

УДК 662.767

doi:10.20998/2413-4295.2022.03.13

ПЕРЕРОБКА ПТАШИНОГО ПОСЛІДУ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЦІЛЯХ В ТЕХНОЛОГІЯХ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

V. С. ЧУБУР^{1*}, Є. Ю. ЧЕРНИШ¹, М. С. СКІДАНЕНКО², Д. В. ДАНИЛОВ¹, О. О. БІЛОУС¹

¹ кафедра екології та природозахисних технологій, Сумський державний університет, Суми, УКРАЇНА

² кафедра хімічної інженерії, Сумський державний університет, Суми, УКРАЇНА

* e-mail: v.chubur@ecolog.sumdu.edu.ua

АНОТАЦІЯ Розглянуто фактори екологічної небезпеки від накопичення пташиного посліду разом з перевагами та недоліками технологій переробки стоків пташиного посліду. Акцентована увага на методі анаеробної переробки з отриманням біогазу та добрива підвищеної якості. У роботі досліджується метод інтенсифікації анаеробного зброджування із застосуванням попередньої додаткової ультразвукової обробки в процесі анаеробного зброджування органічних відходів з отриманням біогазу. Додаткова ультразвукова обробка допомагає розкласти органічні відходи та вивільняє більше енергії для перетворення в метан, за рахунок фізичної дезінтеграції речовини та покращення хімічної структури субстрату за рахунок вільних радикалів, що додаються за умови кавітаційного розпаду бульбашок. Лабораторно перевірено ефективність використання додаткової ультразвукової обробки в процесі анаеробного зброджування в порівнянні показників виходу біогазу та параметрів анаеробного процесу. Обраний метод контролювався за показниками водневого показника (рН), окисно-відновного потенціалу (ОВП), загальної мінералізації речовини (TDS), та якісним та кількісним компонентним складом біогазу. Проаналізовано, що ультразвукова обробка субстрату на стадіях попередньої підготовки для подальшого процесу анаеробного зброджування збільшує вихід біогазу. Лабораторно підтверджено збільшення продуктивності біогазу біосистем анаеробного зброджування з попередньою обробкою субстрату ультразвуком з контрольним експериментом без попередньої обробки в 1,3 рази за двадцять п'ять днів дослідження та загальним досягненням продуктивності біогазу на рівні 10 л. Теоретично розраховано зниження терміну окупності від 5,0 до 2,5 років біогазової установки реалізації комбінованої системи утилізації органічних відходів з додатковим встановлення системи попередньої обробки. Проаналізовано можливості міжнародних грантових платформ для фінансування та впровадження інноваційних біогазових проєктів на місцях, зокрема орієнтованих на спільноту України.

Ключові слова: анаеробне зброджування; біогаз; інтенсифікація; захист навколишнього середовища; пташиний послід, ультразвукова обробка

PROCESSING OF POULTRY MANURE FOR ENERGY PURPOSES IN ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES

V. CHUBUR^{1*}, Ye. CHERNYSH¹, M. SKIDANENKO², D. DANILOV¹, O. BILOUS¹

¹ Department of Ecology and Environmental Protection Technologies, Sumy State University (SSU), Sumy, UKRAINE

² Department of Chemical Engineering, Sumy State University (SSU), Sumy, UKRAINE

ABSTRACT Environmental safety risks caused by the accumulation of poultry manure are discussed, along with the advantages and disadvantages of poultry manure treatment technologies. The attention is focused on the method of anaerobic digestion with biogas and high quality fertilizer production. In this work, the method of intensification of anaerobic digestion with the use of preliminary additional ultrasonic treatment in the process of anaerobic digestion of organic waste to produce biogas is investigated. The additional ultrasonic treatment enhances the decomposition of the organic waste and releases more energy for conversion into methane by physical disintegration of the substance and improvement of the chemical structure of the substrate through the free radicals released by the cavitation bubble collapse. The effectiveness of ultrasonic pretreatment in the anaerobic digestion process was laboratory tested by comparing the biogas yield and parameters of the anaerobic process. The selected method was monitored in terms of hydrogen value (pH), redox potential (ORP), total dissolved solids (TDS), and qualitative and quantitative composition of the biogas. Ultrasound treatment of the substrate at the pretreatment stages for the subsequent anaerobic digestion process has increased the biogas yield. Laboratory confirmed that the increase in biogas productivity of anaerobic digestion biosystems with pretreatment of the substrate with ultrasound compared to the control experiment without pretreatment increased by 1.3 times in twenty-five days of the study and the overall achievement of biogas productivity of 10 liters. Theoretically calculated reduction of the payback period from 5.0 to 2.5 years of the biogas plant implementation of the combined system of organic waste utilization with the additional installation of the pretreatment system. The possibilities of international grant platforms for financing and implementing innovative local biogas projects, particularly those focused on the community of Ukraine, are analyzed.

Keywords: anaerobic digestion; biogas; intensification; environmental protection; poultry manure, ultrasonic treatment

Вступ

Несанкціоновані райони зберігання відходів птахівництва є істотним джерелом не тільки

забруднення ґрунтів, водних об'єктів та підземних вод, але й причиною емісії парникових газів, прискореного зростання та розвитку яєць та личинок гельмінтів та мух, патогенних мікроорганізмів.

Проблема екологічної небезпеки від накопичення пташиного посліду виникає у разі низької якості технологічного процесу видалення посліду, не належному його зберіганні та транспортуванні, використанні при виробництві добрив в якості органічного компоненту [1,2].

Технологічні рішення інтенсифікації анаеробного зброджування органічних відходів відіграють важливу роль у регуляції клімату, шляхом циклічного урівноваження викидів парникових газів в процесі утилізації, а також формування навколишнього середовища (наприклад, структури ґрунту) для розвитку біоти у ґрунті та у воді за напрямом досягнення цілей сталого розвитку. Відповідно, розроблені шляхи утилізації пташиного посліду можна віднести до технологій захисту навколишнього середовища.

Проаналізовано шляхи впровадження технологій переробки стоків пташиного посліду на регіональному рівні (рис.1). Нині актуалізуються біологічні способи обробки таких органічних відходів з отриманням корисних біопродуктів, зокрема компостування пташиного посліду з отриманням добрива, внаслідок розкладання органічних речовин мікроорганізмами. Перевагами цього методу є простота технології, невеликі енерговитрати та отримання якісного компосту, з іншого боку недоліками компостування можна визначити суттєві втрати азоту, негативний вплив місць компостування на навколишнє середовище та не досить надійну нейтралізацію небезпечних чинників (наприклад, вмісту важких металів). Переробка відходів шляхом вермікомпостування також забезпечується досить простим технологічним рішенням з отриманням продукту добрив високої якості та кормового білкового борошна додатково. Проте цей метод потребує великих площ для розташування майданчиків компостування, попередньої підготовки сировини, є залежним від сезонності виробництва компосту, водночас недосконалим у межах промислової високопродуктивної технології без належних засобів механізації.

Існуючі технології переробки стоків пташиного посліду		
Біологічні	Хімічні	Фізичні
Використання як добрива; Компостування; Вермікомпостування; Використання посліду для отримання біогазу;	Обробка негашеним вапном; Обробка суперфосфатом;	Високотемпературна сушка; Переробка методом екструджування та гранулювання; Пряме спалювання посліду для отримання теплової енергії; Спалювання посліду для отримання тепла та електроенергії;

Рис. 1. – Методи переробки стоків пташиного посліду

Необхідно враховувати регіональні особливості розташування птахівничих комплексів та домашніх птахів ферм для реалізації комплексного екоменеджменту в сфері поводження з пташиним послідом з отриманням якісних біодобрив та відновної енергії.

Здійснено пошук в базі даних Scopus за ключовими словами «biogas» та «poultry manure», відповідно на рис. 2 наведено графік, що відображає публікаційну активність за тематикою дослідження біоенергетичного потенціалу пташиного посліду.

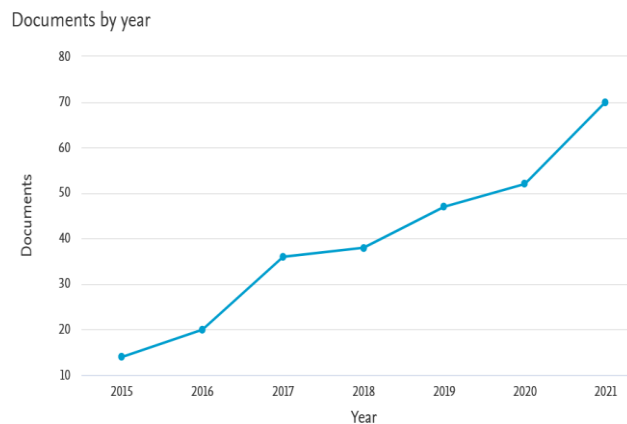


Рис. 2. – Кількість публікацій за роками згідно статистичних даних БД Scopus

Отже, все більшого поширення набуває застосування біогазових технологій для переробки посліду, а саме перетворення пташиного посліду, в якості органічного субстрату, анаеробними бактеріями в біогаз шляхом зброджування. Метод анаеробного зброджування забезпечує отримання цінного енергоресурсу, стабілізацію корисних речовин в отриманому добриві та знешкодження шкідливих факторів [2], проте, потребує врахування специфіки складу посліду, наявності азотних сполук, може підвищити вміст сірководню в біогазі, та вплинути на властивості рідкофазного та твердофазного дігестатів.

На рис. 3 згруповано методи інтенсифікації анаеробного зброджування: механічний - оброблення сировини (подрібнення за допомогою дробарки та перемішування осаду), біохімічні (додавання поживних речовин, для підтримки життя та розмноження мікроорганізмів), термічна обробка сировини (для отримання необхідного рівня вологості або знешкодження небажаних мікроорганізмів), кавітаційний метод (обробка сировини в ультразвуковій установці для покращення характеристик), мікробіологічні методи (попередня обробка інокуляту) [3] та електрохімічна обробка для розкладання складнодеградуючих органічних речовин та стимулювання розвитку корисних екологіо-трофічних груп мікроорганізмів.

Існуючі методи вдосконалення процесу анаеробної переробки посліду	
Механічні	⇒ Подрібнення посліду перед завантаженням Рециркуляція осаду
Біохімічні	⇒ Мінеральні речовини Ферменти Активоване вугілля
Термічна обробка	⇒ Термічне оброблення сировини
Електрохімічна обробка	⇒ Використання методу електролізу
Кавітація	⇒ Застосування ультразвукового апарату
Мікробіологічні	⇒ Створення оптимальних умов метанотворюючої фракції при обробленні Накопичення метанотворюючих мікроорганізмів

Рис. 3. – Методи інтенсифікації анаеробного зброджування пташиного посліду

В роботі Romio et al. (2022) вплив обробки дігестату перед його рециркуляцією в метантенк було оцінено за допомогою промислових установок ультразвукової та електрокінетичної обробки. Збільшення максимальної швидкості виробництва метану до 42% спостерігалось у зразках однієї з біогазових установок, що призвело до збільшення чистої енергії від 1,06 до 7,04 кВт-год /т (після 26 і 66 днів зброджування). Обидві обробки значно знизили в'язкість дігестату, зменшуючи потребу в енергії для перекачування та перемішування в метантенці, що дає можливість для збільшення завантаження органіки з підвищенням виробництва метану [4]. Крім того, в роботі Yue et al. (2021) було визначено, що в зразках попередньо оброблених ультразвуком ефективність перетворення енергії ліпідних відходів в метан склала 69,89%, що вище, ніж у 58,98% при мікрохвильовому нагріванні. Ультразвук ефективно розкладає ліпідні відходи та вивільняє більше енергії для перетворення в метан [5].

Порівняно з бактеріальною, термічною та хімічною, ультразвукова обробка стала ефективнішим методом попередньої обробки органічних відходів. Кавітаційний розпад бульбашок додає вільні радикали, що покращують хімічну структуру субстрату, а мікробна активність посилюється за рахунок фізичної дезінтеграції з підвищенням виходу біогазу [6].

У дослідженні Ramanathan et al. (2019) було вивчено вплив ультразвукової обробки при зброджуванні ко-субстратів з харчових відходів, відходів скотобійні та кавової гущі. Результати експерименту підтвердили, що попередня обробка збільшила виробництво біогазу на 34,03% із середнім виходом біогазу 27,7 мл/день. Позитивний ефект ультразвукової обробки також підтвердили показники видалення завислих речовин (TS) 86,58% та хімічного споживання кисню 85,22%. [7]. Отже, результати попередніх досліджень підтверджують позитивний ефект ультразвукової обробки.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження процесу інтенсифікації анаеробного зброджування пташиного посліду з використанням ультразвукової установки та розробка комплексного технологічного рішення захисту довкілля.

Матеріали та методи

Пташиний послід з розміром часточок 0-1 мм містить неперетравлений корм і частину пташиного пір'я. Склад сирого пташиного посліду становить до 5,5% азоту, до 4,5% фосфору, 2,5% калію, магнію і багато інших мікроелементів. Твердофазний перепелиний послід являє собою однорідну масу темно-сірого кольору з буруватим відтінком. Сирий пташиний послід характеризується загальною вологістю 70-75% з рН 8-9 розведеного у воді пташиного посліду.

На рис. 4 представлена експериментальна лабораторна установка ультразвукової обробки. Ультразвукове обладнання складається з трьох перетворювачів розміщених в секції, потужністю 200 Вт і частотою 30 кГц. Період ультразвукової попередньої обробки становив 3 хвилини.



Рис. 4. – Лабораторна установка ультразвукової обробки

Попередня обробка розпочиналася з завантаження рідкої фази речовини в ємність обробки ультразвукової установки через спеціальні отвори, рівномірно розподіляючись по площі поперечного перерізу об'єму ультразвукової камери. У процесі роботи установки генеруються ультразвукові коливання. Вектор розподілу ультразвукових коливань є перпендикулярним до поверхонь плавних переходів. Таким чином, у внутрішньому об'ємі резервуара створюється ультразвукове поле з достатньою інтенсивністю для формування і підтримки прогресивного режиму кавітації у всьому об'ємі резервуара. Температурний режим роботи визначається на рівні 35°C.

В процесі роботи здійснювався моніторинг параметрів процесу ультразвукової обробки за показниками рН, окисно-відновного потенціалу (ОВП), загальної мінералізації речовини (TDS), та якісним та кількісним компонентним складом біогазу.

Експериментальний стенд процесу анаеробного збродження, що зображений на рис. 5, складається з чотирьох біореакторів, що являють собою герметичні ємності із хімічно стійкого скла (1) з газовідвідними трубками, за допомогою яких біогаз збирається в газовідбірні пакети (2), у верхній частині реакторів є патрубки для відбору рідких проб (3) для контролю фізико-хімічних показників процесу збродження.

Підтримка постійної температури у біореакторах на рівні 35°C здійснювалася за рахунок водяної бані (4).

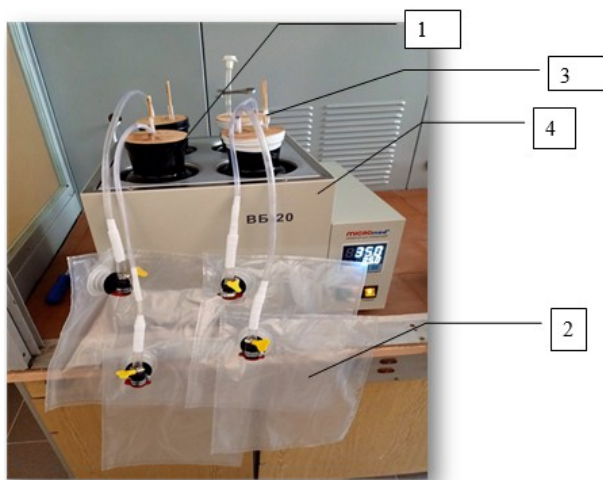


Рис. 5. – Лабораторна установка звичайного біореактора: 1 – скляні біореактори; 2 – газовідбірні пакети; 3 – патрубки для відбору рідких проб; 4 – корпус водяної бані

Завантаження біореактора субстратом та інокулятом визначалося на рівні до 75% об'єму ємності. Анаеробний процес завантаженої в біореактор сировини активізувався в анаеробних умовах, за відсутності світла та мезофільному температурному режимі. З початку періоду газоутворення склад біогазу аналізувався газоаналізатором Geotech BIOGAS 5000.

Результати дослідження та їх обговорення

Як видно з графіку (рис. 6) ОВП в біосистемі анаеробного реактора знизилася на 5-ту експерименту до значень -400(-500) мВ, що свідчить про досягнення стійкого анаеробіозу. Такі стабільні значення ОВП забезпечують можливість стійкого розвитку метаногенезу. Слід зауважити, що значення рН на 6-ту—7-му добу експерименту досягли 7,6-7,8 (рис. 6), що свідчить про швидкий розвиток гідролітичної стадії анаеробного збродження з розщепленням органічних сполук до більш простих з виходом діоксиду карбону та водню. В подальшому відбувається стабілізація значень рН в діапазоні (7,0-7,3), що є оптимальним для розвитку

метаногенної асоціації мікроорганізмів та узгоджується із дослідженням [8,9].

Мінералізованість субстрату також змінювалася при початкових значеннях 201-205 ppm поступово зростає до рівня 550-560 ppm, що свідчить про глибокий рівень мінералізації в анаеробних умовах.

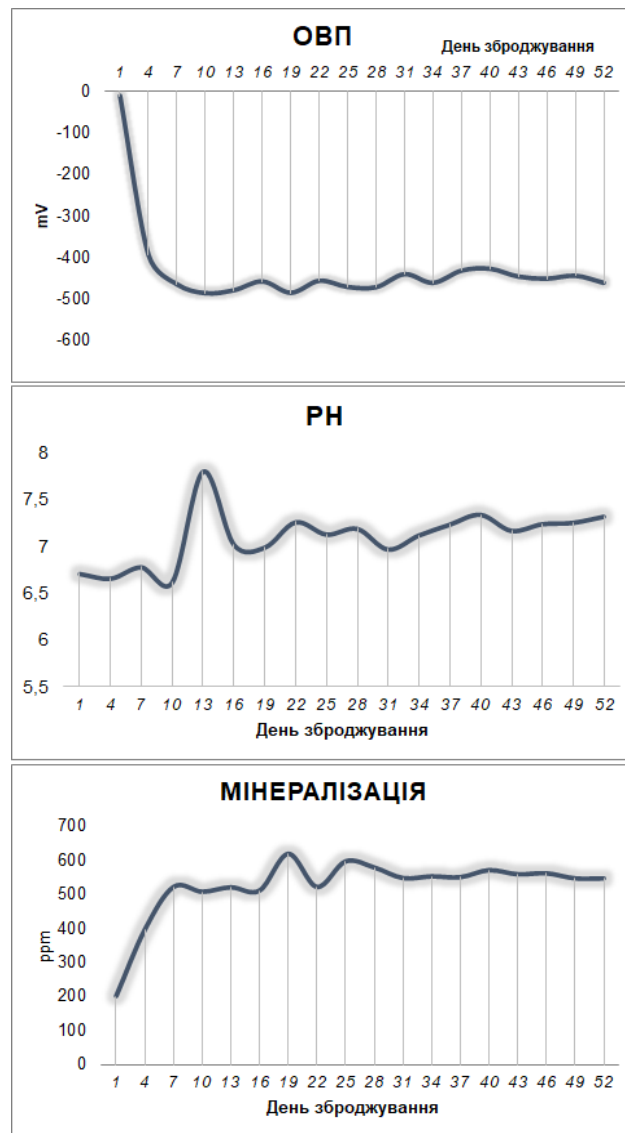


Рис. 6. – Динаміка фізико-хімічних показників в процесі анаеробного збродження пташиного посліду попередньо обробленого ультразвуком

Співставлення біосистем анаеробного збродження з попередньою обробкою субстрату ультразвуком за продуктивністю біогазу з контролем (без попередньої обробки) продемонструвало збільшення об'єму в 1,3 рази, та досягнення значень 9800 мл загалом та 4980 мл метану на 25-ту добу (рис. 7). Отримані результати узгоджуються з попередніми дослідженнями різних субстратів [5,7]. Зокрема в роботі Romio et al. (2022), обґрунтування різниці

виходу обумовлено впливом ультразвуку на структуру субстрату, розмір його часток та гомогенізацію [4]. Це стимулює більш ефективне впровадження субстратів в метаболічні перетворення анаеробними мікроорганізмами за етапами гідроліз-ацидогенез-ацетатогенез-метаногенез. В дослідженні з експериментами Kong et al. (2021) з розчинення та гідролізу відмічено, що ультразвук прискорює вивільнення білка з органічних залишків, особливо після зменшення розміру часточок, а попереднє подрібнення позитивно впливає на вивільнення полісахаридів в робочий об'єм [10].

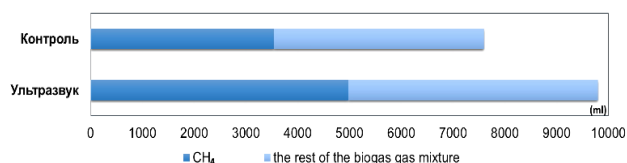
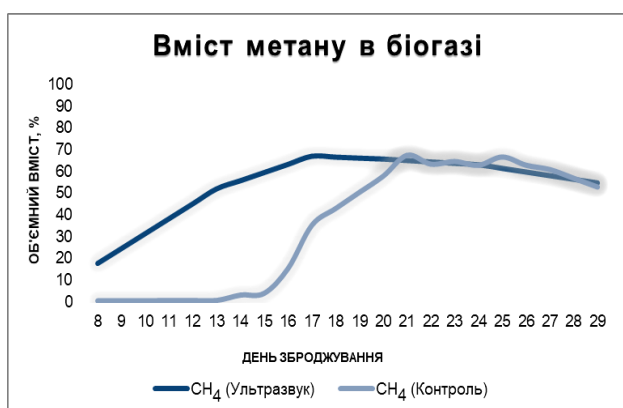


Рис. 7 – Порівняння об'ємних часток компонентного складу біогазу в серії експериментів з попередньою обробкою субстрату та без обробки

Отже, наші дослідження узгоджуються з попередніми роботами, згідно яких ультразвукова обробка субстрату збільшує вихід біогазу орієнтовно в 1,4-1,7 разів [11].

Для реалізації комбінованої системи утилізації органічних відходів з розрахунком терміну окупності біогазової установки, для розрахунку було взято вартість 5 млн євро з урахуванням стандартних методів отримання біогазу та із застосуванням методу ультразвукової обробки (табл. 1).

Для повної оцінки методу ультразвукової обробки, через розрахунок виходу утвореного біогазу, який, як відомо з [42], становить 1,4-1,7 рази, для розрахунків взяли усереднений коефіцієнт 1,5 для збільшення розрахункового виходу біогазу (табл. 2).

Отже, виходячи із теоретичних розрахунків, контрольне третє виробництво збільшило вихід біогазу з 164 м³ до 246,1 м³. В свою чергу, окупність цього виробництва знизилась від 5,0 до 2,5 років.

Таблиця 1 – Окупність біогазової станції без ультразвукової установки

Показники	Виробництво			
	Перше	Друге	Третє	Четверте
Кількість відходів, тон за добу	20,0	35,0	45,0	60,0
Кількість відходів, кг за годину	833,3	1458,3	1875,0	2500,0
Вміст сухої органічної речовини, кг	208,3	364,6	468,8	625,0
Вихід біогазу, м ³ за годину	72,9	127,6	164,1	218,8
Маса біогазу, кг за годину	87,5	153,1	196,9	262,5
Вміст метану, кг за годину	52,5	91,9	118,1	157,5
Теплотворна здатність метану, МДж за кг	2430,8	4253,8	5469,2	7292,3
Теплотворна здатність метану, кВт	675,0	1181,0	1517,0	2025,0
Окупність установки, рік	11,2	6,4	5,0	3,7

Таблиця 2 – Окупність біогазової станції із застосуванням методу обробки ультразвуком

Показники	Виробництво			
	Перше	Друге	Третє	Четверте
Кількість відходів, тон за добу	20,0	35,0	45,0	60,0
Кількість відходів, кг за годину	833,3	1458,3	1875,0	2500,0
Вміст сухої органічної речовини, кг	208,3	364,6	468,8	625,0
Вихід біогазу, м ³ за годину	109,4	191,4	246,1	328,1
Маса біогазу, кг за годину	131,3	229,7	295,3	393,8
Вміст метану, кг за годину	78,8	137,8	177,2	236,3
Теплотворна здатність метану, МДж за кг	3646,1	6380,7	8203,8	10938,4
Теплотворна здатність метану, кВт	675,0	1181,0	1517,0	2025,0
Окупність установки, рік	7,5	4,3	3,3	2,5

На сьогодні досить значна кількість міжнародних грантових платформ дозволяє профінансувати впровадження біогазових проєктів на місяцях. Перші конкурси Європейської інноваційної ради (EIC) розпочались у 2021 році, ця третя основна

частина програми «Горизонт Європа» має загальний бюджет у обсязі понад 10 мільярдів євро на 2021 - 2027 роки. У червні 2022 року у робочу програму EIC було внесено ряд доповнень, серед яких зокрема відкриття додаткового конкурсу пропозицій, спрямованих на інноваційну високотехнологічну спільноту України, яка має міцний потенціал для створення інновацій. Разом з тим, українські організації мають можливість подавати свої проектні заявки на всі інструменти Європейської інноваційної ради: Pathfinder, Transition та Accelerator [12].

Висновки

У роботі було досліджено процес інтенсифікації отримання біогазу з використанням ультразвукової обробки, на етапі попередньої підготовки. Лабораторний експеримент підтвердив позитивний вплив обробки сировини в ультразвуковій установці з результатом збільшення продуктивності об'єму біогазу в 1,3 рази та метану в 1,4 рази. За рахунок інтенсифікації біогазового виробництва з органічних відходів та підвищення якості отриманого біогазу з початком утворення газу раніше на 7 діб досягається комплексна ціль утилізації відходів в рамках захисту довкілля та отримання корисних продуктів. Проведений теоретичний економічний розрахунок окупності біогазової установки із застосуванням методу обробки ультразвуком, з урахуванням можливостей додаткового грантового фінансування за підтримки конкурсів інноваційних проектів.

Подяки

Дане дослідження виконано у межах планових наукових робіт кафедри екології та природоохоронних технологій Сумського державного університету, пов'язаних з тематикою "Оцінка техногенного навантаження регіону за зміни промислової інфраструктури" згідно з науково-технічною програмою Міністерства освіти і науки України (№ державної реєстрації 0121U114478); спільного українсько-чеського науково-дослідного проекту "Біоенергетичні інновації в рециклінгу відходів та раціональному використанні природних ресурсів", 2021-2022 рр.

Ми також вдячні підтримці, наданій Міністерством закордонних справ Чеської Республіки, яка дозволила розпочати цю наукову співпрацю у рамках проекту "AgriSciences Platform for Scientific Enhancement of HEIs in Ukraine".

Список літератури

1. Nuhu S. K., James Gyang J. A., Kwarbak J. J. Production and optimization of biomethane from chicken, food, and sewage wastes: The domestic pilot biodigester performance. *Chem Eng Technol.* 2021. № 5. 100298. doi: 10.1016/j.clet.2021.100298.

2. Ткачук К. К., Ополінський І. О. Дослідження впливу деструкції біомаси на процес утворення біогазу. *Екологічна безпека*. Кременчук. 2018. № 25. С. 46–51.
3. Айтбаєва З. К. *Автоматизація та управління кавітаційною деструкцією відходів тваринництва для інтенсифікації анаеробного зброджування*. Дис. на здобуття наукового ступеня к.т.н. Бішкек, 2020. 179 с.
4. Romio C., Kofoed M., Møller H. Effect of ultrasonic and electrokinetic post-treatments on methane yield and viscosity of agricultural digestate. *Bioresour Technol.* 2022. P. 127388. doi: 10.1016/j.biortech.2022.127388.
5. Yue L., Cheng J., Tang S., An X., Hua J., Dong H., Zhou J. Ultrasound and microwave pretreatments promote methane production potential and energy conversion during anaerobic digestion of lipid and food wastes. *Energy.* 2021. 228. P. 120525. doi: 10.1016/j.energy.2021.120525.
6. Zia M., Ahmed S., Kumar A. Anaerobic digestion (AD) of fruit and vegetable market waste (FVMW): potential of FVMW, bioreactor performance, co-substrates, and pre-treatment techniques. *Biomass Convers. Biorefin.* 2020. P. 3573–3592. doi: 10.1007/s13399-020-00979-5.
7. Ramanathan R. M., Balasubramanian N., Chithra K. Biogas from confectionery wastewater with the application of ultrasound pre-treatment. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects.* 2019. P. 1–12. doi: 10.1080/15567036.2019.1649747.
8. Kizito S., Jgawe J., Mondon S. W., Nagawa C. B., Bah H., & Tumutegereize P. Synergetic effects of biochar addition on mesophilic and high total solids anaerobic digestion of chicken manure. *J. Environ. Manage.* 2022. 315. P. 115192. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115192.
9. Odejebi O. J., Olawuni O. A., Dahunsi S. O., John A. A. Evaluation of Biogas Production from Bio-Digestion of Organic Wastes. *Int. J. Eng. Res. Afr.* 2020. 51. P. 217 - 227.
10. Kong X., Defemur Z., Li M., Zhang Q., Li H., & Yue X. Effects of combined ultrasonic and grinding pre-treatments on anaerobic digestion of vinegar residue: organic solubilization, hydrolysis, and CH₄ production. *Environ. Technol.*, 2021. P. 1–11. doi: 10.1080/09593330.2020.1870572.
11. Ковальов А. А., Ковальов Д. А., Григорьев В. С. Енергетична ефективність попередньої обробки синтетичного субстрату метантенка в апараті вихрового шару. *Наукова стаття*, 2020. С. 97-98.
12. European Innovation Council (EIC) Work Programme 2022. European Commission Decision C(2022) 701 of 7 February 2022, 160 с.

References (transliterated)

1. Nuhu S. K., James Gyang J. A., Kwarbak J. J. Production and optimization of biomethane from chicken, food, and sewage wastes: The domestic pilot biodigester performance. *Chem Eng Technol.*, 2021, 5, pp. 100298, doi: 10.1016/j.clet.2021.100298.
2. Tkachuk K. K., Opolinskyi I.O. Doslidzhennia vplyvu destrukttsii biomasy na protses utvorennia biohazu. [Study of the influence of biomass destruction on the process of biogas production]. *Ekolohichna bezpeka*. Kremenchuk, 2018, No25. S. 46–51.
3. Aitbaieva Z. K. Avtomatyziatsiia ta upravlinnia kavitatsiinoiu destrukttsiieiu vidkhodiv tvarynnyctva dlia intensyfikatsii anaerobnoho zbrodzhuвання. [Automation and control of cavitation destruction of livestock waste for intensification of anaerobic digestion]. *Dys. na zdobuttia naukovoho stupenia k.t.n. Bishket*, 2020. 179 s.

4. Romio C., Kofoed M., Møller H. Effect of ultrasonic and electrokinetic post-treatments on methane yield and viscosity of agricultural digestate. *Bioresour Technol.*, 2022, pp. 127388, doi: 10.1016/j.biortech.2022.127388.
5. Yue L., Cheng J., Tang S., An X., Hua J., Dong H., Zhou J. Ultrasound and microwave pretreatments promote methane production potential and energy conversion during anaerobic digestion of lipid and food wastes. *Energy*, 2021, 228, pp. 120525, doi: 10.1016/j.energy.2021.120525.
6. Zia M., Ahmed S., Kumar A. Anaerobic digestion (AD) of fruit and vegetable market waste (FVMW): potential of FVMW, bioreactor performance, co-substrates, and pre-treatment techniques. *Biomass Convers. Biorefin.*, 2020, pp. 3573–3592, doi: 10.1007/s13399-020-00979-5.
7. Ramanathan R. M., Balasubramanian N., Chithra K. Biogas from confectionery wastewater with the application of ultrasound pre-treatment. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2019, pp. 1–12, doi: 10.1080/15567036.2019.1649747.
8. Kizito S., Jjagwe J., Mondono S. W., Nagawa C. B., Bah H., Tumutegyereze P. Synergetic effects of biochar addition on mesophilic and high total solids anaerobic digestion of chicken manure. *J. Environ. Manage.*, 2022, 315, pp. 115192, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115192.
9. Odejebi O. J., Olawuni O. A., Dahunsi S. O., John A. A. Evaluation of Biogas Production from Bio-Digestion of Organic Wastes. *Int. J. Eng. Res. Afr.*, 2020, 51, pp. 217–227.
10. Kong X., Defemur Z., Li M., Zhang Q., Li H., Yue X. Effects of combined ultrasonic and grinding pre-treatments on anaerobic digestion of vinegar residue: organic solubilization, hydrolysis, and CH₄ production. *Environ. Technol.*, 2021, pp. 1–11, doi: 10.1080/09593330.2020.1870572.
11. Kovalov A. A., Kovalov D. A., Hryhoriev V. S. Enerhetychna efektyvnist poperednoi obrobky syntetychnoho substratu metantenka v aparati vykhrovoho sharu [Energy efficiency of pretreatment of synthetic substrate of digester in the vortex layer apparatus]. *Naukova stattia*, 2020, pp. 97–98.
12. European Innovation Council (EIC) Work Programme 2022. European Commission Decision C(2022) 701 of 7 February 2022, 160 p.

Відомості про авторів (About authors)

Чубур Вікторія Сергіївна – магістр, Сумський державний університет, аспірантка кафедри екології та природозахисних технологій; м. Суми, Україна; ORCID: 0000-0003-4871-1162; e-mail: v.chubur@ecolog.sumdu.edu.ua

Chubur Viktoriia Serhiivna - M.S., Sumy State University, PhD student of the Department of Ecology and Environmental Protection Technologies; Sumy, Ukraine; ORCID: 0000-0003-4871-1162; e-mail: v.chubur@ecolog.sumdu.edu.ua

Черниш Єлизавета Юрїївна – доктор технічних наук, Сумський державний університет, доцент кафедри екології та природозахисних технологій; м. Суми, Україна; ORCID: 0000-0003-4103-4306; e-mail: e.chernish@ssu.edu.ua

Chernysh Yelizaveta Yuriiivna – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection Technologies, Sumy State University (SSU), Sumy, Ukraine, 40007; ORCID: 0000-0003-4103-4306; e-mail: e.chernish@ssu.edu.ua

Скиданенко Максим Сергійович – кандидат технічних наук, Сумський державний університет, докторант кафедри хімічної інженерії; м. Суми, Україна; ORCID: 0000-0002-0277-1867; e-mail: skidanenko@pohnp.sumdu.edu.ua

Skidanenko Maksym Serhiiovych - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Sumy State University, doctoral student Department of Chemical Engineering; Sumy, Ukraine; ORCID: 0000-0002-0277-1867; e-mail: skidanenko@pohnp.sumdu.edu.ua

Данилов Дмитро Володимирович – студент магістратури, Сумський державний університет, кафедра екології та природозахисних технологій; м. Суми, Україна; ORCID: 0000-0002-1883-0964; e-mail: dmitr.lis2014@gmail.com

Danylov Dmytro Volodymyrovych - master's student, Sumy State University, Department of Ecology and Environmental Protection Technologies; Sumy, Ukraine; ORCID: 0000-0002-1883-0964; e-mail: dmitr.lis2014@gmail.com

Білоус Олексій Олександрович – студент магістратури, Сумський державний університет, кафедра екології та природозахисних технологій; м. Суми, Україна; ORCID: 0000-0002-7220-9992; e-mail: aleksejbelous1998@gmail.com

Bilous Oleksii Oleksandrovych - master's student, Sumy State University, Department of Ecology and Environmental Protection Technologies; Sumy, Ukraine; ORCID: 0000-0002-7220-9992; e-mail: skidanenko@pohnp.sumdu.edu.ua

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Чубур В. С., Черниш, Є. Ю., Скиданенко М. С., Данилов Д. В., Білоус О. О. Переробка птишиного послїду в енергетичних цїлях в технологїях захисту довкїлля. *Вїсник Нацїонального технїчного унїверситету «ХПІ»*. Серїя: Новї рїшення в сучасних технологїях. – Харкїв: НТУ «ХПІ». 2022. № 3 (13). С. 86-92. doi:10.20998/2413-4295.2022.03.13.

Please cite this article as:

Chubur V., Chernysh Ye., Skidanenko M., Danilov D., O Bilous. Processing of poultry manure for energy purposes in environmental protection technologies. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2022, no. 3(13), pp. 86–92, doi:10.20998/2413-4295.2022.03.13.

Надїйшла (received) 02.09.2022