

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

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

ГОНЧАРУК ВІТАЛІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 631.171

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Дослідження електроімпульсної технології в біогазових
установках**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ В.А. Гончарук

Керівник роботи

Міненко С.В.

кандидат технічних наук

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Гончарук Віталій Анатолійович. Дослідження електроімпульсної технології в біогазових установках. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

Аналіз літературних джерел свідчить про зростання інтересу до способів переробки органічних відходів з метою одержання біогазу і добрив. Існуючі технологічні процеси отримання біогазу не вичерпують потенційні можливості біомаси; вихід біогазу при існуючому технологічному процесі не перевищує 3 м³ з 1 м³ метантенка. Тому науковий інтерес представляє розробка нової технології переробки органічних відходів, заснована на використанні електричних розрядів в процесі підготовки субстрату до зброджування, що дозволяє збільшити вихід біогазу.

В роботі експериментальним шляхом встановлено явище фазового переходу в водному субстраті курячого посліду, яке підтверджує виникнення електричного струму в субстраті, який підданий обробці електричним розрядом. Встановлене явище доводить прискорення електронного обміну між частинками і пояснює появу активних частинок в субстраті.

Підтверджено збільшення активності мікроорганізмів у водному органічному субстраті при впливі високовольтної обробки (методом КВЧ/СВЧ). Даний метод дозволив визначити оптимальні режими обробки: початкова напруга $U_0 = 7$ кВ, кількість імпульсів 5. Використання розробленого обладнання та запропонованого способу підвищення виходу біогазу дозволяє для птахофабрики знизити собівартість 1 м³ біогазу на 46,7%.

Ключові слова: електроімпульсна обробка, біогазова установка, біогаз, добрива, технологія.

ANNOTATION

Goncharuk Vitaliy Anatoliyovych. Research of electropulse technology in biogas plants. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 - Agricultural Engineering. - Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

Analysis of the literature shows an increase in interest in methods of processing organic waste to produce biogas and fertilizers. Existing technological processes of biogas production do not exhaust the potential of biomass; the output of biogas in the existing process does not exceed 3 m³ per 1 m³ of methane tank. Therefore, the scientific interest is the development of a new technology for processing organic waste, based on the use of electric discharges in the preparation of the substrate for fermentation, which increases the yield of biogas.

The phenomenon of phase transition in the aqueous substrate of chicken manure, which confirms the occurrence of electric current in the substrate, which is subjected to electric discharge, is experimentally established. The established phenomenon proves the acceleration of electronic exchange between particles and explains the appearance of active particles in the substrate.

Confirmed the increase in the activity of microorganisms in the aqueous organic substrate under the influence of high-voltage treatment (EHF / microwave method). This method allowed to determine the optimal processing modes: initial voltage $U_0 = 7$ kV, number of pulses 5. The use of the developed equipment and the proposed method to increase the yield of biogas allows the poultry farm to reduce the cost of 1 m³ of biogas by 46.7%.

Key words: electropulse treatment, biogas plant, biogas, fertilizers, technology.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЇ І ОБЛАДНАННЯ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК.....	9
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБРОБКИ БІОГАЗОВОЇ СУМІШІ.....	18
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ.....	27
ВИСНОВКИ.....	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	37

ВСТУП

Основне завдання агропромислового комплексу – стійке зростання сільськогосподарського виробництва, повне задоволення потреб країни в продуктах харчування та сировині. Це можливо лише завдяки прискоренню науково-технічного прогресу, переходу на інтенсивні нетрадиційні технології.

Розвиток тваринництва і птахівництва створили глобальну проблему утилізації великого обсягу органічних відходів, основними джерелами яких є великі тваринницькі та птахівницькі комплекси. В зв'язку з цим утилізація органічних відходів за рахунок анаеробного зброджування із застосуванням електротехнології набуває вирішального значення для агропромислового виробництва.

Аналіз робіт [1-6] показує, що раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів неможливо без вдосконалення існуючих і створення нових енергозберігаючих процесів, до яких повною мірою можна віднести мікробіологічне зброджування органічних відходів на основі електротехнології. Удосконалення даного процесу дозволить успішно боротися з високою забрудненістю ґрунту і водних шарів відходами агропромислового виробництва, а також вирішити питання щодо знезараження і більш глибокої переробки відходів рослинництва, тваринництва та птахівництва з одночасним отриманням товарного біогазу та високоякісних добрив.

Утилізація біоорганічних відходів призводить до значної економії цінної енергетичної сировини, так як продукти, які одержують в результаті цього процесу, біогаз і напіврідка маса, являють собою велику цінність як газоподібне паливо і органічне добриво. А якщо врахувати, що з сільськогосподарських відходів і сміття щодня можна отримувати понад 100 млн. тонн біомаси, то за рахунок її використання, можливо покривати десятку частину потреби нафти всієї країни [4-6].

Найбільш перспективним і економічно доцільним рішенням для агробіоенергетичної промисловості поряд з використанням енергії вітру, сонця, геотермальних джерел і т.д. є процес переробки побічних продуктів і відходів рослинництва, тваринництва та харчового виробництва на основі анаеробного зброджування органічних відходів.

Відомі способи переробки відходів органічного походження в біогазовій установці та отримання біогазу малоефективні [2, 7-9]. Для підвищення виходу біогазу в установках з переробки біомаси використовують різноманітні способи . Хороші результати отримують за рахунок дискретно-імпульсного вводу енергії за допомогою роторно-імпульсного апарату, який зазвичай виконують у вигляді дисків або коаксіальних циліндрів з перфорованими поверхнями [10]. При обертанні однієї з поверхонь відбуваються інтенсивні пульсації швидкості і тиску біомаси, що збільшує дифузію і вихід біогазу. Однак такі установки мають велику матеріаломісткість і складність в експлуатації.

Тому зростає інтерес до отримання біогазу на основі нових технологій [10].

Один з напрямків активації процесу переробки біоорганічних відходів - використання високовольтного електричного розряду, за допомогою якого прискорюється процес розкладання вихідного субстрату. Ступінь хімічної активності біомаси та відношення її елементів один до одного і іншим реагентів, а також фізичні та хімічні властивості в повній мірі визначаються його «надлишковим зарядом». Внаслідок електростатичної взаємодії у некомпенсованих зарядів структурних елементів речовини на макроскопічних відстанях спостерігається окислення органічних сполук і вибіркоче ініціювання багатоцентрових ланцюгових хімічних реакцій [11].

Мета і задачі дослідження. Мета роботи підвищити вихід біогазу при анаеробному зброджуванні за рахунок імпульсної електротехнології.

Відповідно до поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- Проаналізувати технології і обладнання біогазових установок;

- Розробити методику визначення оптимальних параметрів обробки біогазової суміші;

- Провести експериментальні дослідження.

Об'єкт дослідження: процес анаеробного зброджування.

Предмет дослідження: закономірності анаеробного зброджування органічного субстрату в залежності від режимів обробки електричним розрядом.

Методи дослідження. Основні дослідження виконано з використанням загальнонаукових методів пізнання, теплотехніки, теплофізики, хімії та механіки. Обробку експериментальних даних виконано за допомогою методів математичної статистики.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Савченко В. М., Гончарук В. А., Гордієнко В. С. Обладнання біогазових установок. Збірник тез V-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*. 28-29 березня 2019 року м. Житомир. ЖАТК. С. 267-271.

2. Гончарук В. А., Гордієнко В. С. Результати досліджень біогазової установки. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 9-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 168-172

3. Гончарук В. А. Технології і обладнання біогазових установок. IX Міжнародної науково-технічної конференції *«Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»*, 5-24 жовтня 2020 року, смт. Глеваха Київської області, Національний науковий центр «ІМЕСГ» НААН України. м. Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Видавничий центр НУБіП України, 2020.

Практичне значення одержаних результатів. Результати роботи можуть бути впровадженні в тваринницьких комплексах агропромислових підприємств України.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 18 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 38 сторінок комп'ютерного тексту, містить 2 таблиці і 13 рисунків.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЇ І ОБЛАДНАННЯ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

Одним з основних способів знезараження і переробки органічних відходів рослинного і тваринного походження з отриманням газоподібного палива – біогазу та екологічно чистих органічних добрив є біогазова технологія. Вона дозволяє вирішити проблему агрохімії, енергетики та екології.

Біогазова технологія являє собою складні природні процеси біологічного розкладання гною, птишиного посліду та інших органічних речовин в анаеробних умовах (без доступу повітря). При цьому під впливом анаеробних бактерій спостерігається процес мінералізації азото-, фосфор- і калійовмісних органічних сполук з отриманням азоту, фосфору і калію в мінералізованому вигляді, найбільш доступному для рослин, при повному знищенні патогенної мікрофлори, яєць гельмінтів, насіння бур'янів, нітратів і нітритів. Процес зброджування здійснюється в ємкості, яка називається метантенком або реактором.

У метантенці під дією бактерій частина органічної речовини розкладається з утворенням метану (60-70%), вуглекислого газу (30-40 %), невеликої кількості сірководню (0-30 %), а також домішок аміаку, водню і оксидів азоту.

Існуючі способи анаеробної переробки не забезпечують повноти зброджування і більш глибокого розкладання відходів сільськогосподарського виробництва. У силу сформованої ситуації видається актуальним розвиток біогазових установок для зброджування харчових і сільськогосподарських відходів за допомогою мікроорганізмів. Як правило, основними елементами біогазової установки є: камера зброджування (реактор, метантенк); пристосування для підтримки постійної температури в реакторі; пристрій, що забезпечує перемішування субстрату в реакторі; пристрій накопичення та зберігання біогазу (газгольдер).

Біогазові установки можуть використовуватися в невеликих фермерських господарствах і на великих сільськогосподарських підприємствах, де біогаз забезпечує вироблення електричного струму і теплової енергії на промислові потреби. На рис. 1.1 приведена схема енергокомплексу з біогазовою установкою для середніх і великих сільськогосподарських підприємств, в якій передбачено підігрів, перемішування субстрату і очищення біогазу від сірководню і CO_2 , що підвищує ефективність процесу бродіння. Субстрат підігривається за рахунок частини теплоти, що виробляється котлом. Котельня працює на біогазі і використовується для теплопостачання систем опалення, гарячого теплопостачання, запарювання кормів. Деяку кількість газу можна використовувати для побутових газових плит. Маса, що знаходиться в реакторі, перемішується механічною мішалкою з електроприводом. Осад збродженого субстрату використовується в якості добрив.

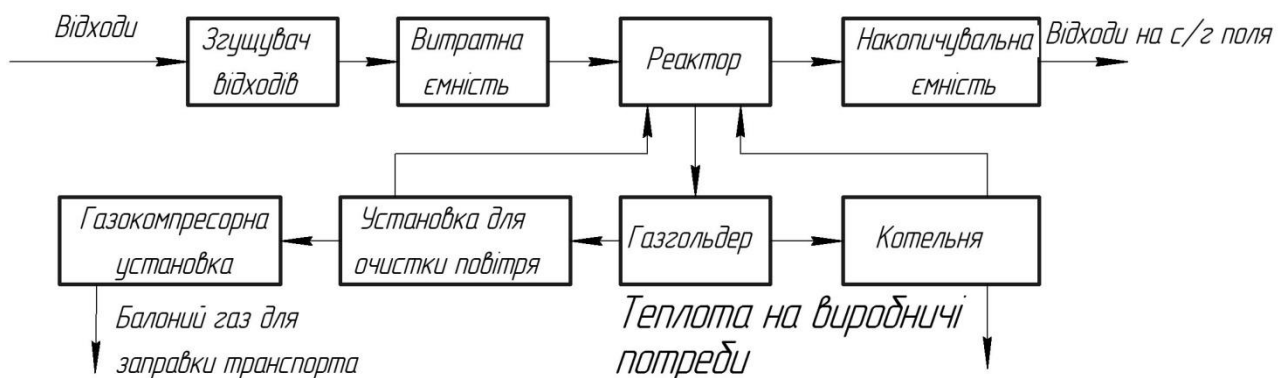


Рис. 1.1. Схема електрокомплексу з біогазовою установкою і газокомпресорною станцією для великих сільськогосподарських виробників

У великих сільськогосподарських підприємствах і птахофабриках, розміщених в районах, де доцільно використовувати енергію сонця, вітру, рекомендується комбінована біогазова установка, в якій електричну енергію можна отримувати від вітроустановки, а теплову – від сонячного колектора.

Більш універсальною є комбінована біоенергетична установка з компресором (рис. 1.2), завдяки якому накопичується біогаз незалежно від його споживання. Такі установки більш зручні в експлуатації, а особливо при

виробництві теплової й електричної енергії, графіки споживання яких можуть не збігатися за часом.

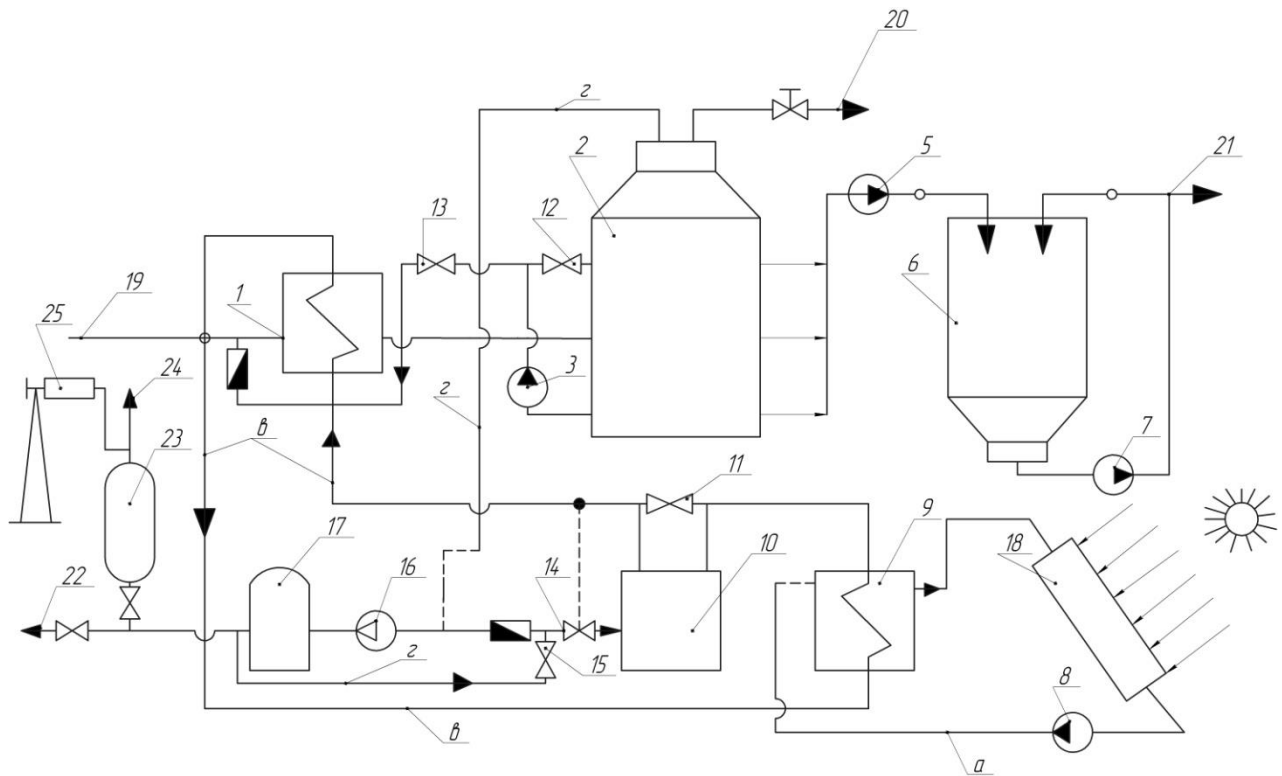


Рис. 1.2. Комбінована сонячна-біогазова установка: 1, 9 – теплообмінники; 2 – метантенк; 3, 5, 7, 8 – насоси; 4 – запобіжний клапан; 6 – відстійник; 10 – котел; 11, 12, 13, 15 – вентилі; 14 – регульовальний клапан; 16 – компресор; 17 – газгольдер; 18 – сонячний колектор; 19 – подача гною; 20 – в атмосферу; 21 – забродивший гній; 22 – до споживача біогазу; 23 – дизельна електростанція; 24 – електроенергія до споживача; 25 – вітродвигун; *a* – трубопровід антифризу; *b* – трубопровід теплоносія; *z* – газопровід.

Одна з найбільш поширених схем біогазових установок представлена на рис 1.3. У даній схемі органічні відходи подрібнюються в приймальній ємкості 3 і відцентровим насосом подаються у витримувач 8, а потім в реактор 9, де виробляється біогаз, облік біогазу здійснюється за допомогою лічильника 14. Тверді фракції з реактора надходять в гноєсховище 15.

Представлена біогазова установка виробляє до 750 м^3 біогазу на добу, в той час як на енергетичні потреби господарства витрачається близько $250 \text{ м}^3/\text{доб}$.

Перспективною є установка, в якій застосовується двохстадійне бродіння субстрату, схема якої представлена на рис 1.4. Вона призначена для підготовки вихідної біомаси (подрібнення, гомогенізація, нагрів) до бродіння, аеробного (кислотного) бродіння і, нарешті, анаеробного (метанового) бродіння і складається з наступних основних блоків:

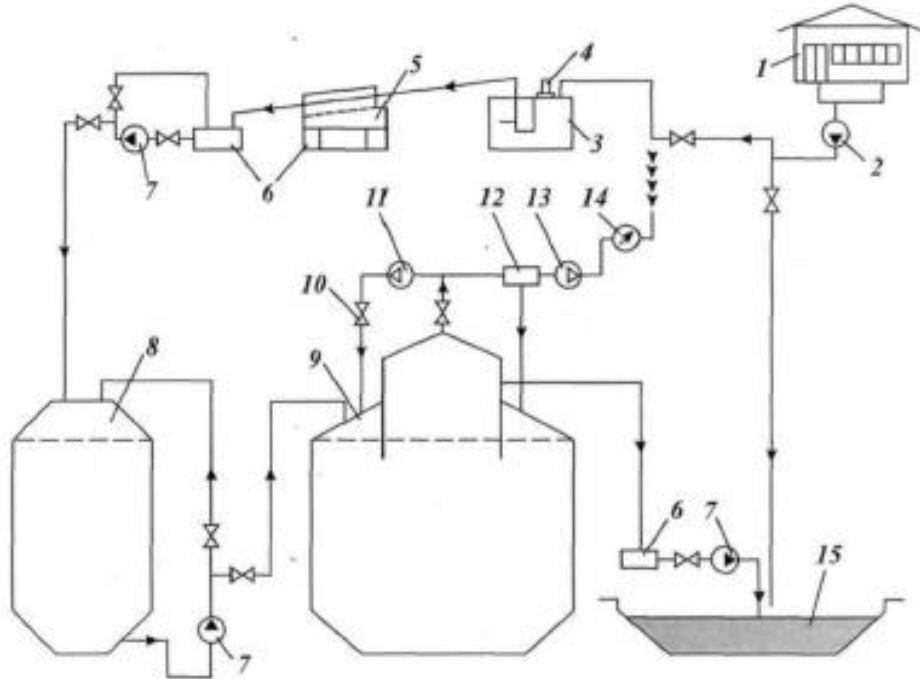


Рис. 1.3. Технологічна схема біоенергетичної установки 1 – ферма; 2 – насос; 3 – приймальня ємкість гною; 4 – відцентровий насос з подрібнювачем; 5 – віброгрохот, ГБН-100; 6 – ємкості; 7 – насоси ФГ-57,5/9,5б; 8 – витримувач; 9 – реактор; 10 – газові клапани; 11 – водокільцевий вакуум-насос; 12 – конденсатозбірник; 13 – компресор відбору газу УК-1М; 14 – газолічильник барабанний ГСБ-400; 15 – гноєсховище.

- блок підготовки, що включає в себе: приймач вихідної біомаси, обладнаний подрібнювачем 1 довговолокнистих включень; теплообмінник - рекуператор 2 «вихідна біомаса – забродивше добриво»; насос завантаження і датчики рівня маси;

- блок бродіння, що включає: витримувач 3 (реактор першої стадії – кислотний і реактор 7 другої стадії – метанової); теплообмінники 4 нагріву та

компенсації тепловтрат маси; насос-дозатор 5 для завантаження маси в реактори; запірну і регулюючу арматуру 6;

- енергоблок, що включає: котел газовий 9 і мотор-генератор 10 для отримання теплоти та електроенергії; компресор біогазу 16; очищувач біогазу 15; газгольдер 13, обладнаний перетворювачем тиску газу 11 і свічкою скидання надлишків біогазу 12; клапани 14 зворотні і для регулювання біогазу; датчики рівня, тиску і температури теплоносія, витратоміри та іншу вимірювальну апаратуру;

- автоматична система управління (АСУ) 8.

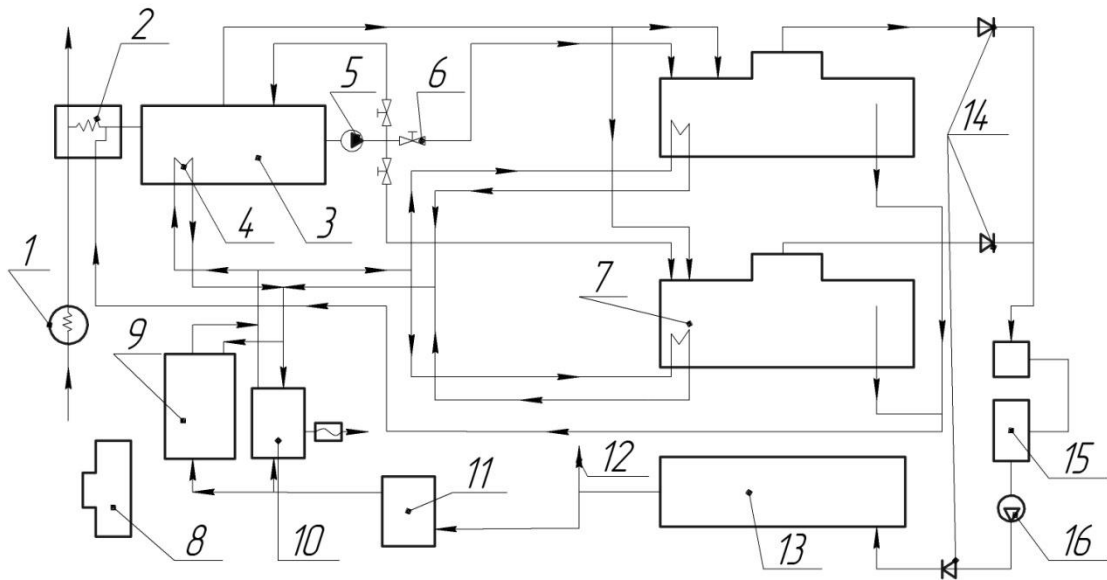


Рис. 1.4 . Технологічна схема БЕУ: 1 – подрібнювач; 2 – «вихідна біомаса – заморожене добриво»; 3 – витримувач, 4 – теплообмінники; 5 – насос –дозатор; 6 – запірна і регулююча арматура; 7 – реактор другої стадії (метанової); 8 – АСУ; 9 – котел газовий; 10 – мотор-генератор; 11 – перетворювач тиску газу; 12 – свічка; 13 – газгольдер; 14 – зворотній клапан.

У «НУБіП» (м. Київ) також проводяться дослідження з розробки обладнання і технології для анаеробного зброджування органічних відходів.

На підставі наведеного літературного аналізу біогазових установок загальним для всіх описаних конструкцій є наявність біореактора (метанку), забезпеченого різними нагрівальними пристроями та контрольно-вимірювальною апаратурою для підтримки заданого температурного режиму

зброджування, а також наявність різних по конструкції мішалок, які забезпечують перемішування органічного субстрату. Існуючий технологічний процес, представлений на рис. 1.5, включає в себе збір пташиного посліду на птахофермі I, подачу рідкої фракції насосом 1 в колектор 2, де проходить дроблення подрібнювачем 3, після чого рідкий субстрат потрапляє в підігрівач-витримувач 4, з якого за допомогою гвинтового насоса 6 рідка маса завантажується в реактор 7, де відбувається процес анаеробного зброджування з виділенням біогазу, що надходить в газгольдер 14, а потім за допомогою компресора 13 газ подається до споживачів.

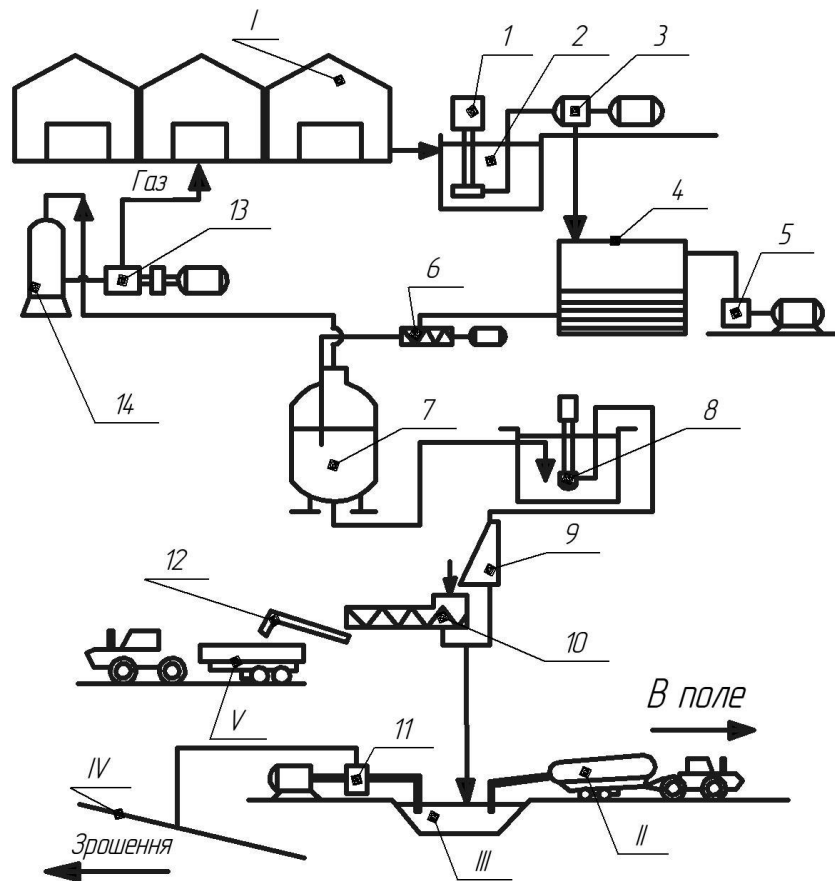


Рис. 1.5. Типовий технологічний процес: I – пташник; II – цистерна-рідинорозпилювач; III – гноєсховище; IV – зрошувальна система; V – причіп; 1 – насос рідкого посліду; 2 – колектор; 3 – подрібнювач; 4 – підігрівач-витримувач; 5, 8 – фекальні насоси; 6 – гвинтовий насос; 7 – реактор; 9 – дугове сито; 10 – прес-фільтр; 11 – насос; 12 – транспортер; 13 – компресор; 14 – пост високовольтної обробки.

Після збродження рідкий субстрат надходить на дугове сито 9, де відбувається відділення твердої фракції від рідкої складової, а потім, пройшовши через прес-фільтр 10, тверда перебродивша маса в подальшому використовується в якості органічного добрива. Рідка складова надходить в гноєсховище III, звідки перекачується безпосередньо в зрошувальну систему IV або за допомогою цистерни-рідинорозкидача вивозиться на поля для підживлення посівів. Невисока якість одержаних органічних добрив, а також малий вихід біогазу поставило питання про розробку способу, що забезпечує більш глибоку переробку органічних речовин, здатного підвищити вихід цільових продуктів. У цьому плані заслуговує на увагу розроблений на основі електротехнології новий спосіб підготовки сировини до збродження, представлений на рис. 1.6.

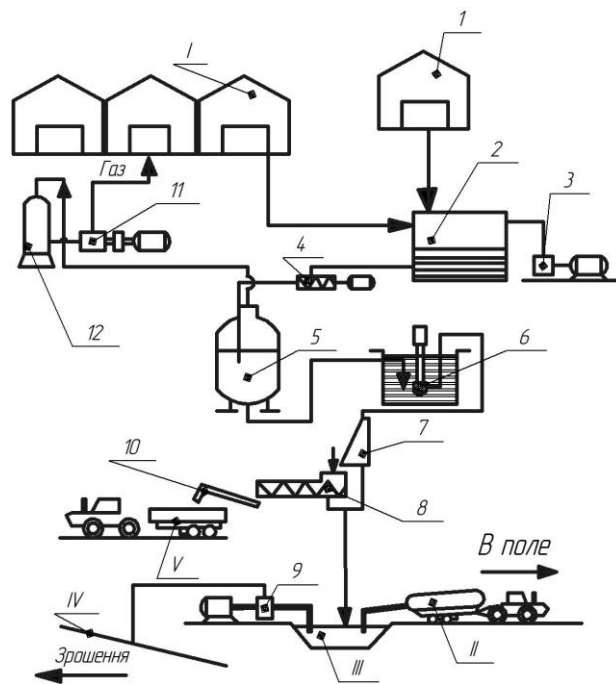


Рис. 1.6. Запропонований технологічний процес: I – пташник; II – цистерна-рідинорозкидач; III – гноєсховище; IV – зрошувальна система; V – причіп; 1 – пост високовольтної імпульсної обробки; 2 – підігрівач-витримувач; 3,6 – фекальні насоси; 4 – гвинтовий насос; 5 – реактор; 7 – дугове сито; 8 – прес-фільтр; 9 – насос; 10 – транспортер; 11 – компресор; 12 – газгольдер.

Перевага пропонованого методу полягає в можливості здійснення операцій подрібнення безпосередньо в камері зброжування за рахунок електрогідравлічного ефекту, а також активації рідкої складової субстрату, що дозволяє змінити рН і забезпечити процес анаеробного зброжування при більш низьких температурах.

Відмінною особливістю запропонованої схеми (рис 1.6) від існуючої технології (рис. 1.5) є відсутність операції подрібнення, яка замінена електрогідравлічним ударом, що виникає в результаті дії високовольтного електричного розряду на рідке середовище.

Нова технологія зручно входить в відомий технологічний процес і не вимагає зміни конструкцій існуючого обладнання.

Висновки по розділу 1

Інтенсифікація відомих способів переробки органічних відходів, які включають прискорення процесу анаеробного зброжування за рахунок дії температурного фактора, використання активних домішок і різноманітних по конструктивних особливостях перемішуючих засобів вичерпали себе по чисто фізичних, хімічних і механічних причинах.

В останій час, розроблений спосіб активації процесу анаеробного зброжування з використанням високовольтної обробки, яка дозволяє підвищити якість органічних добрив і зменшити час їх отримання. Однак, запропонований спосіб не дає можливість отримати біогаз в великій кількості в зв'язку з неможливістю активації органічного субстрату у великому об'ємі.

Згідно законів термодинаміки процес розкладання речовин повинен бути більш ефективний при зниженні температури зброжування, так як рівновага реакції розкладання при цьому зсувається в сторону утворення водородних з'єднань і вуглекислого газу. Однак практична термодинаміка говорить «так» на користь даного процесу, а кінетика цього процесу його заперечує, і перемагає

кінетика, так як прискорення процесу розкладу спостерігається з підвищенням температури, що пояснюється недосконалістю технологічного процесу. Не дивлячись на це, більш доцільно використовувати такі технології, які дозволяють вести реакцію при більш низькій температурі, оскільки тільки це дозволить покращити екологію і підвищити вихід цільових продуктів.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБРОБКИ БІОГАЗОВОЇ СУМІШІ

Методика експерименту була спланована з урахуванням можливості її використання в конкретних умовах сільськогосподарського виробництва, включаючи великі тваринницькі та птахівницькі комплекси, а також фермерські господарства. В основу магістерської роботи були покладені дослідження з отримання експериментальних даних про характер і динаміку протікання фізико-хімічних процесів, при анаеробному зброджуванні органічних відходів, що виникають під дією електричного розряду між електродами при пропусценні через них імпульсів струму.

Швидкий розвиток анаеробних процесів вимагає не тільки оптимізації умов анаеробної біодеградації, але і підтримки високого ступеня активності біомаси при бродінні, що й забезпечує електротехнології.

Для проведення експерименту була спроектована і виготовлена дослідна біогазова установка, структурна схема якої представлена на рис. 2.1 .

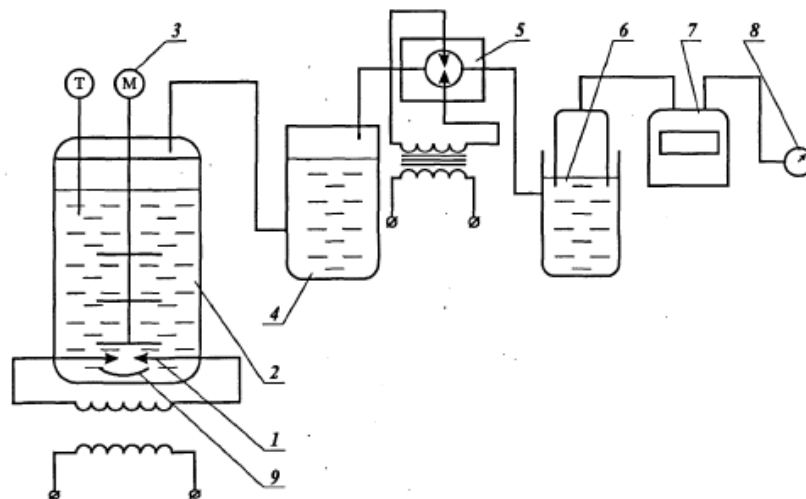


Рис. 2.1. Структурна схема біогазової установки: 1 – метантенк; 2 – система електродів з зазорами, які збільшуються; 3 – електромотор мішалки; 4 – водний затвор; 5 – додатковий газовий розрядник; 6 – газгольдер; 7 – газовий лічильник; 8 – газоаналізатор.

Структурна схема включає в себе: метантенк 1, в якому знаходиться високовольтний розрядник 2 з системою вольфрамових електродів, зі змінними по висоті зазорами, що забезпечує багатоступеневу електрогідравлічну обробку водного органічного субстрату. Під субстратом розуміється суміш курячого посліду і води у співвідношенні 1:2, відповідно. Підтримання органічних речовин в субстраті в підвішеному стані забезпечується обертанням мішалки, привід якої здійснюється від електродвигуна 3. Утворений в процесі зброджування біогаз, надходить через водяний затвор 4 в додатковий газовий розрядник 5, де відбувається розкладання біогазу та очищення газових інгредієнтів. Гідрозатвор являє собою скляну посудину, заповнений водою і призначений для запобігання попадання кисню повітря в метантенк, а також для зменшення виділення CO_2 в атмосферу. Додатковий газовий розрядник являє собою пристрій, що включає невелику камеру, яка з'єднується з вхідними та вихідними патрубками, що забезпечують рух біогазової суміші між двома електродами, на які подається розрядний імпульс. Періодичний вплив розряду на біогазову суміш забезпечує іонізацію газових частинок, перерозподіл газових інгредієнтів, їх очищення та збільшення процентного вмісту метану.

Отриманий біогаз збирається в газгольдері 6, а потім через газовий лічильник 7 подається на газоаналізатор 8.

Збір біогазу здійснюється в газгольдері 6 мокрого типу, що представляє собою циліндричну конструкцію, виконану у вигляді вертикального резервуара, наповненого водою і циліндричного дзвону.

Фотографія експериментальної біогазової установки представлена на рис. 2.2.

Метантенк являє собою циліндричний корпус, об'ємом 20 л, виконаний з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, що забезпечує захист від корозії. Усередині метантенка розташований нагрівач, потужністю 1,25 кВт, який забезпечує підтримання температури водного органічного субстрату в зимовий період року в межах 25...30 °С. Температура контролюється термометром і автоматично

підтримується в заданому режимі системою автоматики. У верхній частині метантенка розташований газгольдер, який через патрубок з'єднаний з додатковим газовим розрядником. Висока герметичність досягається завдяки використанню аргонно-дугового зварювання в процесі виготовлення метантенка. Висока активність процесу забезпечується зародженням мікроорганізмів у субстраті у вигляді біоплівки на твердому носії - плівках з полімерного матеріалу. Система трубопроводів виконана з синтетичних матеріалів на основі поліаміду, герметичність в місцях кріплення до патрубків забезпечується хомутами.



Рис. 2.2. Схема експериментальної установки: 1 – метантенк, 2 – газовий лічильник, 3 – газоаналізатор, 4 – датчик газоаналізатора, 5 - гідрозатвор, 6 - додатковий газовий розрядник

У верхній частині колокола розташований штуцер для підключення до додаткового газового розрядника.

В процесі бродіння в метантенці виділяється біогаз, кількість якого фіксується газовим лічильником марки СГК-4. За допомогою газоаналізатора

ГИВ -М визначалося як загальна кількість біогазової суміші, так і процентний вміст метану в ній при пропущенні біогазової суміші через фільтр.

У метантенці відбувається зброджування органічного субстрату в анаеробних умовах при температурі 25 °С, потім біогаз надходить у гідрозатвор, додаткову розрядну камеру, де відбувається розкладання його за рахунок електричного розряду з участю вільних іонів і молекул, кількість яких потім фіксується лічильником.

Досліджувані продукти, як водний органічний субстрат курячого посліду, так і біогаз піддавалися розряду між електродами при двох різних електричних режимах. Розряди утворювались від пристрою, зібраного за схемою *RC*. Задану кількість імпульсів забезпечували за рахунок використання реле часу на базі мікросхем *LM 555* [11]. Отримані експериментальні дані дозволяють внести певні доповнення в комплекс процесів, обумовлених анаеробним зброджуванням органічних речовин курячого посліду, з використанням імпульсного розряду.

Імпульсний розряд створює в малому обсязі водного органічного субстрату зону високого тиску, розширюється з великою швидкістю і викликає гідравлічний удар, який призводить до руйнування і подрібнення органіки, диспергування системи в цілому і активації процесу зародження і розвитку мікроорганізмів при анаеробному зброджуванні. Пошукова робота, проведена Спірідоною Є.В. в 2002 році [13] дозволила дати відповідь лише на деякі питання фізико-хімічних змін в складному ланцюзі процесів, що відбуваються в результаті анаеробного зброджування під впливом імпульсних розрядів. Крім того, проведений огляд робіт інших авторів показує, що наявний літературний матеріал ще не достатній для узагальнень і не дає можливості оцінити механізм впливу високовольтної обробки на біогаз в зв'язку з відсутністю досліджень в обраному напрямку. У зв'язку з цим представлена робота присвячена актуальному напрямку дослідження, пов'язаного з визначенням кількісного і якісного складу газу, що утворюється при розкладанні, як рідкої органічної

складової субстрату, так і виділяемого в процесі зброджування біогазу при розрядному імпульсі. Біогаз, що надходить з метантенка піддавався впливу розрядних імпульсів з метою вивчення динаміки перерозподілу газових інгредієнтів, що входять до складу біогазу, і визначення кількості метану [17]. При імпульсному розряді в газі струм протікає через малі ділянки поверхні електрода, обмежені розмірами анодної і катодної поверхні електродів. Можна вважати, що на аноді і катоді виникають і діють, в період протікання імпульсного струму, два види джерел тепла: плоске джерело, обмежене з одного боку поверхнею анодного або катодного тепла, в яке надходить енергія безпосередньо з каналу розряду, і об'ємне джерело, що утворюється в зоні стягування струму до катодного або анодного електроду, тепло в якому виділяється за рахунок ефекту Джоуля-Ленца.

У процесі високовольтної обробки органічного субстрату водяна пара і продукти її дисоціації не підтримують горіння дуги в проміжку, оскільки мають високі потенціали іонізації. Крім того, водяна пара погіршує умови дугоутворення за рахунок відведення значної кількості енергії на процеси випаровування і дисоціації. Таким чином, високовольтна обробка відрізняється більш високою стабільністю і продуктивністю процесу.

Отже, необхідно було проаналізувати, як впливає високовольтна обробка біогазу, що наповнює розрядний проміжок, на процес перерозподілу газової суміші. Причому обробку біогазу здійснювали на ділянці від біореактора до водяного затвора. Так як на даній ділянці трубопроводу в складі біогазу, поряд з основними компонентами, міститься значна кількість вологи і вуглекислого газу, то при розряді, розкладаючись, вони сприяють збільшенню загального тиску газової суміші та зміни її складу.

Висока швидкість і складний характер мікропроцесів, що відбуваються при коронному розряді, неможливо вивчити без застосування методів, що мають роздільну здатність, співрозмірну з флуктуаціями фізико-хімічних процесів. Тому були використані:

- для оцінки активності субстрату – методика трансмісійно-резонансної КВЧ/СВЧ - радіоспектроскопії;
- для порівняння площ поверхонь біоплівки – методика мікробіологічних досліджень;
- для визначення впливу високовольтної обробки на зміну складу біогазу – методика визначення складу біогазу за допомогою газоаналізатора;

Основним напрямком експериментальних досліджень стала перевірка гіпотези впливу високовольтного електричного розряду на збільшення виходу біогазу і процентний вміст метану в ньому при анаеробному зброджуванні органічного субстрату курячого посліду.

Підвищення виходу біогазу неможливе без встановлення оптимальних режимів обробки водного органічного субстрату. Використана методика дозволяє оцінити структурні зміни, що відбуваються в субстраті, збільшення активності метаноутворюючих бактерій при впливі електричним розрядом. Предметом вивчення служить оброблений та необроблений електричним розрядом водний субстрат курячого посліду в процесі зброджування.

Надзвичайно складна структура органічного субстрату курячого посліду вимагає вдосконалення методики, апаратури і техніки по його аналізу. У цьому зв'язку найбільш дієвим інструментом з вивчення динаміки зміни структури субстрату від розрядного імпульсу є метод трансмісійно-резонансної КВЧ/СВЧ-радіоспектроскопії. Цей метод мікролакації дозволяє аналізувати зміни у водному органічному субстраті після обробки на атомно-молекулярному рівні. З огляду на те, що він заснований на спектроскопії високої роздільної здатності, вдається на рівні сигналів власних електромагнітних випромінювань ідентифікувати необроблений і оброблений водний органічний субстрат в полі електричного розряду.

Запропонований метод, розроблений вченими І.І. Сініциним, В.І. Петросяном і В.А. Йолкіним є непрямим методом дослідження глибинної взаємодії міліметрових (ММ) хвиль з різними середовищами, суть якого

полягає у виявленні додаткового до радіотеплового фону радіовипромінювання власних резонансних молекулярних коливань різних біологічних об'єктів.

На початковому етапі після приготування водного органічного субстрату проводилося зняття спектральних характеристик рідкої складової субстрату. Аналогічним чином знімалися характеристики після впливу на субстрат високовольтним електричним розрядом різним числом імпульсів. По зміні активності мікроорганізмів у субстраті і ступеня пошкоджуваності структури рідкої складової підбирали оптимальний режим обробки.

Необроблений і оброблений коронним розрядом водний органічний субстрат поміщали в тубус (пробірку), встановлювали в антену-аплікатор і піддавали дії випромінювання. При накладенні магнітного або електричного поля, до якого чутливі осколки молекул (так звані вільні радикали) і не чутливі стабільні «цілі» молекули, спостерігалось поглинання або віддзеркалення радіохвиль і по зміні спектрів сигналу проводився аналіз властивостей досліджуваних речовин. На рис. 2.3 представлена схема пристрою радіоспектроскопії високої роздільної здатності.

Робота пристрою здійснюється наступним чином. Сигнал власного електромагнітного випромінювання або викликаного КВЧ - випромінюванням від КВЧ генератора на водний органічний субстрат подається на СВЧ-радіометр і далі реєструється графобудівником. Частоту випромінювання забезпечували електромагнітним полем, яка формується особливою односторонньою антеною (аплікатором). Фізика процесу даного методу полягає в збільшенні власного шумового радіовипромінювання, яке стимулюється зовнішнім накачуванням КВЧ-випромінювання при щільності подаючої потужності не більше $0,1 \text{ мкВт/см}^2$. Це спостерігається тільки в тому випадку, якщо випромінювання активно взаємодіє з внутрішнім середовищем об'єкта, тобто *ММ* хвилі проникають в об'єм середовища і дисипуючи, дають внесок у власне шумове випромінювання об'єкта в діапазоні частот від 49 до 54 ГГц. Така ситуація виникає щоразу, коли *ММ* хвилі знаходяться поблизу частот

власних молекулярних коливань середовища. Цей стан є резонансним, а відповідні частоти – є частотами резонансної прозорості середовища.

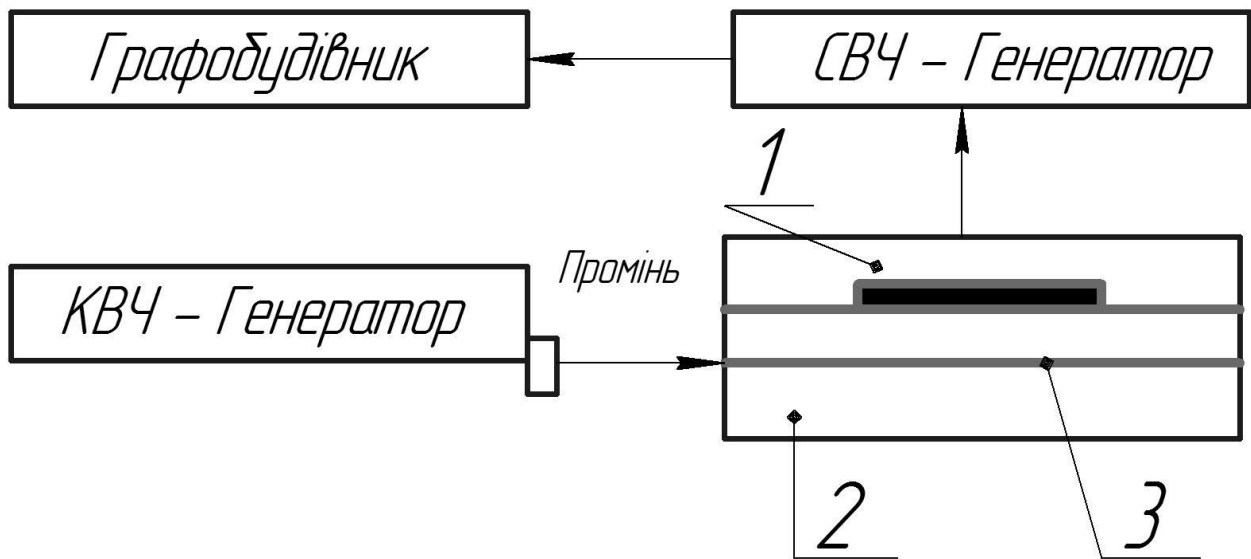


Рис. 2.3. Схема пристрою радіоспектроскопії високої роздільної здатності: 1 – антена аплікатор; 2 – досліджувана речовина; 3 – тefлонова плівка

Конкретно в експериментальній установці використовувалися свіплючий ММ генератор типу ГА-141 і високочутливий СВЧ - радіометр типу Р-30 з комплектом аплікаторних антен. Потoki потужності випромінювання ММ хвиль не перевищують 10 мкВт/см^2 при чутливості приймальної антени на рівні 10^{-17} Вт (на частоті 1 ГГц, в смузі 50 МГц).

З розгорткою частоти ММ випромінювання шумовий сигнал радіовідгуку середовища на резонансних частотах, що приймається, зростає, утворюючи характеристичний резонансний спектр досліджуваної речовини. Спектральні лінії, які характеризуються центральною частотою і добротністю (напівшириною лінії) і амплітудою, пропорційної дисипації енергії ММ хвиль, яка визначається рівнем структурно-молекулярних неоднорідностей середовища. Таким чином, в даній апаратурі втілені нові принципи малосигнальної радіоспектроскопії і представлений новий тип радіоспектрометра. Використовуючи в інноваційній роботі дану апаратуру вдалося вивчити властивості водного органічного субстрату, який піддається

впливу електричного розряду шляхом аналізу електричних сигналів у вигляді спектрів, обумовлених ефектом власного радіовипромінювання.

За допомогою спектральних досліджень, що характеризують структурні зміни, вдалося відпрацювати технологічний режим обробки водного органічного субстрату. Даний метод дозволив у динаміці простежити перебудову структури основного компонента і оцінити вплив електричного розряду на формування нових центрів біохімічної реакції.

Висновки по розділу 2

В другому розділі магістерської роботи розроблена методика для визначення оптимальних параметрів обробки біогазової суміші в біогазових установках.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Вихід біогазу безпосередньо залежить від кількості мікроорганізмів. Дія електричного розряду дозволяє прискорити процес зародження і росту мікроорганізмів і збільшити їх кількість по всьому об'єму субстрату, що знаходиться в метантенці.

Отже, посилюючи здатність мікроорганізму продукувати метаболізм клітини, відкривається можливість підвищення швидкості росту і збільшення поверхні метаноутворюючих бактерій.

За допомогою електричного вибуху вдається керувати складним фізико-хіміко-біологічним механізмом клітини мікроорганізмів. Використання запропонованої технології обумовлено не тільки вимогами отримання високоефективних мікроорганізмів у вигляді біоплівки з невідомими раніше комплексами властивостей, але і необхідністю економії ресурсів (матеріалів і енергії) і екологічною чистотою. Досліджуючи можливості мікробіологічного способу отримання поновлюваних джерел енергії (біогазу) в процесі утилізації органічних відходів було встановлено, що, варіюючи енергією високовольтного електричного розряду, що впливає на біоорганічну масу субстрату, вдається підвищити інтенсивність метанового зброджування і забезпечити ефективно і селективно управління реакціями, що протікають в процесі виробництва біогазу. На рис. 3.1 представлені штами метаноутворюючих бактерій.

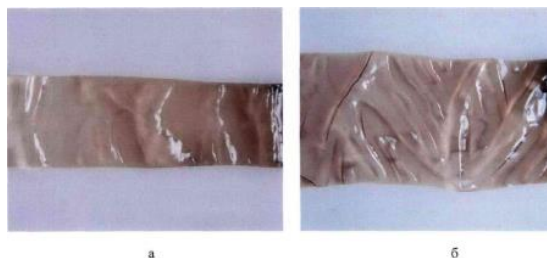


Рис. 3.1. Біоплівки з метаноутворюючих бактерій, отриманих шляхом анаеробного зброджування без використання електричного розряду (а) і з використанням високовольтного розряду (б).

Експерименти показав, що поле розряду впливаючи на субстрат, активує роботу клітин, провокуючи їх зародження і зростання. Отже, маніпулюючи енергією і імпульсом електричного розряду в процесі впливу на мікроорганізм клітини по заздалегідь розробленою програмою, можна істотно впливати на спадковий апарат, конструюючи тим самим систему біоплівки з новими властивостями.

Метаноутворююча біоплівка з бактерій, представлена на рис. 3.1а, яка виконує роль «анаеробного фільтра», що характеризується малою питомою поверхнею і відповідно невисоким виходом біогазу.

Біоплівка з метаноутворюючих бактерій, представлена на рис. 3.1б є продуцентом біологічно активних речовин, підданих впливу високовольтного електричного розряду. Отримані за пропонованою технологією біоплівки відрізняються більшою (в 2,5 рази) площею поверхні, а отже, здатністю продукувати більшу кількість біогазу.

Аналіз будови молекул дозволив встановити, що важливим організуючим чинником утворення макромолекул є взаємодія ланцюжка радикалів з розчинником – рідкою фазою. У результаті взаємодії електронів з середовищем, з'являється мікроскопічна пора – іонний канал, який пронизує поверхневу мембрану клітини. Через відкритий канал спрямовується потік іонів, який і викликає збудження клітини, завдяки чому спостерігається більш висока віддача біогазу за рахунок відновлення CO_2 до метану ($\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$). Таким чином, показано вплив електронного потоку на збільшення здатності мембрани впливати на ріст клітин і активність центрів виділення біогазу. Із збільшенням енергії імпульсу понад оптимального значення, енергетичний механізм клітини пригнічується і спостерігається руйнування таких форм мікроорганізмів, як віруси та спороносні бактерії, що відкриває можливість використання даного технічного рішення при очищенні води та стоків.

Електрогідрравлічний удар при обробці біоорганічних відходів перед завантаженням у метантенк забезпечує краще розщеплення і розкладання структури твердих органічних компонентів, що призводить до збільшення активної поверхні, оброблюваної метаноутворюючими бактеріями, а також до вивільнення здатної до бродіння внутрішньоклітинної рідини, що складається з легкокорозчинних органічних речовин. Крім того, підвищується фізико-хімічна енергетика складних біоорганічних складових субстрату, прискорюється зародження і зростання анаеробних організмів, відповідальних за мікробіологію метанового зброджування.

Експериментально встановлено, що попередня обробка біомаси високовольтним імпульсним розрядом сприяє активації біохімічних процесів і, як наслідок, більш інтенсивному розпаду органічних речовин і збільшенню виходу біогазу, про що свідчать результати досліджень (рис. 3.2).

Аналіз отриманих даних вказує на дуже повільний процес розкладання субстрату і на малий вихід біогазу при існуючому технологічному процесі (крива 2). Активація коронним розрядом органічного субстрату, дозволяє збільшити в 5 раз вихід біогазової суміші, в порівнянні з природним процесом.

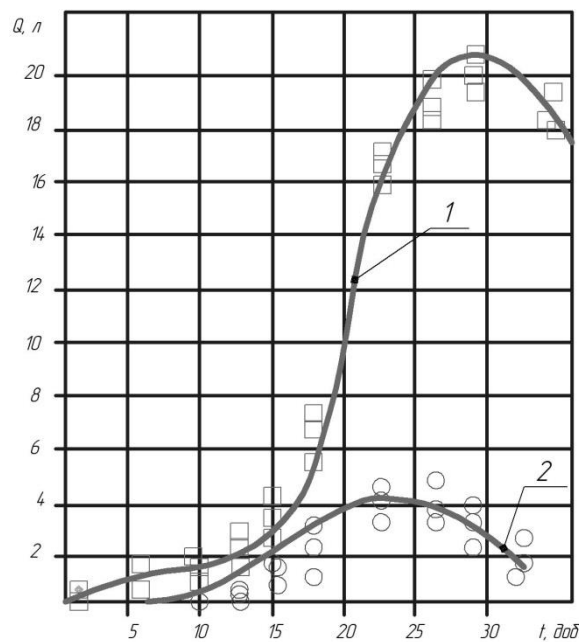


Рис. 3.2. Залежність виходу біогазу із водного органічного субстрату від часу зброжування: 1 – після обробки коронним розрядом, 2 – без обробки.

Для теоретичного дослідження кривих виходу біогазу, отриманих в результаті експериментів, виявимо регресійні залежності. Результати експериментів представлені в табл. 3.1 і на графіку (рис. 3.3).

На рис. 3.3 представлені результати статистичної обробки графіків виходу біогазу з органічного субстрату курячого посліду, що не пройшов обробку і обробленого високовольтним розрядом.

З наведених залежностей видно, що вихід біогазу з органічного субстрату курячого посліду, обробленого високовольтним розрядом, більше, чим з того, який не пройшов обробку.

Таблиця 3.1 – Результати експерименту

Вихід біогазу із водного субстрату куриного посліду				
№ досл.	Оброблену високовольтним розрядом		Без обробки	
	t, доб	Вихід біогазу Q, л	t, доб	Вихід біогазу Q, л
1	0	0	0	0
	5	1,7	5	0
	10	2,4	10	0
	15	3,5	15	1,2
	20	12,3	20	2,92
	25	21,5	25	2,8
	30	22,7	30	2,3
	32	22,3	32	2
2	0	0	0	0
	5	1,0	5	0
	10	1,8	10	0
	15	2,8	15	0,8
	20	10,3	20	1,8
	25	19,2	25	2,6
	30	20,3	30	2,1
	32	20,1	32	1,9
3	0	0	0	0
	5	0,5	5	0
	10	1,0	10	0
	15	2,1	15	0,16
	20	7,5	20	1,6
	25	17,3	25	2,32
	30	18,0	30	1,85
	32	17,6	32	1,65

За допомогою функції Microsoft Excel ЛИНЕЙН визначимо розрахунком регресійні залежності і проаналізуємо рівняння, що характеризують отримані криві. Функція ЛИНЕЙН розраховує статистику ряду із застосуванням методу

найменших квадратів, щоб обчислити залежність, яка найкращим чином описує отримані експериментальні дані.

Визначимо максимальне значення виходу біогазу в обох випадках. Для цього знайдемо першу похідну регресійних рівнянь. Регресійні рівняння :

1. Для органічного субстрату, який не пройшов обробку:

$$y_1 = 0,0000002 \times x^4 - 0,0012 \times x^3 + 0,0399 \times x^2 + 0,2979 \times x. \quad (3.1)$$

Коефіцієнт детермінації $R^2=0,9644$.

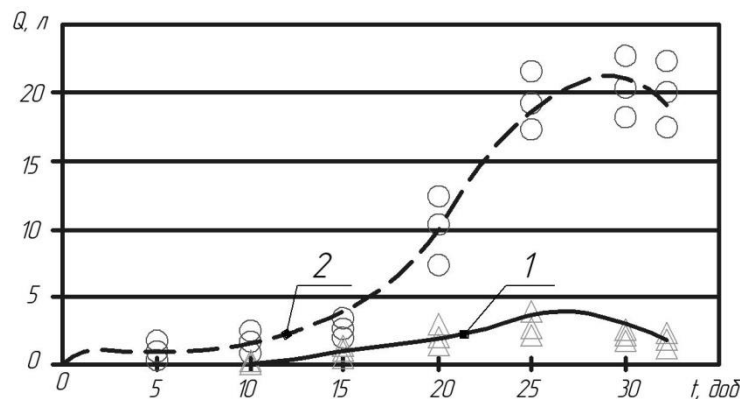


Рис. 3.3. Результати статичної обробки експериментальних даних: 1 – вивід біогазу із субстрату, який необроблений високовольтним розрядом; 2 – вивід біогазу із субстрату, який оброблений високовольтним розрядом.

2. Для органічного субстрату, який оброблений високовольтним розрядом:

$$y_1 = 0,0002 \times x^4 + 0,0139 \times x^3 - 0,02033 \times x^2 + 0,9964 \times x - 0,12512. \quad (3.2)$$

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,8947$.

де y_1, y_2 – це вихід біогазу з водного органічного субстрату, відповідно, необробленого і підданого обробці високовольтним розрядом, л (Q);

x – час збродження, доб. (T).

Досліджуючи коефіцієнти за методом Фішера на значимість, приходимо до висновку, що коефіцієнтами четвертого ступеня знехтувати не можна, так як, в разі нехтування, стандартні значення помилок для коефіцієнтів великі і перевищують допустимі. Враховуючи коефіцієнти четвертого ступеня, отримуємо коефіцієнти детермінації, близькі до одиниці в обох випадках,

$R_1=0,8947$ (для необробленого субстрату) і $R_2=0,9644$ (для обробленого електричним розрядом субстрату). Отримані коефіцієнти детермінації говорять про велику кореляцію з моделлю, тобто немає суттєвої різниці між фактичним оціночним значеннями виходу біогазу, Q , л.

Обчисливши похідні рівнянь (3.1) і 3.2), отримаємо швидкість виходу біогазу з водного органічного субстрату:

$$\frac{dQ_1}{dt} = 0,0000008 \times t^3 - 0,0036 \times t^2 + 0,08 \times t - 0,2979, \quad (3.3)$$

$$\frac{dQ_2}{dt} = 0,0008 \times t^3 + 0,0417 \times t^2 - 0,4066 \times t + 0,9964. \quad (3.4)$$

Грунтуючись на отриманих рівняннях, можна побудувати графік швидкості виходу біогазу з водного органічного субстрату (рис. 3.4). З графіка видно, що 30 діб – оптимальний цикл зброджування органічних відходів при температурі $t = 25^\circ\text{C}$. По закінченні циклу спостерігається різкий спад швидкості виходу біогазу. Таким чином, через 30 діб. необхідно знову завантажити органічні відходи в реактор. Оптимально робити нове завантаження до повного закінчення циклу зброджування, тобто через 20 днів, так як це забезпечить більш рівномірний вихід біогазу без істотного зменшення швидкості виходу. Можна зробити висновок, що регресійний аналіз підтверджує експериментальні дані:

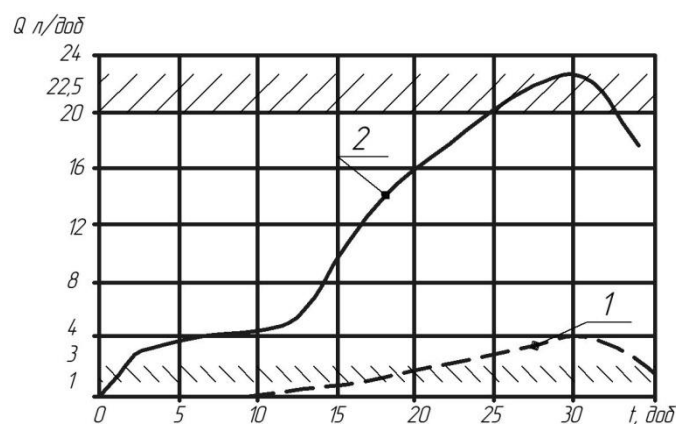


Рис. 3.4. Швидкість виходу біогазу з водного органічного субстрату: 1 – необробленого електричним розрядом; 2 – обробленого електричним розрядом.

Виробничі випробування проводилися в ФЛІЯ "ПОПІЛЬНЯНСЬКА" СТОВ "КОМІНТЕРНІВСЬКА ПТАХОФАБРИКА". Завдання виробничих випробувань полягала в підтвердженні теоретичних і лабораторних досліджень, спрямованих на виявлення впливу електричного розряду на вихід біогазу.

За вихід біогазу відповідають мікроорганізми (метаноутворюючі бактерії), що зароджуються в анаеробних умовах при температурі не нижче 20 °С. Швидкість росту мікроорганізмів і основні біохімічні реакції залежать від температури. Навіть короткочасне порушення оптимального режиму знижує процес метаногенеза.

Одним з показників процесу метанового зброджування є час перебування мікроорганізмів в середовищі. Він дорівнює відношенню обсягу субстрату в реакторі до обсягу завантаження (вивантаження) органічної речовини за одну добу. Цей показник залежить від вологості матеріалу, що завантажується: зниження його вологості при одному і тому ж часу перебування збільшує навантаження по сухій беззольній речовині.

Оптимальні умови життєдіяльності бактерій залежать від наступних показників: властивостей вихідної речовини (вологості, зольності, співвідношенні води і сухої маси), температури, рН середовища, тривалості процесу зброджування.

Тривалість зброджування - важливий фактор, від якого залежить продуктивність біогазової установки, а отже і вихід біогазу. Тривалість зброджування оцінюється часом обороту біореактора. Це час, протягом якого в біореактор завантажуються свіжа сировина і вивантажують з нього збродившу сировину, дорівнює об'єму сировини в біореакторі. При цьому слід враховувати, що добовий спад мікроорганізмів при вивантаженні з реактора переробленого субстрату не повинен перевищувати добового приросту мікроорганізмів. В іншому випадку вихід біогазу буде поступово знижуватися.

У даній роботі вихідною речовиною служив курячий послід, співвідношення якого з водою становило: $1 \div 2,75$, вологість $W = 55-60\%$. Об'ємна маса посліду $0,7-0,8 \text{ т/м}^3$, зольність $17,3 \%$.

Час обороту біореактора прийнято вибирати залежно від температури і складу субстрату. Температурні параметри процесу анаеробного зброджування при виробничих випробуваннях вибиралися з урахуванням часу року. Червень-серпень – мезофільні режим $30...35 \text{ }^\circ\text{C}$, час зброджування 20-30 діб, вересень-листопад – термофільний режим $45...50 \text{ }^\circ\text{C}$, час зброджування – від 4 до 8 діб. Січень-лютий – проведення робіт з технічного обслуговування (проведення планового і профілактичного ремонту, перевірка справності приладів автоматики і датчиків) у зв'язку з тим, що в цей період спостерігаються найнижчі температури. Таким чином, робочий час установки – 305 днів у році. Опираючись на експериментальні дані, кількість розрядних імпульсів приймалось рівним 5, напруга – 10 кВ.

Маса органічної речовини, що завантажується в 1 м^3 метантенка за добу, позначимо через M , а тривалість зброджування через τ , тоді концентрація S [кг/м^3] сухої органічної речовини в завантаженому в реактор субстраті, визначається співвідношенням:

$$S = M \cdot \tau. \quad (3.5)$$

Результати виробничих випробувань представлені в табл. 3.2

Таблиця 3.2 – Результати виробничих випробувань

№	Місяць	Вихід газу, м^3 на 1 м^3 метантенка за місяць	Вихід газу, м^3 на 1 м^3 метантенка за місяць	Температурний режим обробки, $^\circ\text{C}$
1	Серпень	240	8	30...35
2	Вересень	230	7,6	25...30
3	Жовтень	200	6,6	20...25
4	Листопад	180	6	20..25
Всього за 4 місяця		850		

Висновки по розділу 3

За допомогою методу трансмісійно-резонансної КВЧ/СВЧ-радіоспектроскопії підтверджено припущення про появу активних часток у водному субстраті курячого посліду при високовольтній імпульсній обробці. Даний метод дозволив визначити оптимальні режими обробки: початкова напруга $U_0=7$ кВ, кількість імпульсів 5.

3. Експериментально встановлено явище фазового переходу органічних часток у водному субстраті. Наявність електричного потенціалу сприяє збільшенню числа мікроорганізмів, відповідальних за вихід біогазу, і дає можливість керувати технологічним процесом. Крім того, збільшується ймовірність якісної зміни властивостей одержуваних кінцевих продуктів.

4. Підтверджено факт збільшення виходу біогазу в 5 разів при обробці органічного субстрату електричним розрядом. Площі поверхні біоплівки, отриманих по запропонованій технології, в 2,5 рази більше, ніж без застосування високовольтної обробки.

ВИСНОВКИ

Аналіз літературних джерел свідчить про зростання інтересу до способів переробки органічних відходів з метою одержання біогазу і добрив. Існуючі технологічні процеси отримання біогазу не вичерпують потенційні можливості біомаси; вихід біогазу при існуючому технологічному процесі не перевищує 3 м³ з 1 м³ метантенка. Тому науковий інтерес представляє розробка нової технології переробки органічних відходів, заснована на використанні електричних розрядів в процесі підготовки субстрату до зброджування, що дозволяє збільшити вихід біогазу.

Розроблена і виготовлена експериментальна біогазова установка з основної та додаткової розрядними камерами. Експерименти підтвердили теоретичні положення про збільшення виходу біогазу в 2...5 разів на одиницю об'єму метантенка. При обробці біогазу в додатковому газовому розряднику, процентний вміст метану збільшується на 10 % за рахунок перерозподілу газових інгредієнтів і часткового очищення біогазової суміші.

Експериментальним шляхом встановлено явище фазового переходу в водному субстраті курячого посліду, яке підтверджує виникнення електричного струму в субстраті, який підданий обробці електричним розрядом. Встановлене явище доводить прискорення електронного обміну між частинками і пояснює появу активних частинок в субстраті.

Методом КВЧ/СВЧ підтверджено збільшення активності мікроорганізмів у водному органічному субстраті при впливі високовольтної обробки. Даний метод дозволив визначити оптимальні режими обробки: початкова напруга $U_0 = 7$ кВ, кількість імпульсів 5.

Використання розробленого обладнання та запропонованого способу підвищення виходу біогазу дозволяє для птахофабрики знизити собівартість 1 м³ біогазу на 46,7%,

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М. Биогаз теория и практика. Москва : Колос, 1982. 148 с.
2. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Аналіз існуючих багатосарових захисних конструкцій біогазових установок. Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь, 2014. Вип.4. Т.1. С. 88-94.
3. Артамонов В. Н. Биотехнология – агропромышленному комплексу. Москва : Наука, 1989. 115.
4. Семененко И.В. Проектирование биогазовых установок. Сумы : Мрія, 1996. 347 с
5. Хажмурадов М. А. Установка та технологія по утилізації біогазу. Наука та інновації. 2006. № 4. С. 19.
6. Калетнік Г. М., Здирко Н. Г., Фабіянська В. Ю. Біогаз в домогосподарствах – запорука енергонезалежності сільських територій України. Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики. 2018. № 8. С. 7-22. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efmapnp_2018_8_3.
7. Энергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2010. 170 с.
8. Skliar A., Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa. Lublin, 2014. Vol.16. №2. P.183-188.
9. Куценко Ю. М. Аналіз основних чинників анаеробного метанового збродження для отримання біогазу. *Праці ТДАТУ*. 2011. Вип. 11, № 3. С. 49–56.
10. Новітні технології біоенергоконверсії : монографія. Київ : Аграр Медіа Груп, 2010. 326 с.
11. Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Інтенсифікація виробництва та підготовка біогазу до використання в теплотехнічному обладнанні. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. 2005 № 8. С. 52 – 60.

12. Поліщук В. М. Вплив режимів метанового бродіння на ефективність виробництва біогазу. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування: Зб. наук. праць. Київ, 2013. № 185. Ч. 3 С. 180-191.

13. Hashimoto A. G. Methane from cattle waste. *Biotechnologie & Bioengineering*. 1982. Vol. 24, № 9. P. 2039 –2052.

14. Мариненко Е. Е. Основы получения и использования биотоплива для решения вопросов энергосбережения и охраны окружающей среды в жилищно-коммунальном и сельском хозяйстве. Волгоград: ВолгГАСА, 2003. 100 с.

15. Никитин Г. А. Метановое брожение в биотехнологии: учебное пособие. Київ : Вища школа. 1990. 207 с.

16. Стребков Д. С., Ковалев А. А. Биогазовые установки для обработки отходов животноводства. *Техника и оборудование для села*. 2006. №11. С. 28–30.

17. Шацький В. В., Скляр О. Г., Скляр Р. В., Солодка О. О. Вплив структури субстрату на вихід біогазу при метановому зброджуванні. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2013. Вип. 13. Т.3. С. 3-12.

18. Ратушняк Г. С. Автоматичне управління в системах біоконверсії. *Вісник ВПІ*. 2006. № 6. С. 116 –121.