УДК 631.363:631.862:662.767
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-21

Грушецький С. М.
кандидат технічних наук,
доцент кафедри агроінженерії та точного землеробства імені Михайла Самокиша,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *g.sergiy.1969@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-0487-6152*

Дубчак Н. А.
кандидат технічних наук,
доцент кафедри машиновикористання та технологій в сільському господарстві,
Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
«Бережанський агротехнічний інститут»
Бережани, Україна
E-mail: *dybchak1010@ukr.net*
ORCID: *0000-0003-3279-7897*

Фльонц О. В.
кандидат технічних наук,
доцент кафедри машиновикористання та технологій в сільському господарстві,
Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
«Бережанський агротехнічний інститут»
Бережани, Україна
E-mail: *flonts79@gmail.com*
ORCID: *0009-0004-5885-3708*

Лавріненко О. Т.
кандидат технічних наук,
доцент кафедри сільськогосподарських машин
та системотехніки ім. акад. П. М. Василенка,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Київ, Україна
E-mail: *lavrinenko@nubip.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-1347-6668*

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАШИН ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА НА БІОГАЗ ТА ОРГАНІЧНІ ДОБРИВА

Анотація

У роботі розглянуто актуальне науково-практичне завдання обґрунтування параметрів та оцінки ефективності використання машин для переробки відходів тваринництва на біогаз і органічні добрива. В умовах зростання енергетичних потреб аграрного сектору та посилення екологічних вимог особливого значення набуває впровадження ресурсозберігаючих технологій, що забезпечують утилізацію органічних відходів із одночасним отриманням енергії та цінних побічних продуктів.

У дослідженні проаналізовано технологічні процеси анаеробного зброджування та визначено основні параметри, що впливають на ефективність роботи машин і обладнання, зокрема об'єм біореактора, температурний режим, тривалість перебування субстрату, ступінь його підготовки та інтенсивність перемішування. Встановлено, що найбільш раціональним є використання мезофільного режиму ферментації (30–38°C) із часом утримання 20–30 діб, що забезпечує стабільний вихід біогазу та оптимальні енергетичні витрати.

Особливу увагу приділено техніко-технологічному обґрунтуванню машин для підготовки сировини, зокрема подрібнювачів, гомогенізаторів та шнекових сепараторів, які дозволяють підвищити однорідність субстрату та знизити навантаження на біореактор. Досліджено вплив конструкції мішалок на інтенсивність біохімічних процесів і доведено, що ефективне перемішування сприяє збільшенню виходу метану та стабілізації процесу зброджування.

© Грушецький С. М., Дубчак Н. А., Фльонц О. В., Лавріненко О. Т., 2026
pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

Отримані результати свідчать, що застосування сучасних машин і технологій дозволяє підвищити вихід біогазу на 15–25% та отримати високоякісний дигестат із покращеними агрохімічними властивостями порівняно з традиційним гноєм. Встановлено, що дигестат містить більшу кількість доступних форм азоту, фосфору і калію, що підвищує ефективність його використання як органічного добрива.

Обґрунтовано економічну та екологічну доцільність впровадження біогазових установок у сільськогосподарських підприємствах. Використання таких систем сприяє зниженню витрат на енергоносії, мінімізації негативного впливу відходів на довкілля та формуванню замкненого циклу виробництва.

Ключові слова: *відходи тваринництва, біогаз, гомогенізація, сепарація, органічні добрива.*

Вступ. На сучасному етапі розвитку агропромислового виробництва України інтенсифікація тваринництва призводить до критичного накопичення органічних відходів. Традиційні методи їх зберігання у відкритих лагунах спричиняють значне екологічне навантаження: забруднення підземних вод нітратами, деградацію прилеглих ґрунтів та викиди парникових газів (метану та аміаку), що загострює проблему глобального потепління.

У контексті Цілей сталого розвитку до 2030 року, зокрема подолання голоду та розвитку сталого сільського господарства (ЦСР № 2), питання раціонального поводження з відходами стає стратегічним та (ЦСР №12) «Відповідальне споживання та виробництво», оскільки саме вона містить завдання щодо скорочення утворення відходів, їх повторного використання та переробки [21]. Впровадження інноваційних машин та технологічних комплексів для анаеробного зброджування дозволяє трансформувати екологічну проблему в енергетичний та агрохімічний ресурс.

На рисунку 1 показано схему біогазового реактора [20], який виробляє біогаз як джерело відновлюваної енергії.

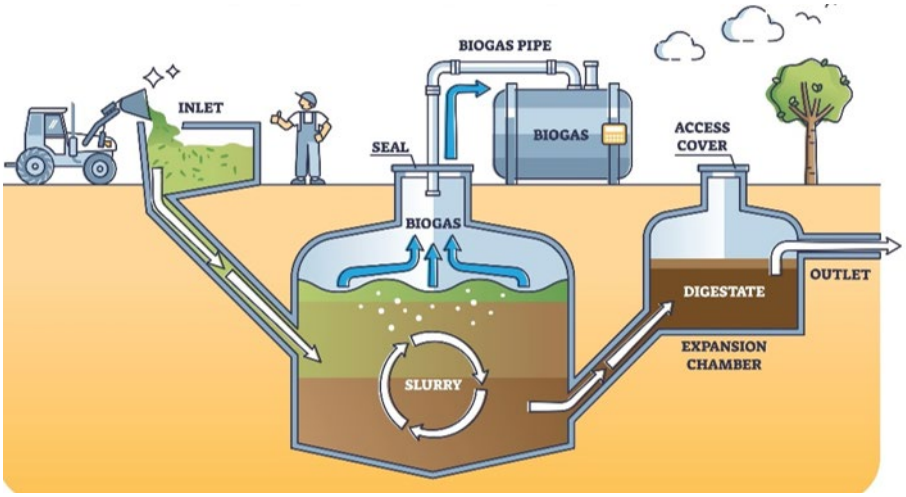


Рис. 1. Схема біогазового реактора [20]

Схема ілюструє, як працює реактор, від моменту додавання біомаси до моменту збору газу та дигестату. Біогазовий реактор – це замкнена система, яка виробляє біогаз шляхом анаеробного розкладання органічної речовини, такої як відходи тваринного та рослинного життєдіяльності. На схемі показано основні компоненти біогазового реактора та процес виробництва біогазу, а також продукти цього процесу.

Необхідність переходу до циркулярної економіки. Перехід від лінійної моделі виробництва («ресурс – продукція – відходи») до ***циркулярної (замкненої)*** моделі є ключовим пріоритетом. У такій системі відходи тваринництва розглядаються не як баласт, а як цінна сировина для двох паралельних процесів:

– *енергетична безпека* – отримання біогазу (метану), який може бути конвертований у теплову чи електричну енергію для потреб ферми;

– *відновлення родючості* – виробництво дигестату – високоякісного рідкого органічного добрива, у якому поживні елементи (N, P, K) знаходяться у легкодоступній для рослин формі, на відміну від сирого гною [12; 13].

Можна виділити декілька аспектів:

– *екологічний аспект* – переробка відходів тваринництва в біогазових установках сприяє зменшенню неконтрольованих викидів метану, заміщенню викопного палива біогазом та виконанню Україною міжнародних кліматичних зобов'язань за Паризькою угодою [8; 22];

– *економічний аспект* – заміна дороговартісних мінеральних добрив (ціни на які корелюють з цінами на природний газ) на власний дигестат знижує собівартість рослинницької продукції [4; 5];

– *технологічний аспект* – потреба в автоматизації процесів переробки для стабільної роботи бактерій у біореакторі (вимоги до подрібнення та термічного режиму) [6].

За даними Міжнародного агентства з відновлюваної енергетики (IRENA), одна молочна корова здатна забезпечити близько 500 нм³ метану на рік із гною, тоді як для м'ясної худоби потенціал становить 240–880 нм³

CH_4 на рік залежно від умов утримання та типу гною. За вмісту метану в біогазі 55–65 % це відповідає приблизно 400–900 м³ біогазу на рік [17; 18].

Обґрунтування параметрів роботи машин (об'ємів реакторів, потужності насосних установок, систем перемішування та сепарації) є необхідною умовою для забезпечення максимального виходу біогазу та мінімізації енерговитрат на власні потреби установки.

Агроінженерія в цьому контексті у процесі біоконверсії виступає фундаментом, що перетворює біологічну теорію на промислову реальність. Її ключова роль полягає у:

– *синтезі технічних систем* – створення комплексних ліній, що забезпечують безперервність циклу переробки;
– *оптимізації енергоспоживання* – мінімізація «власних потреб» установки для підвищення загального ККД;
– *керуванні фізико-механічними процесами* – забезпечення ідеального гомогенного стану субстрату для максимального виходу метану.

Ключові аспекти обґрунтування параметрів

Для досягнення високої ефективності машин необхідно чітко розрахувати їхні конструктивні та технологічні характеристики:

– *гідродинамічні параметри* – геометрія лопатей перемішувачів та частота їх обертання безпосередньо впливають на інтенсивність газовиділення;
– *теплотехнічні показники* – розрахунок систем підігріву реактора для підтримки мезофільного або термофільного режимів з мінімальними втратами тепла;
– *матеріалознавчий аспект* – використання корозійностійких матеріалів, здатних витримувати агресивне середовище біосубстрату.

Реалізація принципів циркулярної економіки неможлива без високоефективних машин та обладнання. Існуючі технологічні лінії часто потребують значних енерговитрат на перекачування та перемішування субстрату. Це створює «технологічний бар'єр», коли енергія, витрачена на процес, стає занадто високою відносно отриманої користі.

Тому розробка та обґрунтування параметрів нових енергоефективних агрегатів для переробки відходів є критично важливим завданням для сучасної аграрної науки.

Саме на вирішення цих суперечностей – між високим потенціалом біоенергетики та високою енергоємністю наявних засобів механізації – і спрямована дана робота. Ми фокусуємося на створенні технічних рішень, які дозволять зробити процес переробки не просто екологічно доцільним, а економічно вигідним за рахунок оптимізації конструктивних параметрів обладнання.

Загальна характеристика та обґрунтування параметрів машин

Машини для переробки відходів тваринництва на біогаз і органічні добрива базуються на процесі ***анаеробного зброджування*** – розкладанні органічної маси без доступу кисню з утворенням метану та дигестату (добрива) [10] (рис. 2).



Рис. 2. Біогазова установка [10]

Основні технологічні параметри:

1) об'єм реактора (ферментера):
– визначається кількістю відходів (гній, послід);
– для малих господарств: 1–10 м³; для промислових – сотні і тисячі м³ [9].

2) температурний режим:
– психрофільний (5–20°C), мезофільний (~35°C), термофільний (~55°C);
– впливає на швидкість ферментації та вихід біогазу.

3) час гідравлічного утримання (HRT):
– 15–40 діб (залежно від типу сировини);
– чим довший час – тим повніше зброджування.
4) вологість і підготовка субстрату:
– необхідна гомогенізація та подрібнення;
– якість підготовки прямо впливає на вихід газу [7].
5) вихід біогазу:
– з 1 м³ відходів: ~20–35 м³ біогазу [3].

Конструкція та склад сучасних машин (обладнання)

Сучасні біогазові установки – це комплекс машин і агрегатів, основні вузли: приймальний бункер / завантажувач, подрібнювачі та гомогенізатори (для підготовки біомаси), насосні станції (роторні насоси), біореактор (ферментер), мішалки, система підігріву, газгольдер (накопичення газу), системи очищення газу, система відведення дигестату (добрива) [7].

Важливо: сучасні установки мають модульну структуру, що дозволяє адаптувати їх до конкретних типів відходів.

Ефективність використання.

Енергетична ефективність: біогаз використовується для виробництва електроенергії, теплопостачання (великі станції можуть виробляти МВт·год енергії щорічно.

Екологічна ефективність: зменшення викидів парникових газів до 90% [3], утилізація відходів без забруднення ґрунтів і води.

Агрохімічна ефективність: отримання органічних добрив (дигестату), покращення родючості ґрунтів.

Економічна ефективність: зниження витрат на утилізацію відходів, додатковий прибуток від енергії та добрив, окупність – кілька років [2].

Аналіз існуючих машин (останні дослідження та аналоги), вітчизняні розробки (Україна) – модульні біогазові комплекси (аграрні): орієнтовані на ферми, установки типу *agriSelect*, потужність – 75–265 кВт [1].

Обладнання для підготовки біосубстрату:
– подрібнювачі, міксери, насоси;
– гнучка адаптація під сировину [7].

Малі біогазові установки:
– для фермерських господарств;
– простота конструкції, низька вартість [9].

Зарубіжні аналоги – Німецькі біогазові станції (типові для ЄС): високий рівень автоматизації, використання коферментації (гній + силос). Данські централізовані біогазові комплекси: об'єднання кількох ферм, оптимізація логістики сировини. Китайські малі біогазові реактори: дешеві, масово впроваджені, простота експлуатації. Американські промислові біогазові установки: великі комплекси (мегаферми), інтеграція з виробництвом електроенергії [11; 14; 15; 16; 19; 23; 24; 25].

Зведена порівняльна характеристика сучасних машин показана в табл. 1.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика сучасних машин

Параметр	Вітчизняні	Зарубіжні
Вартість	Нижча	Вища
Автоматизація	Середня	Висока
Адаптація до сировини	Висока	Висока
Енергоефективність	Середня/висока	Висока
Масштаб	Малі/середні	Середні/великі

Машини для переробки відходів тваринництва є ефективними багатофункціональними системами, що поєднують утилізацію відходів, виробництво енергії та добрив. Ключові параметри (температура, час ферментації, підготовка субстрату) визначають ефективність роботи. Вітчизняні аналоги більш доступні та адаптовані до локальних умов, тоді як зарубіжні – більш автоматизовані та енергоефективні. Найперспективніший напрям – модульні біогазові комплекси з замкненим циклом.

Метою даного дослідження є наукове обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів та оцінка ефективності використання машин і обладнання для переробки відходів тваринництва з отриманням біогазу та високоякісних органічних добрив.

Виклад основного матеріалу дослідження. Переробка відходів тваринництва на біогаз і органічні добрива є одним із найбільш перспективних напрямів розвитку агропромислового комплексу, що поєднує енергетичну незалежність, екологічну безпеку та підвищення родючості ґрунтів. Основою технології є процес анаеробного зброджування органічної сировини з утворенням біогазу та дигестату.

1. Обґрунтування технологічних параметрів

Ефективність роботи машин і установок визначається рядом ключових параметрів, які мають бути оптимізовані залежно від виду сировини та умов експлуатації.

Об'єм біореактора (ферментера)

Об'єм реактора визначається добовим виходом відходів і необхідним часом їх переробки:

$$V=Q\cdot t \quad (1)$$

де V – об'єм реактора, м³;
Q – добова кількість субстрату, м³/добу;
t – час перебування (15–40 діб).

Збільшення об'єму забезпечує повніше зброджування, але потребує більших капіталовкладень.

Температурний режим:

Режим ферментації безпосередньо впливає на швидкість біохімічних процесів:

– психрофільний 10–20°C;
– мезофільний: 30–38°C (оптимальний);
– термофільний: 50–55°C.

Мезофільний режим є найбільш економічно доцільним, оскільки забезпечує стабільну роботу системи при помірних енерговитратах.

Вологість та підготовка сировини:

Оптимальна вологість субстрату становить 85–92%. Для цього використовуються:

– подрібнювачі;
– гомогенізатори;
– змішувачі.

Якісна підготовка сировини підвищує вихід біогазу на 15–25%.

Перемішування субстрату:

Перемішування забезпечує:

– рівномірний розподіл бактерій;
– запобігання утворенню кірки;
– покращення газовиділення.

Оптимальна частота – 2–6 разів на добу.

Вихід біогазу:

Середній вихід біогазу залежить від типу відходів:

– гній ВРХ 20–25 м³/т;
– свинячий гній 25–35 м³/т;
– пташиний послід до 60 м³/т.

Вміст метану становить 50–70%.

2. Обґрунтування конструктивних параметрів машин

Сучасні машини для біогазового виробництва включають комплекс взаємопов'язаних агрегатів.

Система підготовки сировини:

Включає:

– подрібнювачі;
– дозатори;
– змішувачі.

Вона визначає однорідність субстрату та стабільність процесу бродіння.

Біореактор (ферментер):

Основний елемент установки, до якого висуваються вимоги:

– герметичність;
– теплоізоляція;
– стійкість до корозії;
– наявність мішалок і системи підігріву.

Форма реактора (циліндрична або купольна) впливає на гідродинаміку процесу.

Система підігріву:

Підтримує заданий температурний режим:

– теплообмінники;
– водяні або парові системи.

Газозбір і очищення:

Включає:

– газгольдери,
– системи очищення від H_2S та вологи.

Система видалення дигестату:

Передбачає:
– насосне обладнання;
– сепаратори (рідка/тверда фракції).

3. Ефективність використання машин

Енергетична ефективність:

Біогаз використовується для:
– виробництва електроенергії;
– отримання тепла.

ККД когенераційних установок становить 75–90%.

Екологічна ефективність:

Використання машин забезпечує:
– зменшення викидів метану в атмосферу;
– усунення неприємних запахів;
– запобігання забрудненню ґрунтів і вод.

Агрономічна ефективність:

Дигестат:
– містить доступні форми азоту, фосфору, калію;
– покращує структуру ґрунту;
– підвищує врожайність на 10–20%.

Економічна ефективність:

Основні фактори:
– економія на енергоносіях;
– зменшення витрат на утилізацію відходів;
– прибуток від реалізації добрив.

Окупність установок: 3–7 років.

4. Узагальнення результатів дослідження

Обґрунтування параметрів машин для переробки відходів тваринництва показало, що максимальна ефективність досягається за умов:
– оптимального температурного режиму (мезофільного);
– правильно підібраного об’єму реактора;
– якісної підготовки сировини;
– ефективного перемішування.

Використання сучасних машин дозволяє створити замкнений цикл виробництва, у якому відходи перетворюються на енергію та добрива, що значно підвищує ефективність аграрного виробництва та знижує негативний вплив на довкілля.

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що найбільш ефективною є комплексна система машин, яка включає: попередню підготовку сировини (подрібнення та гомогенізацію), механічну сепарацію, анаеробне зброджування в біореакторі з активним перемішуванням.

Оптимальним режимом роботи є: мезофільний температурний режим (30–38°С), час перебування субстрату – 20–30 діб, використання ефективних мішалок (лопатевих або комбінованих), попередня сепарація сировини.

Саме така конфігурація забезпечує: максимальний вихід біогазу, стабільність процесу, високу якість органічних добрив.

Практичні рекомендації для агропідприємств. Для підвищення ефективності переробки відходів тваринництва доцільно: впроваджувати модульні біогазові установки, адаптовані до обсягів господарства, обов’язково використовувати обладнання для підготовки сировини (подрібнювачі, змішувачі), застосовувати шнекові сепаратори для зменшення навантаження на біореактор, підтримувати стабільний температурний режим (переважно мезофільний), оптимізувати режим перемішування для запобігання утворенню кірки, використовувати отриманий дигестат як органічне добриво, що дозволяє зменшити витрати на мінеральні добрива, інтегрувати біогазові установки з системами енергозабезпечення підприємства.

Впровадження таких рішень дозволяє: знизити витрати на утилізацію відходів, забезпечити енергетичну автономність, підвищити економічну ефективність господарства.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження доцільно спрямувати на автоматизацію процесів біогазового виробництва із застосуванням: температурних сенсорів, датчиків pH, систем контролю газового складу, розробку інтелектуальних систем керування, що дозволяють у режимі реального часу оптимізувати параметри процесу, удосконалення конструкцій біореакторів: підвищення ефективності перемішування, зменшення енергоспоживання, дослідження коферментації різних видів сировини (гній + рослинні рештки), підвищення якості дигестату та розробку нових форм органічних добрив, впровадження технологій очищення та збагачення біогазу до біометану.

Конфлікт інтересів: Грушецький С. є членом редакційної колегії журналу. Для забезпечення незалежності редакційного процесу рукопис розглядався редактором, який не мав конфлікту інтересів з автором. Автор не брав участі у відборі рецензентів, процесі рецензування та прийнятті рішення щодо публікації статті. Рукопис пройшов стандартну процедуру подвійного сліпого рецензування.

Список використаних джерел

1. Біогазові та біометанові станції. URL: https://agroenergyparks.com/tehnologiyi/biogazovi-ta-biometanovi-stanciyi (дата звернення: 24.07.2026).

2. Біогазові установки – що це? URL: https://bio.ukr.bio/ua/articles/2329/ (дата звернення: 24.07.2026).

3. Відходи тваринництва та рослинні рештки як сировина для біогазового виробництва. AgroBiogas. URL: https://agrobiogas.com.ua/livestock-waste-and-crop-residues-as-raw-materials-for-biogas-production/ (дата звернення: 24.07.2026).

4. Євтушенко М. Д., Мельничук М. Д. Біогазові технології в аграрному виробництві. Київ : Аграрна наука, 2019. 256 с.

5. Іванишин В. В., Грушецький С. М., Рудь А. В. Машини та обладнання в тваринництві : підручник. Кам'янець-Подільський : ПДАТУ : ТОВ «Друкарня «Рута»», 2021. 468 с. ISBN 978-617-8021-28-3.

6. Калетнік Г. М., Пришляк В. М. Біоенергетика: сучасний стан та перспективи розвитку в Україні. Вінниця : ВНАУ, 2020. 312 с.

7. Обладнання для ДГУ. URL: https://agrotex.com.ua/product-category/ustatkuvannya-dlya-bgu/ (дата звернення: 24.07.2026).

8. Про ратифікацію Паризької угоди : Закон України від 14.07.2016 № 1469-VIII. База даних «Законодавство України». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1469-19 (дата звернення: 14.07.2026).

9. Типи біогазових установок. URL: https://studwood.net/2123870/tovarovedenie/tipi_biogazovih_ustanovok (дата звернення: 15.07.2026).

10. Що таке біогазова установка? URL: https://termocom.com.ua/ua/shho-take-biogazova-ustanovka/ (дата звернення: 14.07.2026).

11. Al Seadi T., Drosg B., Fuchs W. et al. Biogas Digestate Quality and Utilization. Vienna : IEA Bioenergy, 2013. 40 p. URL: https://www.ieabioenergy.com/publications/biogas-digestate-quality-and-utilisation/ (accessed: 15.07.2026).

12. Angelidaki I., Treu L., Tsapekos P. et al. Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. Biotechnology Advances. 2018. Vol. 36, No. 2. P. 452–466. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.01.011.

13. Appels L., Baeyens J., Degrève J., Dewil R. Principles and potential of anaerobic digestion of waste-activated sludge. Progress in Energy and Combustion Science. 2008. Vol. 34, No. 6. P. 755–781. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2008.06.002.

14. European Biogas Association. EBA Statistical Report 2022. Brussels, 2022. URL: https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/12/EBA-Statistical-Report-2022_-Short-version.pdf?utm_source=chatgpt.com (accessed: 15.07.2026).

15. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Biogas Technology: A Training Manual for Extension. Rome : FAO, 2019. URL: https://www.fao.org/4/ae897e/ae897e00.pdf?utm_source=chatgpt.com (accessed: 15.07.2026).

16. Holm-Nielsen J. B., Al Seadi T., Oleskowicz-Popiel P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. Bioresource Technology. 2009. Vol. 100, No. 22. P. 5478–5484. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046.

17. International Renewable Energy Agency (IRENA). Biogas for Domestic Cooking: Technology Brief. Abu Dhabi : IRENA, 2017. 44 p. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Dec/IRENA_ Biogas_for_domestic_cooking_2017.pdf (accessed: 29.07.2026).

18. International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable Energy Statistics 2021. Abu Dhabi : IRENA, 2021. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Aug/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2021.pdf (accessed: 15.07.2026).

19. Kothari R., Tyagi V. V., Pathak A. Waste-to-energy: A way from renewable energy sources to sustainable development. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010. Vol. 14, No. 9. P. 3164–3170. https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.05.005.

20. Tilley E., Ulrich L., Lüthi C., Reymond Ph., Zurbrügg C. Compendium of Sanitation Systems and Technologies. 2nd revised ed. Dübendorf, Switzerland : Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), 2014. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schematic_of_the_Biogas_Reactor.jpg (accessed: 15.07.2026).

21. United Nations. Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development. New York : United Nations, 2015. URL: https://sdgs.un.org/2030agenda (accessed: 14.07.2026).

22. United Nations Development Programme (UNDP Ukraine). Ukraine Develops Action Plan and Financial Strategy for Paris Agreement. 17 September 2021. URL: https://www.undp.org/ukraine/press-releases/ukraine-develops-action-plan-and-financial-strategy-paris-agreement (accessed: 14.07.2026).

23. Ward A. J., Hobbs P. J., Holliman P. J., Jones D. L. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. Bioresource Technology. 2008. Vol. 99, No. 17. P. 7928–7940. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.044.

24. Weiland P. Biogas production: current state and perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology. 2010. Vol. 85. P. 849–860. https://doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7.

25. Zhang R., El-Mashad H. M., Hartman K. et al. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. Bioresource Technology. 2007. Vol. 98, No. 4. P. 929–935. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.02.039.

Hrushetskyi S. M.
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Agroengineering and Precision Agriculture
named after Mykhailo Samokysh,
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *g.sergiy.1969@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-0487-6152*

Dubchak N. A.
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Machinery Use and Technologies in Agriculture,
Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
«Berezhany Agrotechnical Institute»
Berezhany, Ukraine
E-mail: *dybchak1010@ukr.net*
ORCID: *0000-0003-3279-7897*

Flonts O. V.
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Machinery Use and Technologies in Agriculture,
Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
«Berezhany Agrotechnical Institute»
Berezhany, Ukraine
E-mail: *flonts79@gmail.com*
ORCID: *0009-0004-5885-3708*

Lavrinenko O. T.
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Agricultural Machines and System Technologies
named after Academician P.M. Vasylenko,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
E-mail: *lavrinenko@nubip.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-1347-6668*

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS AND EFFICIENCY OF MACHINES FOR PROCESSING LIVESTOCK WASTE INTO BIOGAS AND ORGANIC FERTILIZERS

Abstract

The paper addresses an акmyal scientific and practical problem of substantiating the parameters and evaluating the efficiency of machines used for processing livestock waste into biogas and organic fertilizers. Under conditions of increasing energy demand in the agricultural sector and stricter environmental requirements, the implementation of resource-saving technologies that ensure the utilization of organic waste with simultaneous production of energy and valuable by-products is of particular importance.

The study analyzes the technological processes of anaerobic digestion and determines the main parameters affecting the efficiency of machines and equipment, including bioreactor volume, temperature regime, substrate retention time, degree of substrate preparation, and mixing intensity. It has been established that the most rational approach is the use of a mesophilic fermentation regime (30–38 °C) with a retention time of 20–30 days, which ensures stable biogas production and optimal energy consumption.

Particular attention is paid to the technical and technological substantiation of machines for feedstock preparation, including shredders, homogenizers, and screw separators, which improve substrate uniformity and reduce the load on the bioreactor. The influence of mixer design on the intensity of biochemical processes has been investigated, and it has been proven that efficient mixing contributes to increased methane yield and stabilization of the digestion process.

The obtained results demonstrate that the application of modern machinery and technologies can increase biogas yield by 15–25% and produce high-quality digestate with improved agrochemical properties compared with conventional manure. It has been determined that digestate contains higher amounts of available nitrogen, phosphorus, and potassium forms, which enhances its efficiency as an organic fertilizer.

The economic and environmental feasibility of implementing biogas plants in agricultural enterprises has been substantiated. The use of such systems contributes to reducing energy costs, minimizing the negative environmental impact of waste, and creating a closed-loop production cycle.

Key words: *livestock waste, biogas, homogenization, separation, organic fertilizers.*

References

1. Biohaziovi ta biomethanovi stantsii [Biogas and biomethane plants]. (2026). Retrieved from: https://agroenergyparks.com/tehnologiyi/biogazovi-ta-biometanovi-stanciyi [in Ukrainian].

2. Biohazovi ustanovky – shcho tse? [Biogas plants – what are they?]. (2026). Retrieved from: https://bio.ukr.bio/ua/articles/2329/ [in Ukrainian].

3. Vidkhody tvarynnytstva ta roslynni reshtky yak syrovyna dlia biohazovoho vyrobnytstva [Livestock waste and plant residues as raw materials for biogas production]. AgroBiogas. (2026). Retrieved from: https://agrobiogas.com.ua/livestock-waste-and-crop-residues-as-raw-materials-for-biogas-production/ [in Ukrainian].

4. Yevtushenko, M. D., & Melnychuk, M. D. (2019). Biohazovi tekhnolohii v ahrarnomu vyrobnytstvi [Biogas technologies in agricultural production]. Kyiv: Ahrarna nauka. [in Ukrainian].

5. Ivanyshyn, V. V., Hrushetskyi, S. M., & Rud, A. V. (2021). Mashyny ta obladnannia v tvarynnytstvi: Pidruchnyk [Machines and equipment in animal husbandry: Textbook]. Kamianets-Podilskyi: PDATU; Drukarnia Ruta. ISBN 978-617-8021-28-3. [in Ukrainian].

6. Kaletnik, H. M., & Pryshliak, V. M. (2020). Bioenerhetyka: Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku v Ukraini [Bioenergy: Current state and development prospects in Ukraine]. Vinnytsia: VNAU. [in Ukrainian].

7. Obladnannia dlia DHU [Equipment for biogas plants]. (2026). Retrieved from: https://agrotex.com.ua/product-category/ustatkuvannya-dlya-bgu/ [in Ukrainian].

8. Pro ratyfikatsiiu Paryzkoi uhody: Zakon Ukrainy vid 14.07.2016 № 1469-VIII [On ratification of the Paris Agreement: Law of Ukraine No. 1469-VIII of July 14, 2016]. (2026). Retrieved from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1469-19 [in Ukrainian].

9. Typy biohazovykh ustanovok [Types of biogas plants]. (2026). Retrieved from: https://studwood.net/2123870/tovarovedenie/tipi_biogazovih_ustanovok [in Ukrainian].

10. Shcho take biohazova ustanovka? [What is a biogas plant?]. (2026). Retrieved from: https://termocom.com.ua/ua/shho-take-biogazova-ustanovka/ [in Ukrainian].

11. Al Seadi, T., Drosg, B., & Fuchs, W., et al. (2013). Biogas digestate quality and utilization. Vienna: IEA Bioenergy. Retrieved from: https://www.ieabioenergy.com/publications/biogas-digestate-quality-and-utilisation/ [in English].

12. Angelidaki, I., Treu, L., & Tsapekos, P., et al. (2018). Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. Biotechnology Advances, 36(2), 452–466. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.01.011 [in English].

13. Appels, L., Baeyens, J., Degrève, J., & Dewil, R. (2008). Principles and potential of anaerobic digestion of waste-activated sludge. Progress in Energy and Combustion Science, 34(6), 755–781. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2008.06.002 [in English].

14. European Biogas Association. (2022). EBA Statistical Report 2022. Brussels. Retrieved from https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/12/EBA-Statistical-Report-2022_-Short-version.pdf?utm_source=chatgpt.com [in English].

15. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). Biogas technology: A training manual for extension. Rome: FAO. Retrieved from: https://www.fao.org/4/ae897e/ae897e00.pdf?utm_source=chatgpt.com [in English].

16. Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., & Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. Bioresource Technology, 100(22), 5478–5484. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046 [in English].

17. International Renewable Energy Agency. (2017). Biogas for domestic cooking: Technology brief. Abu Dhabi: IRENA. Retrieved from: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Dec/IRENA_Biogas_for_domestic_cooking_2017.pdf [in English].

18. International Renewable Energy Agency. (2021). Renewable energy statistics 2021. Abu Dhabi: IRENA. Retrieved from: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Aug/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2021.pdf [in English].

19. Kothari, R., Tyagi, V. V., & Pathak, A. (2010). Waste-to-energy: A way from renewable energy sources to sustainable development. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(9), 3164–3170. https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.05.005 [in English].

20. Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, Ph., & Zurbrügg, C. (2014). Compendium of sanitation systems and technologies (2nd revised ed.). Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Retrieved from: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schematic_of_the_Biogas_Reactor.jpg [in English].

21. United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations. Retrieved from https://sdgs.un.org/2030agenda [in English].

22. United Nations Development Programme Ukraine. (2021). Ukraine develops action plan and financial strategy for Paris Agreement. Retrieved from: https://www.undp.org/ukraine/press-releases/ukraine-develops-action-plan-and-financial-strategy-paris-agreement [in English].

23. Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., & Jones, D. L. (2008). Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. Bioresource Technology, 99(17), 7928–7940. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.044 [in English].

24. Weiland, P. (2010). Biogas production: Current state and perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology, 85, 849–860. https://doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7 [in English].

25. Zhang, R., El-Mashad, H. M., & Hartman, K., et al. (2007). Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. Bioresource Technology, 98(4), 929–935. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.02.039 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 29.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026