

3. Солнышкина Т.В. Стороженко С.М. Грузина В.Д. Чумакова Л.К. Андреева В.П. Штамм *streptomyces rimosus sobin, finlay and kane* – продуцент окситетрацикліна.
4. Стецюк О.У., Андреева И.В., Колосов А.В., Козлов Р.С. Безопасность и переносимость антибиотиков в амбулаторной практике. *Клиническая Микробиология и Анти-микробная Химиотерапия*, 2011. Т. 13, № 1. С.67-84.

Надійшла до редколегії 06.05.2019.

УДК 662.65

DOI 10.31319/2519-2884.34.2019.26

ГАЦЕНКО К.В., аспірант
ВОЛОШИН М.Д., д.т.н., професор

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ НА ОСНОВІ ХАРЧОВИХ ВІДХОДІВ

Вступ. Серед сучасних підходів до утилізації органічних та рослинних відходів виділяють біоконверсію. Це екологічно безпечний напрямок переробки з метою отримання екологічно чистого біогазу. Вирішення проблеми утилізації побутових відходів та соняшникового лушпиння шляхом розробки сучасної технології його біоконверсії сприятиме поліпшенню екологічного стану довкілля.

Аналіз досліджень. Сьогодні відновлювані джерела енергії (ВДЕ) займають значне місце в енергобалансі країн світу. Як свідчать дані Міжнародного енергетичного агентства, станом на грудень 2016 року частка ВДЕ становила 13 % первинної енергії в світі, в 2015 р. було вироблено 10% енергії з біомаси [1].

Енергія з біомаси склала 107,1 млн. т н.е. (70% від усіх відновлюваних джерел). Виробництво електроенергії в Європейському союзі (ЄС) в останні роки тримається на рівні 120 –130 ТВт·год/рік. На частку ВДЕ припадає близько 21 % загального обсягу виробництва. У структурі виробництва електроенергії з відновлюваних джерел перше місце займає гідроенергетика (57% всіх ВДЕ), на другому і третьому місцях знаходяться енергія вітру (21%) і біомаси (19%) [2].

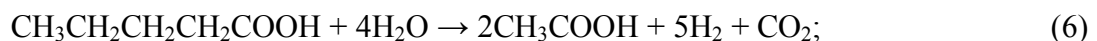
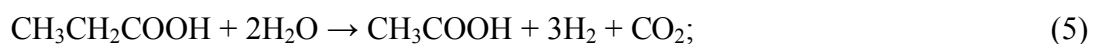
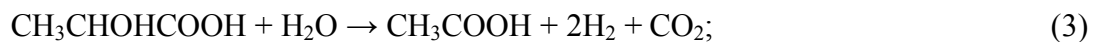
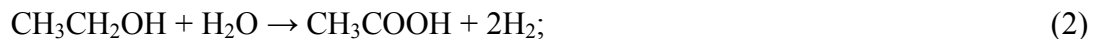
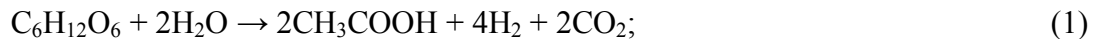
Всього в 2020 р. за рахунок ВДЕ в ЄС має бути забезпечено 34% загального споживання електроенергії [3]. Виробництво електроенергії з біомаси (тверда біомаса, органічні відходи, біогаз) повинно потроїтися і досягти 300 ТВт·год/рік. Одним з важливих секторів ВДЕ в світі є виробництво та енергетичне використання біогазу. Лідером у виробництві біогазу по праву можна вважати Євросоюз в цілому, і Німеччину зокрема [4]. Загальне виробництво біогазу в ЄС у 2015 р. склало 19,35 млн. т н.е., з них 7 млн. т н.е. вироблено в Німеччині [5].

Загальна кількість біогазових установок (БГУ) в Європі перевищує 14,5 тис. одиниць. Протягом 2014 року в Німеччині за даними національної біогазової асоціації запущено 1310 нових БГУ. Загальна кількість БГУ в Німеччині склала 7215 одиниць, при цьому їх сумарна встановлена потужність досягла 2,9 ГВт. Всього протягом року з біогазу було вироблено 19,4 ГВт·год електроенергії, що становить 3% виробленої електроенергії в країні [6].

Сировиною для отримання біогазу є: органічні відходи – гній, зернова і меласна післяспиртова барда, пивна дробина, буряковий гніт, фекальні осади, відходи рибних і забійних цехів, трава, побутові відходи, відходи молокозаводів – лактоза, молочна сироватка, відходи виробництва біодизеля – технічний гліцерин, відходи виробництва

соків – гній фруктовый, ягідний, виноградна вижимка, водорості, відходи виробництва крохмалю і патоки – мезга і сироп, відходи переробки картоплі[7].

Біогаз – суміш метану та вуглекислого газу, що утворюється в результаті анаеробного розкладання органічних речовин в процесі життєдіяльності мікроорганізмів. Його отримують різними шляхами: в метантенках спеціальної конструкції та на сміттєзвалищах. Окрім виробництва метану біогазові установки (БГУ) виконують роль очисних споруд, зменшуючи хімічне і бактеріальне забруднення води, повітря, ґрунту, і переробляють відходи в нейтральні мінералізовані продукти [8]:

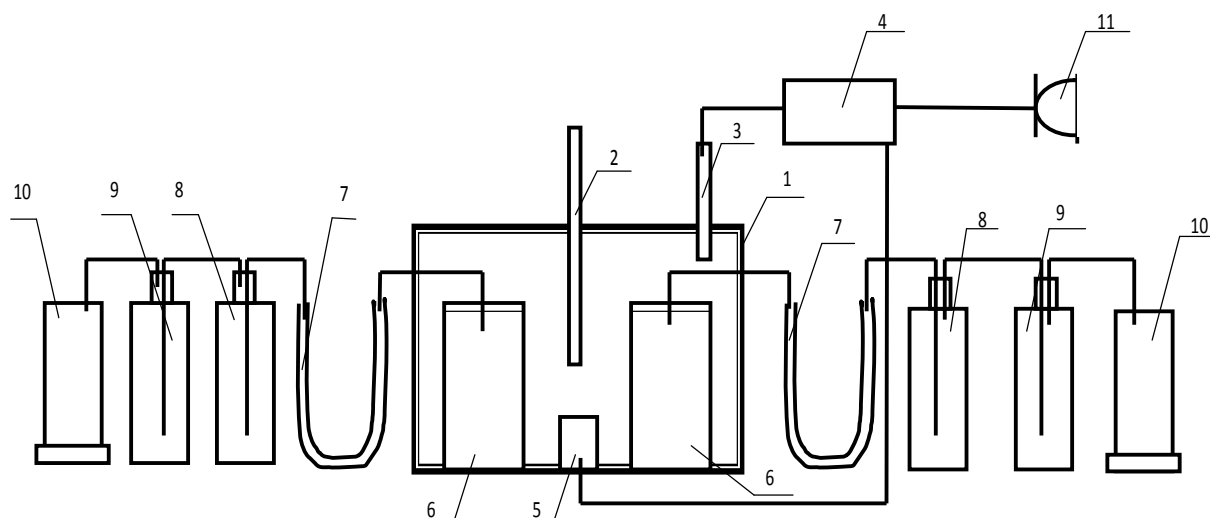


Постановка задачі. Основними напрямками дослідження є визначення сировини, яку необхідно використовувати у подальшому виробництві біогазу; теоретично обґрунтувати та експериментально довести вибір харчових відходів, які можуть використовуватися для отримання біогазу; статистично обробити експериментальні дані та визначити залежності виходу біогазу від ступеня підготовки сировини. Основними задачами цього дослідження є: створення технології отримання біогазу на основі харчових відходів та соняшникового лушпиння; розширення сировинної бази, безпечна утилізація побутових відходів; визначення чинників, що впливають на якість процесу метанового зброджування (кінетику і швидкість виходу біогазу), за отриманими результатами.

Результати роботи. Методика одержання біогазу включає процес метанового бродіння. Біогаз, що виділяється в процесі метанового бродіння, збирається в спеціальні газозбірники [9]. Відомо, що для бактерій метанового бродіння необхідно підтримувати постійну температуру розчину. Для одних, термофільних, потрібно підтримувати температуру близько 328 К, для інших, мезофільних – біля 306 К[10]. В дослідях використовували мезофільний режим бродіння, який є технологічно спрощеним та більш дешевим. Для утворення біогазу та органо-мінерального субстрату використовуються дисперговані і ущільнені органічні відходи, а саме суміш картоплі, капусти, буряку, моркви, цибулі, курячий послід, гній ВРХ[11].

Дослідження процесу одержання біогазу з харчових відходів проводили на лабораторній установці, що наведена на рис.1. Досліджено технологію отримання біогазу із харчових відходів (суміш картоплі, капусти, буряка, моркви, цибулі) з активними домішками (курячий послід, фекалії ВРХ) та експериментально встановлено склад вихідної сировини: подрібнена овочева суміш, вода, 10% фекалії ВРХ, що забезпечує максимальний вихід газу.

У скляну колбу, що виконує роль біореактора, об'ємом 0,75 дм³ завантажували досліджувану суміш та герметично закриває ємність. Реактор для метанового бродіння поміщують в корпус 1 з внутрішньою теплоізоляцією та закривають кришкою. Реактор 6 має газовідвідну трубку, з'єднану з дрекселлями 7. Дрекселі 8 заповнені 10% лужним розчином для вловлювання кислих газів. Дрекселі 9 заповнювали водою. На шляху до



- 1 – теплоізолюваний корпус апарата, 2 – термометр, 3 – температурний датчик, 4 – термо-регулятор, 5 – нагрівальний елемент, 6 – біореактори, 7 – дрексель з висушувачем газу, 8 – дрексель з лужним розчином для вловлювання кислих газів, 9 – дрексель для збирання біогазу, очищеного від кислих домішок, 10 – збірник витісненої води, 11 – джерело струму

Рисунок 1 – Схема лабораторної устатки для проведення процесу метанового бродіння

газозбірника встановлювали поглиначі вологи та CO_2 . В корпус 1 встановлювали електричний нагрівач з терморегулятором 4, підключений до струму. Після цього всі з'єднання перевіряли на герметичність. Для проведення процесу було обрано мезофільний режим з постійною температурою 38°C та вологістю зброджуваної суміші 92%. Після досягнення заданої температури виконували заміри об'єму виділеного біогазу. Виділення біогазу контролювали кожен день за допомогою мірного циліндра, в який витіснялась вода з дрекселя. За температурним режимом в біореакторі спостерігали за допомогою лабораторного ртутного термометра. Досліджувану суміш після бродіння розміщували в порцелянові чашки та просушували в сушильній шафі до постійної температури. Після кожного висушування проби зважували. Після того, як проби досягали постійної температури, їх переміщували в тиглі та прожарювали в муфельній печі, до повного згорання органічної частини. Після цього збирали рештки проб та досліджували їх на елементний склад. Вихід біогазу залежить від розміру часток сировини – чим менші частинки біомаси, тим краще. Розмір частинок впливає на здатність бактерій «поглинати» їх, втягуючи в процес життєдіяльності.

Подрібнення вихідної сировини здійснювалось подрібнювачем ЕКМУ-50 (220 В), потужність 2000 об/хв. В табл.1 наведено вміст розміру часток у вихідній сировині. Також дрібні частинки дозволяють отримувати на виході набагато більший обсяг біогазу, ніж великі шматки.

Для проведення першого експерименту в якості субстрату для метанового зброджування використовували 2 проби сумішей твердих побутових відходів, які складались з овочевих відходів. Склад кожної проби в перерахунку на суху речовину, %:

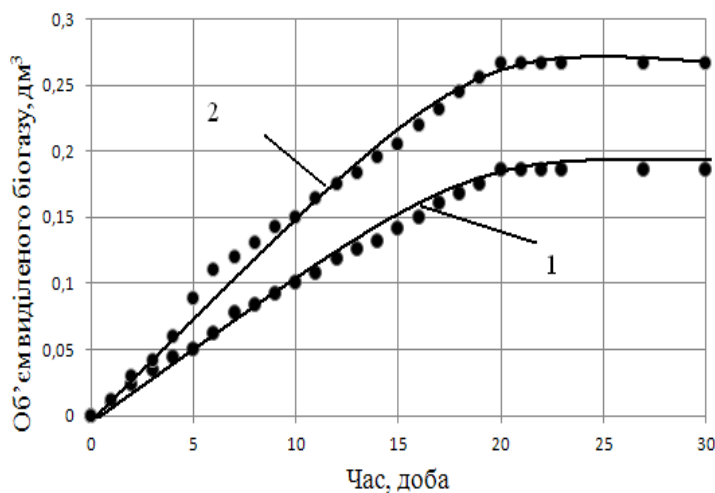
1) суміш картоплі, капусти, буряка, моркви, цибулі, 10% курячий послід з попереднім подрібненням на дробарці ЕКМУ-50 (220 В), потужність 2000 об/хв. (проба 1);

2) суміш картоплі, капусти, буряка, моркви, цибулі, 10% фекалії ВРХ з попереднім подрібненням на дробарці ЕКМУ-50 (220 В), потужність 2000 об/хв. (проба 2).

Таблиця 1 – Гранулометричний склад вихідної сировини після подрібнення

№ проби (відходи переробки)	Кількість часток, %		
	0 ÷ 1,0 мм	1,0 ÷ 3,0 мм	Більше 3,0 мм
1. Капуста	0,45	37,01	62,60
2. Морква	1,75	38,46	60,06
3. Буряк	4,28	38,01	57,70
4. Цибуля	3,50	49,60	46,65
5. Картопля	5,92	20,77	73,31

Зменшення виділення газу спостерігалось в першій пробі з додаванням курячого

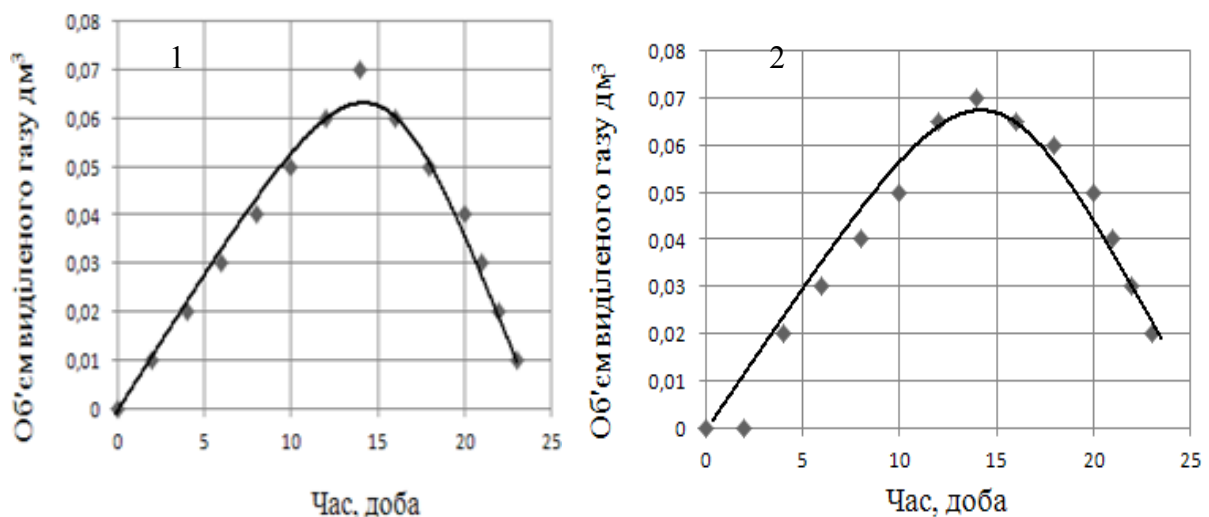


1 – проба з додаванням курячого посліду;
 2 – проба з додаванням фекалій ВРХ

Рисунок 2 – Кінетика накопичення біогазу з харчових відходів у часі (перший експеримент)

посліду (1). В іншій пробі (2) з додаванням фекалій ВРХ виділення газу проходило швидше. Інтенсивне виділення біогазу спостерігалось з 4-ої по 17-у добу. На 18-ту добу вихід біогазу стає незначним, що свідчить про подальшу недоцільність ведення процесу бродіння. На рис.2 представлено кінетику накопичення біогазу з харчових відходів у часі в перерахунку на 1 кг сухої речовини.

На рис.3 представлено залежність швидкості виходу біогазу із зброджуваної суміші від часу в перерахунку на 1 кг сухої речовини.



1 – проба з додаванням пташиного посліду; 2 – проба з додаванням фекалій ВРХ

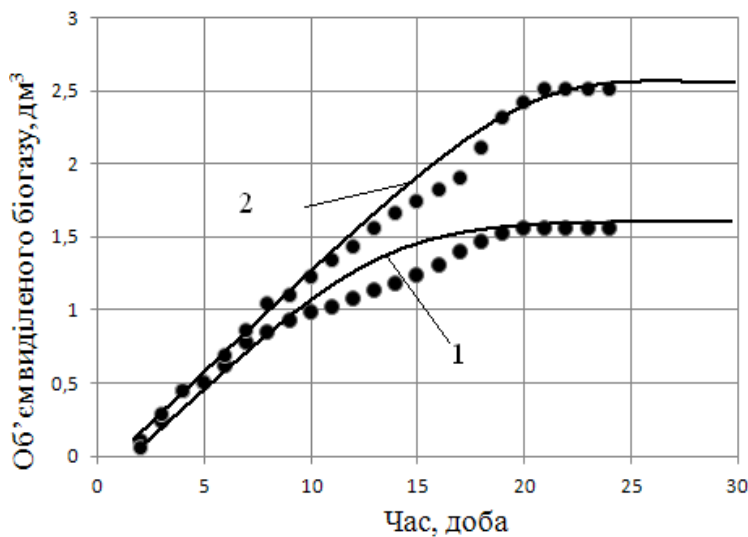
Рисунок 3 – Залежність швидкості виходу біогазу із зброджуваної суміші від часу

У ході другого експерименту в якості субстрату для метанового зброджування використовували 2 проби сумішей харчових відходів з додаванням 10% подрібненого соняшникового лушпиння. В якості активних домішок (ферментів) для прискорення процесу бродіння використовували гній ВРХ. Склад кожної проби в перерахунку на суху речовину, %:

1) суміш картоплі, капусти, буряку, моркви, цибулі, гною ВРХ 10%, з попереднім подрібненням на дробарці ЕКМУ-50 (220 В), потужність 2000 об/хв. (проба 1);

2) суміш картоплі, капусти, буряку, моркви, цибулі 70% , соняшникове лушпиння 20%, гній ВРХ 10% з попереднім подрібненням на дробарці ЕКМУ-50 (220 В), потужність 2000 об/хв. (проба 2).

В ході експерименту було виявлено, що процес зброджування харчових відходів другого дослідження в першій пробі проходив активніше, ніж у другій. Інтенсивне виділення біогазу спостерігалось з 6-ої по 18-у добу. Найбільше виділення біогазу спостерігалось з 8-ої по 16-у добу. На 18-у добу вихід біогазу стає незначним, що свідчить про подальшу нецільність ведення процесу. На рис.4 представлено кінетику накопичення біогазу харчових відходів у часі в перерахунку на 1 кг сухої речовини.



1 – проба з додаванням курячого посліду;
2 – проба з додаванням гною ВРХ;

Рисунок 4 – Кінетика накопичення біогазу з харчових відходів у часі (другий експеримент)

В результаті експериментальних досліджень отримано рівняння регресії, яке встановлює залежність питомого виходу біогазу від температури, експозиції зброджування і вологості гною ВРХ та має наступний вигляд:

$$V = 94,2 - 2,235W - 0,6389T - 0,4358\tau + 0,0146W^2 + 0,0047T^2 + 0,0042\tau^2 + 0,0032WT + 0,0045W\tau - 0,0002T\tau, \quad (9)$$

де V – питомий вихід біогазу, що дорівнює 9,61 л/кг сухої маси за добу;

W – вологість біомаси, %;

T – температура зброджування, °С;

τ – експозиція зброджування, днів.

Кінетичне рівняння процесу анаеробної ферментації рослинної біомаси буде мати вигляд:

$$\alpha = 0,45 \times [1 - \exp(-k\tau)] \quad (10)$$

У графічному вигляді кінетичне рівняння наведено на рис.5.

Висновки. Встановлено, що суміш промислово-побутових відходів дає більший вихід біогазу, ніж суміш лише побутових відходів, тому використання промислово-побутових відходів більш доцільне та ефективне.

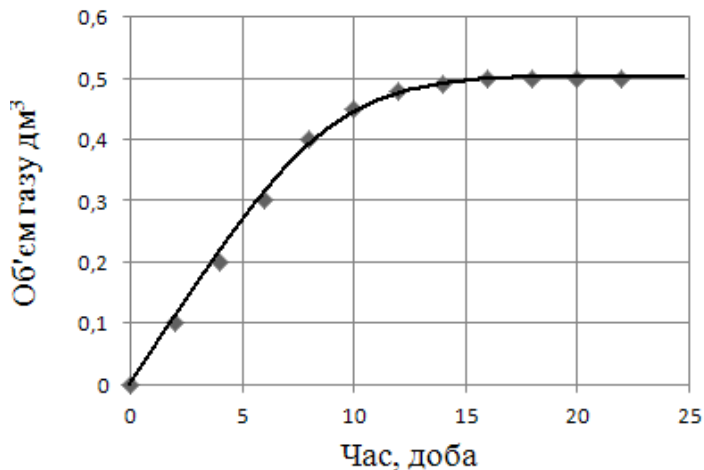


Рисунок 5 – Кінетика процесу біогазової ферментації органічної речовини

Виявлено, що попереднє прогрівання субстрату до температури зброджування (37-40°C) інтенсифікує процес подальшого розкладання.

Встановлено оптимальний склад, який забезпечує максимальний вихід біогазу: 5% подрібненої суміші овочів, 85% води та 10% гною ВРХ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Півняк Г.Г., Шкрабець Ф.П. Альтернативна енергетика в Україні: монографія. Дніпропетровськ: Нац. гірн. Ун-т, 2013. 109с.
2. Калетнік Г.М. Енергозабезпечення України та можливості задіяння потенційних джерел відтворювальної енергії. *Вісник аграрної науки*, 2008. № 10. С.52-55.
3. Галушак І. Біогаз: Українська перспектива. *Соціально-економічні проблеми і держава*, 2013. № 2(9). С.277-278. <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2013/13himbup.pdf>.
4. Юркова В.В., Шкляр В.І., Дубровська В.В. Аналіз енергоефективності роботи когенераційних установок на біопаливі. *Енергетика: економіка, технології, екологія*, 2014. № 3. С.29-33. http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/10346/1/4_Yurkova_V_Analysis_of_energyefficiency.pdf.
5. Гелетуха Г.Г., Кучерук П.П., Матвеев Ю.Б. Перспективи виробництва і використання біогазу в Україні. Аналітична записка №4 від 31.05.2013. <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-4-ua.pdf>.
6. Вайланд П., Геммеке Б., Ригер К. Біогаз на основі возобновляемого сырья. Сравнительный анализ шестидесяти одной установки по производству биогаза в Германии (сбор данных по Северо-Западному региону). Аналитическая записка №1, 2015. https://sojus.dbfz.de/sites/default/files/pdf_426-nline_russ_brosch_bmpii_kurz_2010.pdf.
7. Перспективи виробництва біогазу з сумішей гнойових відходів тваринництва та рослинної сировини в Україні / Кучерук П.П., Матвеев Ю.Б., Ходаківська Т.В., Грабовський М.Б. *Пром. Теплотехніка*, 2013. №1, 35. С.107-113.
8. Сатьянов С.В. Повышение эффективности биоустановок путем получения альтернативной энергии и биоудобрений: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01. М., 2011. 158с.
9. Тихонравов В.С. Ресурсосберегающие биотехнологии производства альтернативных видов топлива в животноводстве: науч. аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. 52с.
10. Веденев А.Г., Веденева Т.А. Руководство по биогазовым технологиям. Бишкек: ДЭМИ, 2011. 84с.
11. Біогаз: основні характеристики і технологія отримання. URL: <http://biogas-energy.ru/biogas> (дата звернення: 15.03.2015).

Надійшла до редколегії 11.03.2019.