



Науковий вісник Львівського національного університету  
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.  
Серія: Сільськогосподарські науки

Scientific Messenger of Lviv National University  
of Veterinary Medicine and Biotechnologies.  
Series: Agricultural sciences

ISSN 2519–2698 print  
ISSN 2707–5834 online

doi: 10.32718/nvlvet-a10243  
<https://nvlvet.com.ua/index.php/agriculture>

UDC 635.82:631.811.

## Waste-free anaerobic bioconversion of organic waste into biogas, digestate and related products

G. A. Butsyak, O. V. Matsuska<sup>✉</sup>, O. V. Shtapenko, V. I. Butsyak

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Lviv, Ukraine

### Article info

Received 24.03.2025  
Received in revised form  
24.04.2025  
Accepted 25.04.2025

Stepan Gzhytskyi National  
University of Veterinary  
Medicine and Biotechnologies,  
Pekarska Str., 50, Lviv,  
79010, Ukraine.  
Tel.: +38-067-25-99-539  
E-mail: [kasanam@meta.ua](mailto:kasanam@meta.ua)

**Butsyak, G. A., Matsuska, O. V., Shtapenko, O. V., & Butsyak, V. I. (2025). Waste-free anaerobic bioconversion of organic waste into biogas, digestate and related products. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural sciences, 27(102), 305–310. doi: 10.32718/nvlvet-a10243**

The analysis of the theoretical foundations of anaerobic digestion of organic waste shows that the efficiency of this process depends on many factors, such as temperature, pH, carbon to nitrogen ratio (C/N), activity of microbial consortia, duration of hydrolysis and methanogenesis. Successful application of such biotechnologies requires an integrated approach to the preparation of raw materials, selection of the optimal type of bioreactor, control of environmental parameters and high-quality purification of the final product – biogas. From an environmental perspective, anaerobic digestion reduces environmental pollution through the efficient processing of organic waste, which, if used irrationally, leads to the generation of harmful greenhouse gases and soil pollution. Biogas produced from the anaerobic digestion of organic waste contains not only methane (CH<sub>4</sub>), the main energy component, but also a significant proportion of impurities that reduce its energy value and cause corrosion of equipment. The by-products that need to be removed include the following components: CO<sub>2</sub> (carbon dioxide), which reduces the calorific value of biogas; H<sub>2</sub>S (hydrogen sulphide), which is toxic and causes severe corrosion; NH<sub>3</sub> (ammonia), which is formed during the fermentation of protein-containing substrates; moisture and dust, which form acidic solutions in contact surfaces. Particular attention is paid to technologies for biogas purification from carbon dioxide, hydrogen sulphide and ammonia, which are critical for increasing the energy value of biogas and ensuring safe operation of equipment. Physical, chemical and biological methods of purification, including adsorption, membrane technologies, scrubbing, biofiltration, which have proven their effectiveness in industrial practice, are considered. Digestate, a valuable by-product of the bioconversion process, has a high content of macro- and microelements, organic matter and microbiological activity, making it a competitive organic fertiliser. Its proper storage, dosage and application to the soil can improve soil structure, increase crop yields and help reduce the use of chemical fertilisers. The digestate is enriched with microbial organic matter by 30–50 %, and in the process of mineralisation, mineral components available for plants are formed in the following amounts for the liquid fraction (Nitrogen – 6.6 kg/m<sup>3</sup>, Phosphate – 1.9 kg/m<sup>3</sup>, Potassium – 6.2 kg/m<sup>3</sup>, Zinc – 8.2 mg/kg, Copper – 14.1 mg/kg and Cobalt – 7.2 mg/kg); for the solid fraction (Nitrogen – 6.8 kg/m<sup>3</sup>, Phosphate – 3.1 kg/m<sup>3</sup>, Potassium – 2.7 kg/m<sup>3</sup>, Zinc – 12.5 mg/kg, Copper – 34.5 mg/kg and Cobalt – 18.1 mg/kg).

**Key words:** anaerobic bioconversion, organic waste, biogas, digestate, waste-free technologies.

## Безвідходна анаеробна біоконверсія органічних відходів у біогаз, дигестат та супутні продукти

Г. А. Буцяк, О. В. Мацуська<sup>✉</sup>, О. В. Штапенко, В. І. Буцяк

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів, Україна

Аналіз теоретичних основ анаеробного зброджування органічних відходів засвідчує, що ефективність даного процесу залежить від багатьох чинників – температурного режиму, рівня рН, співвідношення Карбону до Нітрогену (C/N), активності мікробних консорціумів, тривалості гідролізу та метаногенезу. Успішне застосування таких біотехнологій вимагає комплексного підходу до підготовки сировини, вибору оптимального типу біореактора, контролю параметрів середовища та якісного очищення кінцевого продукту – біогазу. Анаеробне зброджування, в екологічному плані, забезпечує зниження рівня забруднення навколишнього середовища шляхом ефективної переробки органічних відходів, які у разі їх нераціонального використання призводять до утворення шкідливих парникових газів та забруднення ґрунтів. Біогаз, отриманий у результаті анаеробного зброджування органічних відходів, містить не тільки метан ( $\text{CH}_4$ ) – основний енергетичний компонент, а й значну частку домішок, які знижують його енергетичну цінність і спричиняють корозію обладнання. До супутніх продуктів, яких необхідно позбутися, відносять наступні компоненти:  $\text{CO}_2$  (вуглекислий газ) – знижує теплоту згоряння біогазу;  $\text{H}_2\text{S}$  (сірководень) – токсичний і викликає сильну корозію;  $\text{NH}_3$  (амоніак) – утворюється при зброджуванні протеїновмісних субстратів; волога та пил – утворюють кислотні розчини у контактних поверхнях. Окрему увагу приділено технологіям очищення біогазу від вуглекислого газу, сірководню та аміаку, які є критичними для підвищення енергетичної цінності біогазу та забезпечення безпечної експлуатації обладнання. Розглянуто фізичні, хімічні та біологічні методи очищення, зокрема адсорбцію, мембранні технології, скрубвання, біофільтрацію, які довели свою ефективність у промисловій практиці. Дигестат – цінний побічний продукт процесу біоконверсії – має високий вміст макро- та мікроелементів, органічної речовини та мікробіологічної активності, що робить його конкурентоздатним органічним добривом. Його правильне зберігання, дозування та внесення у ґрунт дозволяє покращити структуру ґрунтів, підвищити врожайність сільськогосподарських культур та сприяти зменшенню використання хімічних мінеральних добрив. Дигестат збагачується мікробною органічною масою на 30-50%, а в процесі мінералізації утворюються доступні для рослин мінеральні компоненти, у кількості: для рідкої фракції (Нітроген – 6,6 кг/м<sup>3</sup>, Фосфати – 1,9 кг/м<sup>3</sup>, Калій – 6,2 кг/м<sup>3</sup>, Цинк – 8,2 мг/кг, Купрум – 14,1 мг/кг та Кобальт – 7,2 мг/кг); для твердої фракції (Нітроген – 6,8 кг/м<sup>3</sup>, Фосфати – 3,1 кг/м<sup>3</sup>, Калій – 2,7 кг/м<sup>3</sup>, Цинк – 12,5 мг/кг, Купрум – 34,5 мг/кг та Кобальт – 18,1 мг/кг).

**Ключові слова:** анаеробна біоконверсія, органічні відходи, біогаз, дигестат, безвідходні технології.

## Вступ

Анаеробна біоконверсія – процес розщеплення органічних речовин мікроорганізмами в умовах відсутності кисню з утворенням біогазу, супутніх продуктів та дигестату (Korniienko et al., 2022). Біогаз складається переважно з метану ( $\text{CH}_4$ ) та вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ), а також незначних кількостей сірководню ( $\text{H}_2\text{S}$ ), амоніаку ( $\text{NH}_3$ ), водяної пари та слідів летких органічних речовин. Цей процес є екологічно безпечним, оскільки дозволяє перетворювати органічні відходи на енергоносії та органічне добриво (Kernasiuk, 2019).

Поряд із цим, бродіння органічних відходів на полігонах характеризуються високим біохімічним споживанням кисню, що, в свою чергу, сприяє додатковому навантаженню на довкілля токсичними продуктами бродіння. Тому їхня переробка у біогазовому напрямі є однією з найбільш перспективних технологій сучасності, що об'єднує екологічну безпеку, енергоефективність та економічну доцільність (Prozatverdzhennia..., 2019; Heletukha et al., 2022; Karpenko et al., 2022).

Анаеробна біоконверсія дозволяє утилізувати до 80% органічних відходів, які в іншому випадку потрапляли б на сміттєзвалища. Це знижує навантаження на полігони, зменшує потребу в нових місцях захоронення та витрати на їх обслуговування. Сприяє зниженню рівня забруднення навколишнього середовища токсичними продуктами бродіння та викидами парникових газів (Overkovska, 2021; Shvorov et al., 2023).

## Мета дослідження

Метою теоретичних досліджень є обґрунтування доцільності використання безвідходних технологій анаеробного зброджування органічних відходів у біогаз, дигестат та супутні продукти. Для досягнення поставленої мети, був проведений аналіз вітчизняних та зарубіжних розробок щодо удосконалення техно-

логії утилізації органічних відходів у біометан як альтернативне джерело енергії та дигестат як органічне добриво для відновлення родючості ґрунтів.

## Матеріал і методи досліджень

Проведено глибокий аналіз літературних джерел щодо біоконверсії органічних відходів шляхом метанового бродіння з метою одержання біометану, дигестату та супутніх продуктів ферментації. У процесі аналітичного дослідження були використані різні джерела інформації для удосконалення існуючих та розробки нових безвідходних технологій утилізації органічних відходів.

Пошук необхідної інформації здійснювали із використанням сучасних наукових систем (PubMed, Google Scholar, Scopus), вітчизняних журналів та онлайн-сеінарів. Цей огляд включав статті, написані та опубліковані як англійською, так й українською мовами. Пошукові терміни, які надавали більшість інформації: “біоконверсія органічних відходів”, “анаеробне зброджування”, “біогаз та біометан”, “дигестат”.

## Результати та їх обговорення

Перед потраплянням у біореактор органічні відходи повинні пройти низку підготовчих технологічних операцій, що забезпечують підвищення ефективності зброджування: сортування – видалення неорганічних включень, які можуть пошкодити обладнання та інгібувати ферментну активність мікрофлори; подрібнення – зменшення розмірів частинок до 5–15 мм для збільшення площі контакту мікроорганізмів із субстратом; гомогенізація – механічне перемішування до однорідної маси, що забезпечує рівномірність параметрів середовища (Skliar & Skliar, 2016; Kolodiichuk, 2020; Chernysh et al., 2021).

Сам процес анаеробного зброджування органічних відходів проходить за класичною схемою: гідроліз – розщеплення полімерів (білків, жирів, вуглеводів) на

мономери; перетворення мономерів у леткі жирні кислоти, спирти, амоніак, водень (ацидогенез); перетворення продуктів ацидогенезу в ацетатну кислоту, CO<sub>2</sub> та H<sub>2</sub> (ацетогенез) та утворення метану із попередніх сполук (метаногенез) (Starodub et al., 2016; Tkachenko et al., 2020; Prokaieva, 2021).

Весь процес відбувається завдяки діяльності специфічних консорціумів мікроорганізмів, які здатні функціонувати синергічно у складному метаболічному ланцюгу. Анаеробне зброджування здійснюється завдяки послідовній дії різних груп мікроорганізмів гідролітичні бактерії (*Bacillus*, *Clostridium*) розщеплюють полімери; ацидогенні бактерії (*Lactobacillus*, *Enterobacter*) утворюють жирні кислоти; ацетогенні бактерії (*Syntrophomonas*, *Syntrophobacter*) – ключові у стабілізації процесу; метаногенні археї (*Methanosarcina*, *Methanobacterium*) синтезують метан (Horova et al., 2012; Palamarchuk et al., 2020).

Ці мікроорганізми формують синергічний консорціум, чутливий до умов середовища. Найбільш критичними параметрами для ефективного метаногенезу є: оптимальна температура 35–38 °C для мезофільного режиму); рН середовища (оптимум: 6,8–7,5); C/N співвідношення 20–30:1 без наявності інгібіторів ферментного процесу зброджування (солі, амоніак, сульфід тощо). Завдяки злагодженій роботі мікрофлори відбувається стабільне виробництво біогазу та синтез стабілізованого залишку – дигестату, що має агрономічну цінність (Skliar & Skliar, 2019; Honcharuk, 2023).

Без попереднього очищення біогазу неможливо використовувати в газових турбінах, котлах або як моторне паливо. Загалом, процес очищення біогазу завжди проходить кілька стадій: осушення газу (видалення водяної пари); зниження концентрації H<sub>2</sub>S та NH<sub>3</sub>; видалення CO<sub>2</sub> для підвищення енергетичної цінності (за потреби) та фільтрація від механічних домішок (пил, олії) (Sliuzar, 2021).

Виділення сірководню із суміші газів, отриманих після анаеробного зброджування органічних відходів проводять: фізико-хімічними (осадження сірководню у вигляді Сульфуру та сульфідів за допомогою активованого заліза (залізоокисний фільтр) і промиванням біогазу лужними або окиснювальними розчинами (NaOH, FeCl<sub>3</sub>) та біологічними (використання бактерій, які окиснюють сірководень до сульфатів) методами (Yesipov & Hryn, 2023).

Виділення амоніаку проводять, в основному, фізико-хімічними методами – амоніак зв'язується з кислотою, утворюючи стабільні солі (кислотні скрубери: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> або HCl) або зниженням температури до конденсації NH<sub>3</sub> – адиабатичне охолодження. Біологічна фільтрація є менш ефективна, застосовується як допоміжна.

Для перетворення біогазу в біометан із вмістом CH<sub>4</sub> > 95 % застосовуються такі методи:

- водна абсорбція – біогаз промивається водою під тиском, у якій вуглекислий газ розчиняється краще, ніж метан, він надійний, але потребує значних обсягів води;

- хімічна абсорбція – використання амінів (MEA, DEA), які селективно зв'язують CO<sub>2</sub>, метод ефективний, але енергозатратний при регенерації розчину.

- мембранна сепарація – напівпроникні мембрани пропускають CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>S швидше, ніж CH<sub>4</sub>, дозволяючи ефективно концентрувати метан. Ефективність залежить від багатоступеневої системи.

- криогенна сепарація – газ охолоджується до дуже низьких температур, де CO<sub>2</sub> та інші компоненти конденсуються. Метод дорогий, застосовується для отримання скрапленого біометану (LBG) (Chernysh & Pliatsuk, 2015).

Після очищення біогазу може одержати біометан, який характеризується наступними показниками: CH<sub>4</sub> ≥ 95%, CO<sub>2</sub> ≤ 2–3 %, H<sub>2</sub>S ≤ 100 ppm, NH<sub>3</sub> ≤ 10 ppm, його можна подавати в газові мережі; використовувати як паливо для транспорту (bio-CNG) та генерувати електроенергію та тепло з високим ККД. Зберігають біогаз, в основному в газгольдерах або у вигляді зрідженого біометану (Kramar, 2023).

Після завершення анаеробної ферментації органічних промислових відходів, окрім вище згаданих, біогазу та супутніх продуктів одержують також дигестат – відносно тверду фазу органічних залишків анаеробного бродіння (біля 35–40 % маси початкового субстрату). Він є цінним вторинним продуктом, який можна використовувати у сільському господарстві, як органічне добриво у землеробстві (Skliar & Skliar, 2020).

Залежно від типу біореактора та режиму роботи, одержують дигестат різних фракцій: твердий дигестат – волокниста частина, багата на органічну речовину, гумусоподібні речовини та макроелементи; рідкий дигестат – водна фаза, збагачена на доступні форми азоту, фосфору, калію. Хімічний склад дигестату залежить від складу субстрату (харчові відходи, гній, рослинні залишки), параметрів процесу зброджування (температура, гідралічний час утримання, співвідношення C/N) та типу мікробної спільноти (Dahlin et al., 2017; Palamarchuk et al., 2020).

Використання дигестату як органічного добрива проявляє позитивний на ґрунт та сільськогосподарські рослини через покращення структури ґрунту за рахунок органічної речовини і гумусоподібних компонентів, підвищення його водоутримувальної здатності та аерації. У дигестаті немає насіння бур'янів та патогенної мікрофлори, однак кількість синергічних популяцій мікроорганізмів достатньо висока (до 10<sup>14</sup> колоній на 1 г дигестату), яка сприяє активному росту рослин і відновлення родючості деградованих ґрунтів шляхом активізації мікробіоти ґрунту (Zakhariv, 2019; Lohosha et al., 2022; Karpenko et al., 2022).

Дигестат забезпечує повільне, рівномірне живлення рослин, що попереджає вимивання поживних речовин з ґрунту. Нітроген доступний в амонійній формі, що також зменшує його вимивання. Він характеризується низьким вмістом важких металів і токсичних речовин, особливо, порівняно з мінеральними добривами. У процесі анаеробної ферментації органічних відходів вміст амонійного Нітрогену в розчинній формі в дигестаті зростає на 10–18 % (Korniienko et al., 2017).

Перед використанням органічного добрива у вигляді дигестату у сільському господарстві спершу його потребує підготовки шляхом механічного розділення на фракції. Дискові або шнекові сепаратори розділяють на твердий і рідкий компоненти. Тверда фракція використовується для компостування або як ґрунтоутворювач, а рідка – для рідкого підживлення рослин або фільтрації перед поливом ([Onlain-seminar, 2020](#)).

Компостування збагачує твердий дигестат киснем, сприяє дозріванню органічної речовини, додатково знижує патогенні мікроорганізми за рахунок підвищення температури та стабілізує біомасу, покращує запах і знижує об'єм. Сушіння та гранулювання використовують для створення органо-мінеральних гранульованих добрив, придатних для зберігання, транспо-

ртування та внесення в ґрунт технікою. За необхідності (особливо, при використанні побутових відходів або гною як субстрату для анаеробного зброджування) проводиться термічна обробка, щоб знищити патогенні мікроорганізми ([Malhotra et al., 2022](#)).

Технологічно дигестат вносять у ґрунт шляхом поливу або крапельного зрошення (для рідкого дигестату); поверхнево із закладенням вносять тверду фракцію дигестату (для зменшення втрати Нітрогену у вигляді NH<sub>3</sub>); локально у кореневу зону для кущів та дерев, а також здійснюють змішування його з компостом або мінеральними добривами ([Shynkarchuk et al., 2023](#)). Використання дигестату як органічного добрива – це не лише технологічний процес утилізує відходи, але й повернення поживних речовин у ґрунт ([табл. 1](#)).

**Таблиця 1**

Порівняльна характеристика дигестату та мінеральних добрив

Параметр	Дигестат	Мінеральні добрива
Доступність поживних речовин	Помірна	Висока
Вплив на ґрунт	Покращує структуру ґрунту, мікробіоту	Часто деградує ґрунт
Ціна	Низька (особливо при локальному використанні)	Висока
Екологічність	Висока (утилізація відходів)	Помірна/низька
Вуглецевий слід	Низький	Високий (через виробництво)

Незважаючи на значний потенціал як органічних харчових відходів, так й сільськогосподарських, впровадження біогазових технологій в Україні стикається з низкою бар'єрів, а саме із фінансовими, нормативно-правовими, технічними та інформаційними ([Honcharuk et al., 2023](#)).

Саме тому подальший розвиток цього напрямку потребує активної підтримки з боку держави (субсидії, податкові пільги, гранти); удосконалення законодавства щодо поводження з органічними відходами та використання дигестату; інвестицій у дослідження, адаптацію і локалізацію новітніх технологій очищен-

ня та зброджування, а також популяризації серед населення свідомого в екологічному плані ставленні до органічних відходів ([Standartyzatsiia yakosti, 2020](#)).

Нами узагальнений SWOT-аналіз ([табл. 2](#)), який дозволить планувати впровадження екологічно орієнтованих біоконверсійних технологій щодо виробництва біопалива та високоякісного органічного добрива. Хоча, згідно законодавчих документів ЄС, дигестат не вважають органічним добривом, його регламентують як “органічний покращувач ґрунту”, “середовище для вирощування” та “органічний, немікробний біостимулятор рослин” ([Lohosha et al., 2022](#)).

**Таблиця 2**

SWOT – аналіз виробництва та використання дигестату як кінцевого продукту анаеробного зброджування органічних відходів

Сильні сторони	Слабкі сторони
Містить органічний Карбон у складі гумінових речовин (1–3 % по масі) та необхідні для рослин макро - та мікроелементів (N, P, K, Mg, S тощо). Підвищує врожайність с.-г. культур, порівняно з міндобривами за рахунок доступного для рослин Нітрогену. Забезпечує оптимальне для ґрунту співвідношення C/N 20–30 та рН 6,8–7,5. Немає насіння бур'янів та патогенної мікрофлори, кількість синергічних популяцій мікроорганізмів достатньо висока, яка сприяє активному росту рослин і відновлення родючості деградованих ґрунтів. Сприяє зниженню щільності та підвищення вологості ґрунтів.	Більшість біогазових підприємств в Україні, орієнтовані на продаж електроенергії за “зеленим” тарифом, а дигестат на ринку як органічного добрива не розглядається. Відсутність державних норм та вимог щодо виробництва та використання органічних добрив загалом, і дигестату зокрема. Відсутність системи сертифікації та забезпечення якості дигестату, що гальмує створення ринку органічних добрив з дигестату. Відсутність можливості створення іміджу якісного органічного добрива, відсутність довіри серед потенційних споживачів та, відповідно, попиту.
Можливості	Загрози
Як альтернатива дорогим імпортованим добривам; Для реабілітації деградованих ґрунтів у зонах військових дій; Для створення замкнених агроєкосистем на базі ферм, комбінатів, агропідприємств; Для біоорганічного землеробства – особливо у сегменті органічного виробництва. Як потенціал для скорочення викидів парникових газів (до 6 кг CO <sub>2</sub> на 1 кг заміщених азотних добрив).	Можливе перенасичення ґрунту азотом – потребує агрономічного розрахунку доз. Наявність патогенів або залишкових мікрополітантів – особливо якщо сировиною є харчові та побутові відходи. Неприємний запах – при поверхневому внесенні (вирішується закладенням у ґрунт або компостуванням). Потреба в спеціалізованій техніці для зберігання та внесення.

## Висновки

У результаті проведеного дослідження було встановлено, що анаеробна біоконверсія харчових відходів є одним з найбільш ефективних і перспективних напрямів у сфері управління органічними відходами, отримання відновлюваної енергії та зменшення екологічного навантаження на довкілля. Така технологія дозволяє вирішити одразу кілька ключових проблем сучасного суспільства: утилізацію органічних відходів, виробництво біогазу як альтернативного джерела енергії та отримання високоякісного органічного добрива у вигляді дигестату.

Безвідходна біоконверсія органічних відходів – це не лише технологія, а інструмент формування нової культури поводження з ресурсами, що поєднує у собі екологічну доцільність, економічну вигоду та соціальну відповідальність. Її масштабне впровадження – один із перспективних напрямків досліджень щодо сталого розвитку та енергетичної незалежності України.

### Відомості про конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

## References

- Chernysh, Ye. Yu. ta in (2021). Potensial orhanichnykh vidkhodiv yak substratu dlia anaerobnoho zbrodzhuvannia v Ukraini: vyznachennia tendentsii ta ekolohichna bezpeka praktyky. *Ekolohichni problemy*, 6(3), 135–144 (in Ukrainian).
- Chernysh, Ye. Yu., & Pliatsuk, L. D. (2015). Rozrobka biotekhnolohii vydalennia sirkovodniu iz biohazu z vykorystanniam immobilizatsiinoho materialu na osnovi fosfohipsu. *Skhidno-Ievropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii*, 2(6), 28–34. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte\\_2015\\_2%286%29\\_\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2015_2%286%29__6) (in Ukrainian).
- Dahlin, J., Nelles, M., & Herbes, C. (2017). Biogas digestate management: Evaluating the attitudes and perceptions of German gardeners towards digestate-based soil amendments. *Resources, Conservation and Recycling*, 118, 27–38.
- Heletukha, H., Kucheruk, P., & Matvieiev, Yu. (2022). Perspektyvy vyrobnytstva biometanu v Ukraini. *Analychna zapyska UABIO No29*. URL: <https://uabio.org/materials/13691> (in Ukrainian).
- Honcharuk, I. V. (2023). Yevropeyskyi dosvid vyrobnytstva biohazu u biometanu z vidkhodiv za pryntsyptom tsyrkuliarnoi ekonomiky u silskomu hospodarstvi. *Ekonomika, finansy, menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky*, 4, 7–19. DOI: 10.37128/2411-4413-2023-4-1 (in Ukrainian).
- Honcharuk, I. V., Pantsyryeva, H. V., Vovk, V. Yu., & Verkholiuk, S. D. (2023) Doslidzhennia ekolohichnoi bezpeky ta ekonomichnoi efektyvnosti dyhestatu yak biodobryva. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*, 2, 86–92. DOI: 10.33730/2310-4678.2.2023.282744 (in Ukrainian).
- Horova, A. I., Lysytska, S. M., Pavlychenko, A. V., & Skvortsova, T. V. (2012). *Biotekhnolohii v ekolohii: navch. Posibnyk. Natsionalnyi hirnychyi universytet. Dnipropetrovsk* (in Ukrainian).
- Karpenko, V. I., Kozlov, V. V., Holodok, L. P., & Horlinskyi, O. V. (2022). Utylizatsiia vidkhodiv z otrymanniam biopalyva i dobryv. *Problemy ekolohichnoi biotekhnolohii*, 2, 97–123. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/peb\\_2012\\_2\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/peb_2012_2_10) (in Ukrainian).
- Kernasiuk, Yu. V. (2019). Potensial vyrobnytstva biohazu v haluzi tvarynnytstva Ukrainy. *Prodovolchi resursy*, 12, 202–209. DOI: 10.31073/foodresources 2019-12-21 (in Ukrainian).
- Kolodiichuk, I. A. (2020). Teoretyko-metodolohichni zasady formuvannia terytorialno zbalansovanykh system upravlinnia vidkhodamy v rehionakh Ukrainy: dys. ... d-ra ekon. nauk: 08.00.05. Lviv. 595 s. URL: [https://ird.gov.ua/irdd/d20201009\\_a805\\_Kolodiychuk IAA.pdf](https://ird.gov.ua/irdd/d20201009_a805_Kolodiychuk IAA.pdf) (in Ukrainian).
- Korniienko, I. M., Yastremska, L. S., Kuznietsova, O. O., Baranovskyi, M. M., & Vizer, A. K. (2022). Biokonversia orhanichnykh vidkhodiv – yevropeyskyi dosvid ta ukraïnski praktyky. *Tekhnolohii ta inzhynirynh*, 3(8), 37–51. DOI: 10.30857/2786-5371.2022.3.4 (in Ukrainian).
- Korniienko, I. M., Holovei, O. P., Lashkova, A. T., Kryvonos, O. S., & Zatsarenko, S. S. (2017). Doslidzhennia efektyvnosti zbahachennia gruntiv mikrobiolohichnym dobryvom. *Zbirnyk naukovykh prats Dniprovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu*, 1(32), 128–131. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpddtu\\_2018\\_1\\_24](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpddtu_2018_1_24) (in Ukrainian).
- Kramar, V. H. (2023). Tekhnolohii zbahachennia biohazu ta yikh kharakterystyky. *Teplofizyka ta teploenerhetyka*, 45(1), 64–74 (in Ukrainian).
- Lohosha, R. V., Palamarchuk, V. D., & Krychkovskiy, V. Yu. (2022). Ekonomichna ta bioenerhetychna efektyvnist vykorystannia dyhestatu biohazovykh stantsii pry vyroshchuvanni silskohospodarskykh ta ovochevykh kultur v umovakh yevrointehratsii Ukrainy. *Biznes Inform*, 9, 40–52 (in Ukrainian).
- Malhotra, M., Aboudi, K., Pisharody, L., Singh, A., Banu, J. R., Bhatia, S. K., Varjani, S., Kumar, S., González-Fernández, C., Kumar, S., Singh, R., & Tyagi, V. K. (2022). Biorefinery of anaerobic digestate in a circular bioeconomy: Opportunities, challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 166, 112642. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112642.
- Onlain-seminar (2020). *Mozhlyvosti vykorystannia dyhestatu biohazovykh ustanovok yak dobryv: pidsumky ta materialy – SAF Ukraina*. SAF Ukraina. URL: <https://saf.org.ua/news/1069> (in Ukrainian).
- Overkovska, T. K. (2021). Pravovi zasady povodzhennia iz silskohospodarskymy vidkhodamy. *Ekolohichne pravo*. 2. S. 85–91. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pis\\_2021\\_2\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pis_2021_2_15) (in Ukrainian).
- Palamarchuk, V. D., Kovalenko, O. A., & Krychkovskiy, V. Yu. (2020). Pidvyshchennia efektyvnosti biohazovykh kompleksiv za rakhunok vykorystannia dyhestatu pry vyroshchuvanni silskohospodarskykh ta ovochevykh kultur. *Mizhvidomchyi tematychnyi*

- naukovyi zbirnyk "Zroshuvane zemlerobstvo", 73, 95–101 (in Ukrainian).
- Pro zatverdzhennia Natsionalnoho planu upravlinnia vidkhodamy do 2030 roku: Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 20.02.2019 № 117-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/117-2019-p#Text> (in Ukrainian).
- Prokaieva, A. (2021). Suchasne keruvannia vidkhodamy vidpovidno do pryntsyviv tsyrkuliarnoi ekonomiky. Navchalnyi posibnyk kursu ZWA deep level. 140 s. URL: <https://zerowastekharkiv.org.ua/wp-content/uploads/2023/08/Сучасне-керування-відходами-відповідно-до-принципів-циркулярної-економіки.pdf> (in Ukrainian).
- Shvorov, S., Polishchuk, V., Lukin, V., Opryshko, O., & Davidenko, T. (2023). Adaptivna systema z nechitkym keruvanniam temperaturnym rezhymom zbrodzhuvannia enerhetychnykh kultur u bahatomodulnykh biohazovykh kompleksakh. Enerhetyka i avtomatyka, 0(5), 100–108 (in Ukrainian).
- Shynkarchuk, A., Holub, N., Kozlovets, M., & Kozlovets, O. (2023). Porivniannia vplyvu dihestatu, shcho mistyt dodatkovе dzherelo mikroelementiv, na rist roslyn v pershi 2 tyzhni vehetatsii/ Materialy XKhIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Ekolohiia. Liudyna. Suspilstvo» (m. Kyiv, Ukraina, 7 hrudnia 2023 r.), 183–185 (in Ukrainian).
- Skliar, O. H., & Skliar, R. V. (2016). Metody intensyfikatsii protsesiv metanovoho zbrodzhuvannia. Naukovyi visnyk Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu, 4(1), 3–9. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvtdau\\_2014\\_4\\_1\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvtdau_2014_4_1_3) (in Ukrainian).
- Skliar, O. H., & Skliar, R. V. (2019). Analiz roboty biohazovykh ustanovok. Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva: zahalnodержavnyi zbirnyk, 10(109), 132–138. URL: <https://journal.imaap.org.ua/info/index.php?id=323> (in Ukrainian).
- Skliar, O. H., & Skliar, R. V. (2020) Napriamy zastosuvannia dihestatu, shcho utvoriuietsia v protsesi anaerobnoho zbrodzhuvannia. IX Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia. Hlevakha-Kyiv, 145–147 (in Ukrainian).
- Sliuzar, A. B. (2021). Ochyshchennia biohazu vid sirkovodniu khinhidronnym metodom. Materialy XXII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Vidnovliuvana enerhetyka ta enerhoefektyvnist u XXI stolitti", 924–927. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/63807> (in Ukrainian).
- Standartyzatsiia yakosti ta sertyfikatsiia produktiv z dyhestatu (2020). SAF Ukraina. SAF Ukraina. URL: <https://saf.org.ua/news/1029> (in Ukrainian).
- Starodub, N. F., Ogorodniichuk, Y. O., Novgorodova, O. O. (2016). Efficiency of Instrumental Analytical Approaches at the Control of Bacterial Infections in Water, Foods and Feeds. In: Nikolelis, D., Nikoleli, GP. (eds) Biosensors for Security and Bioterrorism Applications. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-28926-7\_10.
- Tkachenko, S. Y., Stepanov, D. V., & Stepanova, N. D. (2020). Analiz sotsialnoi ta enerho- i pryrodoberezhnoi efektyvnosti realizatsii biohazovoi tekhnolohii, Visnyk VPI, 2, 34–41. DOI: 10.31649/1997-9266-2020-149-2-34-41 (in Ukrainian).
- Yesipov, O. V., & Hryn, Ye. L. (2023). Potentsial biohazu i biometanu z orhanichnykh vidkhodiv tvarynnytstva. Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahornoho universytetu Seriia "Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychykh protsesiv", 1(51), 26–29. DOI: 10.32782/msnau.2023.1.5 (in Ukrainian).
- Zakhariv, O. Ya. (2019). Efektyvnist vykorystannia dyhestatu iz biohazovykh reaktoriv dlia fermerskykh hospodarstv / Zbirnyk naukovykh prats TDATU imeni Dmytra Motornoho, 2(40), 79–86. URL: <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/zbirnyk/article/view/514> (in Ukrainian).