технологіями тільки за рахунок енергетичного ефекту й ефекту від виробництва якісних органічних добрив. Екологічне питання визначається існуючим на сьогодні м'яким екологічним законодавством, що не дозволяє включити в економічний ефект від використання біоенергетичних технологій екологічну складову.

При цьому господарський ефект від впровадження біогазової установки визначається [2,11]

$$P = D \cdot \Delta U \quad (5.2)$$

де D – річний приріст прибутків від покращення виробничих результатів при впровадженні установки, грн.;

ΔU – попереджені економічні втрати (як результат зниження рівня забруднення навколишнього середовища і покращення санітарно-гігієнічних норм) ΔU приймається 2...4% від

річного приросту прибутку, грн. $\Delta Y = 1,02$

Річний приріст прибутку D , в кожному конкретному випадку, визначається прийнятою методикою використання продуктів ферментації [2,11]

$$D = E_1 + E_2 + E_3 \quad (5.3)$$

де E_1 – додатковий прибуток від використання біогазу, грн.;

E_2 – додатковий прибуток від використання шламу від зшумованої маси, грн.;

E_3 – зниження затрат за рахунок зменшення об'єму вивезення і зберігання відходів, грн.

При проектуванні біогазової установки необхідно перевірити, чи дійсно є окупною фактична потреба виробництва в біогазі, його високий вихід з відходів, так як при обмеженому використанні потенціалу газу можна значно знизити витрати на її впровадження і експлуатацію.

5.1 Прибуток від використання біогазу

Технологія метанового шумування є одночасно і виробником енергії і її споживачем [51,60,65-68]. Щоб зменшити власне споживання енергії установкою, необхідно ставити високі вимоги до будови метантенку (його форми і теплоізоляції) і до механізмів перемішування.

Товарний біогаз може бути використаний в якості біопалива для потреб господарства, для виробництва електроенергії і інших цілей.

При використанні біогазу в якості палива (для двигунів внутрішнього згоряння з одержанням електроенергії та тепла), E_1 визначається за формулою [2,11]

$$E_1 = \eta \cdot K \cdot V_1 \cdot C_e \cdot D_p \quad (5.4)$$

де η – коефіцієнт корисної дії когенераційної станції з приводом від двигуна внутрішнього згоряння, $\eta = 0,75 - 0,85$;

K – коефіцієнту переведення;

V_1 – кількість товарного біогазу, який підлягає спалюванню, $\text{м}^3/\text{год.}$;

C_e – ціна електроенергії, $1,68 \text{ грн.}/(\text{кВт}/\text{год.})$;^[42]

D_p – кількість днів накопичення гною, днів.

$$K = q_1/q_2 \quad (5.5)$$

де q_1 – кількість енергії, яку одержуємо при згорянні 1 м^3 біогазу;

q_2 – кількість енергії, яку одержуємо при згорянні заміненого палива, $\text{МДж}/\text{л}$, $\text{МДж}/\text{м}^3$, $\text{МДж}/\text{кг}$.

Значення коефіцієнта K для різних енергоносіїв різне, а саме:

- для природного газу $K = 0,6 \dots 0,75$
- для котельного твердого палива $K = 0,5 \dots 0,6$
- для дизельного палива $K = 0,55 \dots 0,7$.

$$E_1 = 0,8 \cdot 0,7 \cdot 3608,85 \cdot 1,68 \cdot 365 = 1\,239\,250 \text{ грн}$$

5.2 Прибуток від використання біодобрива в рідкому вигляді

Додатковий прибуток E_2 визначається вартістю біодобрив в перерахунку на нітроамофоску поскільки він найбільше східний по властивостям, одержаної за рахунок використання добривних елементів біодобрива або прибутком від його продажу як біодобрива ^[2,11]

$$E_2 = C_{\text{нафк}} \cdot V_{\text{бд}} \cdot \beta \cdot D_p \quad (5.7)$$

де $C_{\text{нафк}}$ – ціна одного кілограму нітроамофоска, грн. $C_{\text{нафк}} = 16 \text{ грн.}$

^[43]

$V_{\text{бд}}$ – кількість шламу разом рідкого та зневодненого, т;
 β – коефіцієнт, перевodu біодобрива в нітроаммофоску, $\beta=0,0093$ [43]

$$E_2 = 16 \cdot 36591,7 \cdot 0,093 \cdot 365 = 19\,873\,684 \text{ грн}$$

5.3 Зниження витрат за рахунок скорочення об'ємів вивозу і зберігання відходів

Зменшення витрат E_3 на видалення гною за рахунок транспортування рідкої частини стоків по трубопроводу, замість вивозу мобільним транспортом (у випадку без розділення на фракції), і зниження затрат по зберіганню відходів перед їх використанням, визначаються за формулою [2,11]

$$E_3 = (Z_{\text{в}} - Z_{\text{т}}) + (Z_{\text{о}} - Z_{\text{о}}^1) \quad (6.9)$$

де $Z_{\text{в}}$ – витрати на вивіз гною до впровадження установки, грн.;

$Z_{\text{т}}$ – витрати на транспортування рідких стоків після впровадження установки, грн.;

$Z_{\text{о}}$ – витрати на будівництво відстійників для зберігання відходів до впровадження установки, грн.;

$Z_{\text{о}}^1$ – витрати на будівництво накопичувача для зберігання рідких стоків після впровадження установки, грн.

$$Z_{\text{в}} = V \cdot C_{\text{п}} \cdot D_{\text{р}} \quad (6.10)$$

де V – продуктивність установки по вихідній сировині, т/год.;

$C_{\text{п}}$ – вартість перевезення гною в гноєсховище, $C_{\text{п}} = 0,37$ грн./т.

$$Z_{\text{в}} = 40,930 \cdot 1,1 \cdot 365 = 16433,4 \text{ грн}$$

Витрати Z_T – на транспортування рідкої фракції (до накопичення) повинні визначатися із наступних умов:

- враховуючи, що стоки відферментованої маси в своєму складі містять не більше 1 % твердої речовини і володіють достатньо високою здатністю текти (на рівні води), транспортування їх можливе по зовнішньому ізольованому трубопроводу із забезпеченням його необхідних нахилів;

- транспортування стоків від установки до накопичувача можливо здійснювати насосним обладнанням, яке входить у комплект обладнання установки, без будівництва спеціальної насосної станції [2,11]

$$Z_T = C_T \cdot V_c \cdot D_p \quad (6.11)$$

де C_T – вартість перевезення 1т стоків на поле, $C_T = 0,98$ грн/т;

V_c – об'єм стоків які вивозяться на поле, т.

$$Z_T = 36,6 \cdot 0,98 \cdot 365 = 13091,8 \text{ грн}$$

$$Z_o = V_o \cdot C_o \quad (6.12)$$

де C_o – середня вартість будівництва 1 м³ відстійника, $C_o = 120$ грн/м³[44]

V_o – необхідний об'єм відстійника для зберігання гною до впровадження установки, м³.

Об'єм відстійника повинен забезпечувати зберігання не переробленого рідкого гною протягом не менше 12 місяців, тобто повинен бути по об'єму не менший V .

$$Z_o = 120 \cdot 40,9 \cdot 365 = 1791420 \text{ грн}$$

Тоді

$$Z_o^1 = V_o^1 \cdot C_o \cdot D_3 \quad (6.13)$$

де V_o^1 – необхідний об'єм накопичувача для рідких стоків (на період зберігання в зимовий період), m^3 .

D_3 - найбільша кількість днів протягом яких не вивозять біодобрива на поля.

$$Z_o^1 = 36,592 \cdot 120 \cdot 90 = 395193,6 \text{ грн}$$

$$E_3 = (16433,4 - 13921) + (1791420 - 395193) = 1398739,4 \text{ грн}$$

5.4 Витрати на монтаж установки

Величина приведених витрат на монтаж установки визначається за формулою [2,77,79]

$$Z = C + E_n \cdot K \quad (6.14)$$

де C – експлуатаційні затрати на обслуговування установки, грн.;

K – капіталовкладення, грн.;

E_n – нормативний коефіцієнт капіталовкладень, $E_n = 0,15$.

Нормативний коефіцієнт ефективності визначається як відношення сукупного додаткового продукту до його сукупних основних оборотних виробничих фондів. В сучасних умовах розрахований коефіцієнт дорівнює 0,15. [46]

До експлуатаційних витрат на обслуговування установки входить:

✓ заробітна плата обслуговуючому персоналу з нарахуванням, грн./год. ;

✓ витрати на поточний і капітальний ремонт, грн./год.;

✓ амортизаційні відрахування, грн./год.

Враховуючи це

$$Z = 365 \cdot W \cdot C_e + Z_n \cdot N + (E_n + K_{пр} + K_p) \cdot K \quad (6.15)$$

де W – добова витрата електроенергії, кВт·год/добу;

C_e – ціна на електроенергію, грн./кВт·год.;

Z_n – заробітна плата оператора з нарахуванням, грн./год.;

N – кількість операторів, люд.;

$K_{пр}$, K_p – норми відрахувань на поточний, капітальний ремонт і реновацію.

Норма реновації визначається за формулою [2,77,79]

$$K_p = \frac{E_n}{(1 + E_n) \cdot t - 1} \quad (6.16)$$

де t – строк служби установки, $t = 25$ років; [47]

$$K_p = \frac{0,15}{(1 + 0,15) \cdot 25 - 1} = 0,0545$$

Капітальні вкладення K визначаються за формулою дані беруться з подібних по потужності установок [2,77,79]

$$K = B_o + B_б + B_m \quad (6.17)$$

де B_o – вартість основного технологічного обладнання (без вартості трубопроводу відкачування рідких витоків), грн.

$B_б$ – вартість будівельних робіт з врахуванням вартості будівельних матеріалів, грн.

B_m – вартість монтажних робіт, грн.

$$K = 4805000 + 3168000 + 1883800 = 9856800 \text{ грн}$$

$$З = 365 \cdot 0 \cdot 1,68 + 36000 \cdot 3 + (0,15 + 0,1 + 0,0545) \cdot 9856800 = 3109395,6 \text{ грн.}$$

Так, річний приріст прибутків від впровадження установки

$$Д = 1\,239\,250 + 19\,873\,684 + 1398739 = 22\,511\,673 \text{ грн.}$$

Господарський ефект від впровадження біогазової установки визначається

$$Р = 22\,511\,673 \cdot 1,02 = 22\,961\,906 \text{ грн.}$$

Таким чином, маючи значення всіх складових E_1 , E_2 , E_3 , E_4 , ΔY і $З$ можна визначити річний економічний ефект [2,77,79]

$$E = (E_1 + E_2 + E_3) \cdot 1,02 - З$$

$$E = (1\,239\,250 + 19\,873\,684 + 1398739) \cdot 1,02 - 3109395,6 \\ = 19\,852\,511 \text{ грн}$$

Окупність установки знаходиться за формулою [77,79]

$$O = \frac{E}{K} \tag{6.18}$$

$$O = \frac{19\,852\,511}{9856800} = 2,0 \text{ роки}$$

Висновок: Аналіз розрахунків, проведених за наведеною методикою, показує, прибуток від використання біогазу, як палива для генераторів становить 1 239 250 грн. Прибуток від використання біодобрива в рідкому вигляді, в перерахунку на нітроамофоску становить 19 873 684 грн. Зниження витрат за рахунок скорочення об'ємів вивозу і зберігання відходів 1398739,4 грн. Сума капіталовкладень становить 9,86 млн. грн. Річний економічний ефект складає близько 19,8 млн. грн. Термін окупності установки є невеликим і становить 2 роки.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз існуючих технологій та установок для метаногенерації, дозволив визначити, що одним з найбільш проблемним і актуальним в даному етапі є утилізація гною. Запропонування нами технології та установка для метаногенерації, дає можливість утилізувати гній шляхом метаногенерації отриманий біогаз використовувати на потреби господарства, а шлам використовувати, як біодобриво на полях.

2. Обрано мезофільний температурний режим анаеробного бродіння. Обґрунтовано використання трьох секційного метантенку з вібраційною інтенсифікацією бродіння. Розраховано тепловтрати біогазової установки при різних температурах, що дало змогу обрати оптимальний вид термоізоляції.

3. В розділі представлено методика визначення технологічних розрахунків. Що дало змогу розрахувати основні технологічні дані метаногенерації в умовах ТОВ «Батьківщина-555». Було розраховано об'єм гною та побічних біологічних відходів, які потрібно утилізувати $V_H = 40930$ кг. Знайдено об'єм виробляемого установкою газу $V_G = 3839,2\text{ м}^3$ та добрив $V_D = 36564$ кг. Проведено енергетичний розрахунок установки, загальна кількість тепла, яку можна отримати з біогазу становить 95980 МДж, на власні потреби витрачається близько 5800Мдж. Розраховано об'єм метантенку, який становить 2946 м^3 , та поверхню теплообмінника $F_2 = 1,7 \text{ м}^2$, що дасть більш точно розрахувати економічну ефективність.

4. В розділі охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях, наведено заходи щодо: забезпечення безпеки при одержанні і використанні біогазу; безпеки при виготовленні і монтажі метантенка біогазової установки; безпеки при експлуатації біогазової установки; охорона навколишнього середовища; функціонування установки у надзвичайних ситуаціях

5. Аналіз розрахунків, проведених за наведеною методикою, показує, прибуток від використання біогазу, як палива для генераторів

становить 1 239 250 грн. Прибуток від використання біодобрива в рідкому вигляді, в перерахунку на нітроамофоску становить 19 873 684 грн. Зниження витрат за рахунок скорочення об'ємів вивозу і зберігання відходів 1398739,4 грн. Сума капіталовкладень становить 9,86 млн. грн. Річний економічний ефект складає близько 19,8 млн. грн. Термін окупності установки є невеликим і становить 2 роки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нікульшин В. Р. Використання відновлювальних джерел енергії/ В. Р. Нікульшин, В. В. Височин. — О.: Наука і техніка, 2006. — 244 с. ISBN 966-8335-46-5.
2. Биогазовые технологии: курс лекцій / за ред. Ю.В. Караева — К.: Казань 2013. — 161 с.
3. Біогазові технології в Україні. Встановлення та робота біогазових установок. Центр біогазових технологій — Режим доступу: <http://biogascenter.googlepages.com> — 30 с.
4. Скляр Р.В. Машини, обладнання та їх використання в тваринництві: підручник/ Р.В. Скляр, О.Г. Скляр, Н.І. Болтянська, Д.О. Мілько, Б.В. Болтянський. — К.: Видавничий дім «Кондор», 2019 . — 608 с.
5. Биогаз на основе возобновляемого сырья/ за ред. Бурга Геммеке, Криста/ Институт Генриха фон Тюнена Институт аграрных технологий и биосистемной техники Бундесаллее – Германия : Брауншвайг, 2010. – 260с.
6. Баадер Б. Биогаз: Теория и практика. / Баадер Б., Доне Брендерфер М.; Пер. с нем. М. И. Серебрянного – М. : Колос, 1982. – 148 с.
7. Бойлс Д. Биоэнергия: технология, термодинамика, издержки/ Бойлс Д.; Пер. з англ. – М. : Агропромиздат, 1987. – 152 с.
8. Соуфер С. Биомасса как источник энергии. / Соуфер С., Заборски О.; Пер. з англ. – М. : Мир, 1985. – 368 с.
9. Джеджула В. В., Альтернативні джерела енергозабезпечення фермерських господарств/ Джеджула В. В., Демченко Л. Л. // Індивідуальний житловий будинок. Книга за матеріалами третьої республіканської науково-технічної конференції. – Вінниця. – 2001. – С. 137–141.
10. Деклараційний пат. № 7184 Україна. Біогазовий реактор / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Державний департамент інтелектуальної власності. – № 20041008416; Заяв. від 18.10.2004; Опубл. 15.06.2005; Бюл № 6.

11. Руководство по биогазу от получения к использованию: руководство/ Немецкий центр исследования биомассы - Гюльцов, 2010 – 215с.
12. Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.: Energie aus Biomasse –Grundlagen, Techniken und Verfahren; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2001
13. Braun, R.: Biogas – Methangärung organischer Abfallstoffe; Springer Verlag Wien, New York, 1982
14. Weiland, P.: Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und -erzeugung in Deutschland, Gölzower Fachgespräche, Band 15: Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial, S. 8-27, Weimar, 2000
15. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (Hrsg.): Biogas-Messprogramm II, Gölzow, 2009
16. Lebuhn, M.; Bauer, C.; Gronauer, A.: Probleme der Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen im Langzeitbetrieb und molekularbiologische Analytik. VDLUFA-Schriftenreihe 64, 2008, S. 118–125
17. Ратушняк Г.С. Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання: навчальний посібник / Г.С. Ратушняк, В. В. Джеджула, К.В. Анохіна – Віниця: ВНТУ, 2010 – 170с.
18. Ратушняк Г. С. Інтенсифікація теплообміну та термостабілізація біореакторів / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. // Вісник ВПІ. – 2006. – № 2. – С. 26–31. – ISSN 1997–9266.
19. Панцхава Е. С. Биоэнергетические установки по конверсии органических отходов в топливо и органические удобрения / Панцхава Е. С., Кошкин Н. Л. // Теплоэнергетика. – 1993. – № 4. – С. 20–23.
20. Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Підвищення продуктивності біогазового реактора управлінням параметрами вільноконвективних процесів теплообміну // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – №2. – С. 29–32.

21. Деклараційний пат. № 13260 Україна. Експериментальна установка для вимірювання середніх температур стінки та температурних напорів / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В., Державний департамент інтелектуальної власності.– № u 2005 09738; Заяв. 17.10.2005; Опубл. 15.03.2006; Бюл № 3.

22. Михеев М. А. Основы теплопередачи / Михеев М. А, Михеева И. М. – М. : Энергия. 1977 – 344 с.

23. Пат. 17230 Україна, МПК Е 04 В 2/02, Е 04 В 2/14. Теплоізоляційна панель / Ратушняк Г. С., Анохіна К. В., Чухряєва О. Г.; Державний департамент інтелектуальної власності. – № u200603243; заявл. 27.03.2006; опубл. 15.09.2006, Бюл. №9.

24. Пат. 26811 Україна, МПК Е 04 В 2/02, Е 04 В 2/14. Теплогідроізоляційна покрівля / Ратушняк Г. С., Анохіна К. В., Ратушняк О. Г.; Державний департамент інтелектуальної власності. – № u200704953; Заявл. 03.05.2007; опубл. 10.10.2007.

25. Ратушняк Г. С. Контроль параметрів температурних напорів в одно– та багатофазних середовищах/ Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. //Вісник ВПІ. – 2005. – № 6. – С. 193–195. – ISSN 1997–9266.

26. Деклараційний пат. № 70885 А Україна. Біогазовий реактор / Ратушняк Г. С., Джеджула В.В., Державний департамент інтелектуальної власності. – № 20031213279; Заяв. від 31.12.2003; Опубл. 15.10.2004; Бюл № 10.

27. Деклараційний пат. № 7938 Україна. Біогазовий реактор / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Державний департамент інтелектуальної власності.–№ 20041210473; Заяв. від 20.12.2004; Опубл. 15.07.2005; Бюл.№ 7.

28. Ратушняк Г. С. Моделювання процесів теплообміну при вібраційному впливі в багатокомпонентних сумішах біореакторів / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. // Наукові праці Вінницького національного університету–2008. – № 1. – Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/20081/uk.files/08rgsmob_uk.pdf

29. Гелету́ха Г. Г. Біогаз зі звалищ. Перспективи використання в Україні/ Гелету́ха Г. Г., Копе́йкін К. О. // Зелена енергетика. – 2002. – №1. – С. 13–16. – ISSN 1684-2294.

30. Деклараційний пат. № 7184 Україна. Біогазовий реактор / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Державний департамент інтелектуальної власності.– № 20041008416; Заяв. від 18.10.2004; Опубл. 15.06.2005; Бюл № 6.

31. Fand R. U. Acoustic streaming near a heated cylinder. / Fand R. U., Kaye J. //The journal of the acoustical society of America – 1966. – Vol. 32, №5. – P. 579– 584.

32. Ткаченко С. Й. Методичні основи моделювання системи термостабілізації реактора біогазової установки / Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Резидент Н. В. // Праці за матер. IV всеукр. наук–техн. конф. «Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві». – Вінниця. – 2004. – С. 70–79.

33. Деклараційний пат. № 15894 Україна. Біогазовий реактор /Ратушняк Г. С., Джеджула В. В., Державний департамент інтелектуальної власності. – № u 2006 01110; Заяв. від 06.02.2006; Опубл. 17.07.2006; Бюл № 7.

34. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии индентификации. Нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети/ Ротштейн А. П. – Винница : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1999. – 320 с.

35. Митюшкин Ю. И. Идентификация закономерностей нечеткими базами знаний. / Митюшкин Ю. И., Мокин Б. И., Ротштейн А. П. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2002. – 145 с.

36. Недригайлов В.А. Охрана труда, ремонт и обслуживание сельскохозяйственной техники. - М.: Колос, 1986. - 320 с.

37. Адаменко А.И., Голодный И.М., Сокольников Л.И Замкнутая система вентиляции и нетрадиционные источники энергии// Сельскохозяйственная теплоэнергетика. - М., 1992. - С.36-37.

38. Технология использования биомассы в биогазовых установках // Т. Амон, Б.Амон, В.Дубровин и др. // Зб.наук. праць НАУ. - 2003. - №60. - С.18.
39. Корчемний М.О., Федорейко В.С., Щербань В.В. Энергозбереження в агропромисловому комплексі. - Тернопіль: Підручники та посібники, 2001. - 984 с.
40. Встановлення "зеленого" тарифу на електроенергію. Закон України "Про електроенергетику" // Режим доступу до ресурсу:
<http://iknet.com.ua/uk/presentation/full/energetika>
41. Торгова платформа All.biz // Режим доступу до ресурсу:
<http://www.ua.all.biz/uk/nitroamofoska-bgg1002427>
42. Біогазові установки від виробника // Режим доступу до ресурсу:
<http://www.energoberezhnie.com/biogas.html>
43. Інтернет-портал АПК України. Стrojительство навозохранилищ, отстойников // Режим доступу до ресурсу: http://agronovator.ua/ua/gds/gr_592/strojitelstvo-navozohranilishch-otstojnikov-id9243.html?pay_link=top
44. Погуда Н.В. Нормативний коефіцієнт ефективності інвестицій як спосіб повернення інвестиції в країну : ДВНЗ "КНЕУ ім. В. Гетьмана", м. Київ // Режим доступу до ресурсу: <http://intkonf.org/poguda-nv-normativniy-koefitsient-efektivnosti-investitsiy-yak-sposib-povernennya-investitsiyi-v-krayinu/>
45. Скляр О.Г. Механізовані технології в виробництві сільськогосподарської продукції: посібник-практикум для виконання лабораторних робіт/ О.Г. Скляр, Р.В. Скляр, Н.І. Болтянська, Б.В. Болтянський, С.В. Дереза, С.М. Григоренко. – Мелітополь: Люкс, 2019. – 303 с.
46. Болтянська Н.І. Машиновикористання техніки в тваринництві: навчальний посібник з виконання лабораторних робіт/ Н.І. Болтянська, О.Г. Скляр, Р.В. Скляр, Б.В. Болтянський, С.В. Дереза. – Мелітополь: ТДАТУ, 2019. – 180 с.
47. Скляр О. Г. Механізація технологічних процесів у тваринництві: навч. посібник/ О.Г.Скляр, Н.І.Болтянська. – Мелітополь: Колор Принт, 2012. – 720 с.

48. Рогач Ю.П. Проблематика реформування СУОП в Україні / Ю.П. Рогач, О.В. Яцух, І.М. Мохнатко, Д. Мясніченко // Безпека життєдіяльності в XXI столітті : тез. допов. VIII Міжнар. наук.-практ. конф. (19-20 листопада 2020 р.) / відп. ред. А.С. Беліков. – Дніпро: ПДАБА, 2020. – С. 70-72.

49. Закон «Про охорону праці» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://pon.org.ua/ohorona-praci/72-zakon-pro-okhoronu-praci.html>.

50. Скляр О.Г. Основи проектування тваринницьких підприємств: підручник для здобувачів СВО ЗВО/ О.Г. Скляр, Н.І. Болтянська. — К. : Видавничий дім «Кондор», 2018. — 380 с.

51. Болтянський Б.В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник/ Б.В. Болтянський, О.Г. Скляр, Р.В. Скляр, Н.І. Болтянська, С.В. Дереза; К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.

52. Болтянська Н.І. Проектування та монтаж техніки агропромислового виробництва»: курс лекцій/ Н.І. Болтянська, О.Г. Скляр, Р.В. Скляр, Б.В. Болтянський, С.В. Дереза. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. 196 с.

53. Скляр О.Г., Болтянська Н.І., Скляр Р.В, Маніта І. Ю. Механізація доїння і первинної обробки молока: підручник. К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. - 401 с.

54. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Порівняльна характеристика термічних методів переробки пташиного посліду. Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 10, том 2.

55. Григоренко С.М. Технічні рішення щодо сушіння пташиного посліду. Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 10, том 2.

56. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Формування витрат енергоносіїв на виробництво тваринницької продукції. Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 1.

57. Скляр Р.В., Гузь О.О. Аналіз вимог до технологій підготування пташиного посліду до використання. Крамаровські читання: Зб. тез VII

Міжнародної науково-технічної конференції (20-21 лютого 2020 р) К.: Видавничий центр НУБіП України, 2021. С. 206-209.

58. Скляр О.Г., Гузь О.О. Обґрунтування фізико-хімічних властивостей органічних відходів тваринництва як субстрату анаеробної переробки. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: Мат. II Міжнар. наук.-практ. конф. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 333-335.

59. Гузь О.О. Мультиплікативний ефект від біотехнологічних способів переробки відходів агропромислового комплексу. Науковий керівник: О.Г. Скляр Аграрна галузь сучасної України: проблеми та перспективи розвитку: матер. I Міжн. наук.-практ. конф. (14 травня 2021 року). Луганськ, 2021. С.

60. Гузь О. Переваги і недоліки технології анаеробного зброджування. Науковий керівник: О.Г. Скляр, Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: Мат. I Міжнар. наук.-практ. конф. мол. учених. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 36.

61. Гузь О.О. Основні напрями розвитку біогазових установок. Науковий керівник: О.Г. Скляр, Молодь і сільськогосподарська техніка у XXI сторіччі: Збірка матеріалів XVII-го Міжнародного форуму молоді. Харків: ХНТУСГ. 2021. С. 24.

62. Скляр Р.В. Особливості процесу метаногенерації пташиного посліду/ О.Г. Скляр, Р.В. Скляр// Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2018. - Вип. 8. Т.2, - С.8-15.

63. Скляр Р.В. Програма та методика експериментальних досліджень на лабораторній біогазовій установці/ О.Г. Скляр, Р.В. Скляр, С.М. Григоренко // Вісник Харківського національного університету с. г. ім. П. Василенка: Наукове фахове видання. – Вип.199. - Харків: 2019. - С. 267-275.

64. Скляр Р. В. Аналіз способів та засобів для перемішування субстрату в метантенках біогазових установок/ О. Г. Скляр, Р.В. Скляр// Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. - Kyiv. Ukraine,

2019. - Vol. 10, No 4, b.-P.33-37. DI: 10.31548/machenergy.2019.04.033-037

65. Скляр Р.В., Скляр О.Г. Аналіз роботи насосів, що використовуються в біогазових установках. Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодержавний збірник. ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2019. Вип. № 10 (109). С. 139-145.

66. Скляр Р.В., Скляр О.Г. Аналіз роботи біогазових установок. Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодержавний збірник. ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2019. Вип. № 10 (109). С. 132-138.

67. Скляр Р.В., Скляр О.Г., Войтов В.А. Аналіз технологій утилізації відходів птахівництва за кордоном. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Вип. 19. Т. 4. С. 100-109 DOI: 10.31388/2078-0877-19-4-100-109.

68. Скляр Р.В. Аналіз способів подачі субстрату в метантенк біогазової установки. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного [Електронний ресурс]. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 10. Т. 1. URL: <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik>. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-4.

69. Скляр Р.В., Скляр О.Г. Обґрунтування способу перемішування субстрату для експериментальної біогазової установки. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного [Електронний ресурс]. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 10. Т. 1. URL: <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik>. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-6.

70. Скляр Р.В., Скляр О.Г. Теоретичні дослідження режимів і параметрів метантенку біогазової установки. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного [Електронний ресурс]. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 10. Т. 1. URL: <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik>. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-14.

71. Григоренко С.М., Скляр Р. В. Адаптивні методи утилізації відходів птахівництва. Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 1.

72. Skliar O.G., Skliar R.V Substrate management in biogas plants. Молодь і технічний прогрес в АПК: Мат. Міжнародної науково-практичної конференції. Том 2. Інноваційні розробки в аграрній сфері. Харків: ХНТУСГ. 2021. С. 260-262.
73. Boltianska N., Skliar R., Komar A. Definition of priority tasks for agricultural development. Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. «Multidisciplinary research». Bilbao, Spain 2020. Pp. 431-433.
74. Boltianska N., Skliar R., Skliar O. Measures to improve energy efficiency of agricultural production. Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference. Bordeaux «Social function of science, teaching and learning». Bordeaux, France. 2020. Pp. 478-480.
75. Рогач Ю.П. Пожежна безпека / Ю.П. Рогач – Сімферополь Таврія Плюс, 2011 – 124 с.
76. Rohach Y., Yatsukh O., Zoria M. Determining the Risks of the Production Environment of an Agricultural Enterprise. Modern Development Paths of Agricultural Production: Trends and Innovations / Ed. V. Nadykto. Cham, Switzerland : Springer, 2019. P. 777-785. ISBN 978-3-030-14917-8.
77. Андреева Л.О. Техніко-економічне обґрунтування доцільності пропозицій. Методичні вказівки для дипломного проектування студентів денної та заочної форми навчання / Андреева Л.О – 32 с.
78. Андрійчук В.Г. Економіка аграрного підприємства: Навч.-метод. посібник для самост. вивч. дисц. – К.: КНЕУ 2000 – 356 с.
79. Андрійчук В.Г. Економіка аграрних підприємств: Підручник. – 2-ге вид., доп. і перероблене. /В.Г. Андрійчук. – К.: КНЕУ, 2002.-624 с.
80. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», затверджені наказом МОН України від 08.04.2014 р. № 248.

ДОДАТКИ

Додаток А

(довідковий)

Таблиця А.1 - Тепловтрати для психофільного режиму зброджування ($T < 20^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{опт}} = 5-15^{\circ}\text{C}$)

Термічний опір та режим роботи	Температура зовнішнього середовища $T_{\text{зовн.}}, ^{\circ}\text{C}$								
	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R=1 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{опт}}^{\text{БГУ}}=10^{\circ}\text{C}$	-10,0	-5,0	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
$R=1 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{мак}}^{\text{БГУ}}=15^{\circ}\text{C}$	-5,0	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0
$R=2 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{опт}}^{\text{БГУ}}=10^{\circ}\text{C}$	-5,0	-2,5	0,0	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0
$R=2 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{мак}}^{\text{БГУ}}=15^{\circ}\text{C}$	-2,5	0,0	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5
$R=3 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{опт}}^{\text{БГУ}}=10^{\circ}\text{C}$	-3,3	-1,6	0,0	1,7	3,3	5,0	6,7	8,3	10,0
$R=3 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{мак}}^{\text{БГУ}}=15^{\circ}\text{C}$	-1,6	0,0	1,7	3,3	5,0	6,7	8,3	10,0	11,7
$R=4 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{опт}}^{\text{БГУ}}=10^{\circ}\text{C}$	-2,5	-1,2	0,0	1,3	2,5	3,8	5,0	6,3	7,5
$R=4 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{мак}}^{\text{БГУ}}=15^{\circ}\text{C}$	-1,2	0,0	1,25	2,5	3,8	5,0	6,3	7,5	8,8

Таблиця А.2 - Тепловтрати для мезофільного режиму збродження ($T < 20^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{опт}} = 5-15^{\circ}\text{C}$)

Термічний опір та режим роботи	Температура зовнішнього середовища $T_{\text{зовн.}}^{\circ}\text{C}$								
	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R=1 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{опт}}^{\text{БГУ}}=32^{\circ}\text{C}$	12,0	17,0	22,0	27,0	32,0	37,0	42,0	47,0	52,0
$R=1 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{мак}}^{\text{БГУ}}=45^{\circ}\text{C}$	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0
$R=2 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{опт}}^{\text{БГУ}}=32^{\circ}\text{C}$	6,0	8,5	11,0	13,5	16,0	18,5	21,0	23,5	26,0
$R=2 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{мак}}^{\text{БГУ}}=45^{\circ}\text{C}$	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	32,5
$R=3 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{опт}}^{\text{БГУ}}=32^{\circ}\text{C}$	4,0	5,7	7,3	9,0	10,6	12,3	14,0	15,6	17,3
$R=4 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{опт}}^{\text{БГУ}}=32^{\circ}\text{C}$	3,0	4,3	5,5	6,8	8,0	9,3	10,5	11,7	13,0
$R=4 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{мак}}^{\text{БГУ}}=45^{\circ}\text{C}$	6,3	7,5	8,8	10,0	11,2	12,5	13,7	15,0	16,3

Таблиця А.3 - Тепловтрати для термофільного режиму збродження ($T = 45 \dots 55^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{опт}} = 48 \dots 51^{\circ}\text{C}$)

Термічний опір та режим роботи	Температура зовнішнього середовища $T_{\text{зовн.}}$ °C								
	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R=1 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{опт}}^{\text{БГУ}}=50^{\circ}\text{C}$	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0
$R=1 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{мак}}^{\text{БГУ}}=55^{\circ}\text{C}$	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0
$R=2 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{опт}}^{\text{БГУ}}=50^{\circ}\text{C}$	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	32,5	35,0
$R=2 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{мак}}^{\text{БГУ}}=55^{\circ}\text{C}$	17,5	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	32,5	35,0	37,5
$R=3 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{опт}}^{\text{БГУ}}=50^{\circ}\text{C}$	10,0	11,7	13,3	15,0	16,7	18,3	20,0	21,7	23,3
$R=3 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{мак}}^{\text{БГУ}}=55^{\circ}\text{C}$	11,7	13,3	15,0	16,7	18,3	20,0	21,7	23,3	25,0
$R=4 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{опт}}^{\text{БГУ}}=50^{\circ}\text{C}$	7,5	8,8	10,0	11,3	12,5	13,8	15,0	16,3	17,5
$R=4 \text{ (M}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт.}$ $T_{\text{мак}}^{\text{БГУ}}=55^{\circ}\text{C}$	8,8	10,0	11,3	12,5	13,8	15,0	16,3	17,5	18,8

Додаток Б

Вихід біогазу з врахуванням часу і температури ферментації

Температура процесу, °С	Час шумування, діб	Вихід СН ₄ л/кг завантаженої СОР	Температура процесу, °С	Час шумування, діб	Вихід СН ₄ л/кг завантаженої СОР
25	5	22,44	44	5	118,59
	10	54,40		10	269,95
	20	116,26		20	428,93
28	5	21,68	48	5	203,18
	10	91,73		10	308,12
	20	174,80		20	478,44
32	5	63,23	50	5	179,17
	10	161,12		10	285,13
	20	329,98		20	357,95
34	5	100,07	54	5	119,93
	10	202,17		10	302,34
	20	347,73		20	385,71
36	5	66,67	56	5	184,68
	10	164,90		10	375,88
	20	296,10		20	469,38
40	5	115,61	60	5	61,83
	10	265,10		10	74,72
	20	417,56		20	93,84