

## Біогаз у системі циркулярної економіки переробної промисловості України: еколого–економічний вимір євроінтеграційної адаптації

**Предметом дослідження** є еколого–економічна роль біогазу й біометану у формуванні циркулярної моделі використання органічних відходів, побічних продуктів і ресурсних потоків переробної промисловості України.

**Метою статті** є визначення еколого–економічних передумов і прикладних напрямів інтеграції біогазових технологій у систему циркулярної економіки переробної промисловості України в процесі євроінтеграційної адаптації.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставленої мети використано методи системного аналізу, структурно–логічного узагальнення, порівняння, індикативного аналізу, табличної систематизації статистичних даних, сценарного зіставлення та еколого–економічної інтерпретації.

**Результати дослідження.** У статті доведено, що біогазові технології у переробній промисловості України є не тільки джерелом відновлюваної енергії, а й інструментом замикання матеріально–енергетичних циклів, де органічні залишки перетворюються на біогаз, біометан, теплову й електричну енергію, органічне добриво та підтверджений кліматичний ефект. На основі реальних статистичних даних показано, що прогнозований обсяг відходів виробництва харчових продуктів зростає з 4,4 млн т у 2023 році до 6,0 млн т у 2035 році. Встановлено, що потенціал біометану з побічних продуктів харчової промисловості оцінюється у 0,7 млрд м<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> на рік, тоді як сукупний потенціал основних сировинних джерел становить близько 11,2 млрд м<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> на рік. Порівняння з європейським ринком засвідчило, що кількість біометанових установок у Європі зросла з 483 у 2018 році до 1678 у першому кварталі 2025 року, а ціль ЄС щодо виробництва 35 млрд м<sup>3</sup> біометану до 2030 року створює зовнішній попит на сертифікований відновлюваний газ. Для України зафіксовано перехід від одиничних біометанових проєктів до початкової ринкової фази.

**Сфера застосування результатів.** Отримані результати можуть бути використані підприємствами харчової, спиртової, цукрової, олійно–жирової, м'ясо–молочної та іншої переробної промисловості під час розроблення інвестиційних проєктів, програм енергоефективності, ESG–звітності, планів декарбонізації та адаптації до європейських вимог сталості.

**Висновки.** Біогаз у системі циркулярної економіки переробної промисловості України виконує подвійну функцію: зменшує екологічний тиск від органічних відходів і створює додану вартість через енергетичну автономізацію, біометановий експорт, заміщення природного газу та повернення поживних речовин у виробничо–аграрний цикл. Євроінтеграційна адаптація цього напрямку має спиратися на облік сировинних потоків, довгострокові контракти постачання відходів, сертифікацію сталості, доступ до газових мереж, економіку деїстату та інтеграцію біогазових проєктів у промислові кластери.

**Ключові слова:** біогаз, біометан, циркулярна економіка, переробна промисловість, харчові відходи, органічні відходи, євроінтеграція, декарбонізація, сталий розвиток, деїстат.

DENYS VERBYTSKYI

## Biogas in the circular economy system of Ukraine's processing industry: environmental and economic dimension of European integration adaptation

**The subject of the study** is the environmental and economic role of biogas and biomethane in developing a circular model for the use of organic waste, by-products and resource flows in Ukraine's processing industry.

**The purpose of the article** is to determine the environmental and economic preconditions and applied directions for integrating biogas technologies into the circular economy system of Ukraine's processing industry in the process of European integration adaptation.

**Research methods.** *The study uses systemic analysis, structural and logical generalisation, comparison, indicative analysis, tabular systematisation of statistical data, scenario comparison, and environmental and economic interpretation.*

**Results of work.** *The article proves that biogas technologies in Ukraine's processing industry should be considered not only as a source of renewable energy but also as an instrument for closing material and energy cycles, in which organic residues are converted into biogas, biomethane, heat and electricity, organic fertiliser and a verified climate effect. Based on real statistical data, it is shown that the projected amount of food production waste increases from 4.4 million tonnes in 2023 to 6.0 million tonnes in 2035. The biomethane potential of food industry by-products is estimated at 0.7 billion m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> per year, while the total potential of the main feedstock sources is about 11.2 billion m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> per year. Comparison with the European market shows that the number of biomethane plants in Europe increased from 483 in 2018 to 1678 in the first quarter of 2025, while the EU target of 35 billion m<sup>3</sup> of biomethane by 2030 creates external demand for certified renewable gas. Ukraine is moving from isolated biomethane projects to an initial market phase.*

**Field of application of the results.** *The results can be used by enterprises of the food, alcohol, sugar, oil and fat, meat and dairy and other processing industries when developing investment projects, energy-efficiency programmes, ESG reporting, decarbonisation plans and adaptation to European sustainability requirements.*

**Conclusions.** *Biogas in the circular economy system of Ukraine's processing industry performs a dual function: it reduces environmental pressure from organic waste and creates added value through energy autonomy, biomethane exports, substitution of natural gas and return of nutrients to the production and agricultural cycle. European integration adaptation in this area should be based on accounting for feedstock flows, long-term waste supply contracts, sustainability certification, access to gas networks, digestate economics and the integration of biogas projects into industrial clusters.*

**Keywords:** *biogas, biomethane, circular economy, processing industry, food waste, organic waste, European integration, decarbonisation, sustainable development, digestate.*

**Постановка проблеми.** Переробна промисловість України входить у фазу, коли конкурентоспроможність підприємства дедалі більше залежить не лише від ціни продукції, доступу до сировини та логістики, а й від здатності керувати ресурсними втратами, енергетичними ризиками й екологічними зобов'язаннями. У період повномасштабної війни розвиток біогазової енергетики набуває для України надзвичайної актуальності, оскільки цілеспрямовані атаки ворога на об'єкти генерації електроенергії посилюють потребу підприємств у децентралізованих, локальних і відновлюваних джерелах енергопостачання. Для харчової, спиртової, цукрової, олійно-жирової, м'ясо-молочної та суміжних галузей органічні залишки традиційно розглядались як витрати на утилізацію або як другорядний побічний продукт. У логіці циркулярної економіки вони стають ресурсом, здатним зменшити енергетичні витрати, замінити частину природного газу, створити ринок біометану, скоротити метанові викиди, підвищити стійкість виробництва до перебоїв електро- і газопостачання та повернути поживні речовини в аграрне виробництво.

Євроінтеграційний вимір цієї проблематики посилюється через зближення України з правом Європейського Союзу у сфері відходів, відновлюваної енергетики, декарбонізації та підтвердження сталості продукції. Для українського підприємства біогазова установка вже не є локальним енергетичним додатком до виробництва. Вона поступово перетворюється на елемент промислової адаптації до європейських ринків, де значення мають не лише фізичні обсяги продукції, а й вуглецевий слід, походження енергії, простежуваність сировини, поводження з відходами та якість екологічного управління.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теоретичну основу аналізу формує сучасна література з циркулярної економіки, у якій відхід трактується не як кінцева стадія виробничого циклу, а як ресурс для повторного залучення у господарський оборот. Дж. Кірхгерр, Д. Рейке і М. Геккерт на підставі аналізу 114 визначень показали, що циркулярна економіка часто редукується до поєднання зменшення, повторного використання та переробки, хоча її зміст ширший і передбачає

системну зміну способу створення вартості [1]. М. Гейсдорфер, П. Саважет, Н. Бокен і Е. Гултінк уточнюють, що циркулярна економіка має розглядатися як регенеративна система, у якій мінімізуються ресурсні входи, відходи, викиди та втрати енергії через звуження, уповільнення і замикання матеріально-енергетичних циклів [2].

Для дослідження біогазу важливо, що анаеробне зброджування органічних залишків поєднує енергетичний, екологічний і ресурсний результати. Н. Скарлат, Ж.-Ф. Даллеманд і Ф. Фаль проаналізували розвиток біогазу в Європі й показали, що його поширення залежить від поєднання відновлюваної енергетичної політики, кліматичних цілей, економічної доцільності та інфраструктурної спроможності [3]. С. Моралес-Поло та співавтори систематизували технологічні аспекти анаеробного зброджування харчових відходів і наголосили на значенні складу сировини, попередньої обробки, режимів ферментації та коферментації для стабільності виходу біогазу [4]. Е. Манчіні і А. Раджі запропонували розглядати анаеробне зброджування через систему індикаторів циркулярності та сталості, що особливо важливо для економічної оцінки проєктів, які мають одночасно давати енергію, зменшувати забруднення та повертати поживні речовини в ґрунти [5].

Український і пов'язаний з Україною науковий дискурс останніх років дедалі активніше переходить від загальної оцінки біоенергетики до аналізу біометанового ринку, регуляторних бар'єрів і європейської інтеграції. І. Замула та співавтори розглядають розвиток ринку біометану в Україні під час і після воєнного стану з екологічних та митних позицій, підкреслюючи значення правового оформлення експорту й верифікації походження біометану [6]. Ю. Малогулко та співавтори оцінюють біогазову й біометанову промисловість України як складову енергетичної незалежності, акцентуючи на потенціалі аграрних, харчових і побутових органічних залишків [7]. В. Яременко аналізує перспективи залучення європейських інвестицій у виробництво біогазу в Україні та пов'язує їх із логікою сталого розвитку, циркулярності та скорочення викидів [8].

Узагальнення літератури дає підстави для двох висновків. По-перше, біогазова технологія є не периферійним енергетичним рішенням, а інструментом інтеграції переробної промисловості в циркулярну економіку. По-друге, у наукових працях

достатньо повно розкрито загальні засади циркулярної економіки, анаеробного зброджування, біогазової енергетики та біометанового ринку, однак малодослідженим залишається питання кількісного поєднання сировинної бази переробної промисловості України, експортного потенціалу біометану та прикладних механізмів євроінтеграційної адаптації підприємств. Саме ця прогалина визначає логіку подальшого емпіричного аналізу.

**Метою статті** є визначення еколого-економічних передумов і прикладних напрямів інтеграції біогазових технологій у систему циркулярної економіки переробної промисловості України в процесі євроінтеграційної адаптації.

**Виклад основного матеріалу.** Біогаз у переробній промисловості доцільно розглядати як технологію подвійної конверсії. Перша конверсія є матеріальною: органічні залишки, стічні води, жом, барда, лушпиння, осади, молочні та м'ясні відходи перестають бути виключно екологічним навантаженням і набувають статусу сировини. Друга конверсія є економічною: витрати на поводження з відходами частково перетворюються на енергетичну, експортну, добривну й кліматичну вартість. В умовах воєнного руйнування енергетичної інфраструктури до цих результатів додається ще один вимір – здатність біогазових установок підтримувати локальну енергетичну стійкість підприємств і громад. Саме тому ефективність біогазового проєкту не можна вимірювати лише строком окупності обладнання. Потрібно враховувати уникнені витрати на утилізацію, зниження споживання природного газу, стабілізацію енергопостачання, вартість дегістату, можливий дохід від біометану та ефект від підтвердження сталості виробництва.

Для переробної промисловості центральним є питання сировинної регулярності. Біогазова установка потребує не разового потоку органічних залишків, а прогнозованої маси сировини з відомими фізико-хімічними характеристиками, сезонністю, логістикою і правовим режимом передачі. Тому першим емпіричним кроком є оцінка динаміки тих груп відходів, які безпосередньо або опосередковано пов'язані з переробною промисловістю.

Сировинну основу біогазових проєктів доцільно оцінювати не за загальним обсягом промислових відходів, а за тими потоками, які потенційно придатні для анаеробного зброджування або визначають структуру переробного сектору. Відтак зіставлення

**Таблиця 1. Динаміка та прогноз утворення окремих груп відходів переробної промисловості України, млн т/рік**

Рік	Харчові продукти	Напої	Хімічна продукція	Разом за трьома групами	Зміна харчових відходів до 2023 р., %
2010	7,25	1,52	2,68	11,45	—
2015	4,22	0,94	0,70	5,86	—
2020	4,16	0,33	1,48	5,97	—
2022	3,89	0,30	1,39	5,58	—
2023	4,40	0,30	1,60	6,30	0,0
2025	4,70	0,40	1,70	6,80	+6,8
2030	5,30	0,40	1,90	7,60	+20,5
2035	6,00	0,50	2,10	8,60	+36,4

Джерело: складено та розраховано автором за даними Національного плану управління відходами до 2033 року і прогнозу утворення відходів переробної промисловості [9].

фактичної динаміки 2010–2022 років і прогнозу до 2035 року здійснено за окремими групами відходів переробної промисловості (табл. 1).

Порівняння показників табл. 1 засвідчує дві різні тенденції. Історичний ряд 2010–2022 років показує скорочення обсягів відходів харчової промисловості з 7,25 млн т до 3,89 млн т, що відображає структурні зміни, кризові коливання та спад виробничої активності. Водночас прогноз 2023–2035 років фіксує відновлювальну траєкторію: відходи виробництва харчових продуктів можуть зрости з 4,4 млн т до 6,0 млн т, тобто на 36,4 %. Для біогазових проєктів це означає не автоматичну достатність сировини, а наявність кількісної основи для довгострокового планування.

Порівняння трьох груп відходів показує, що саме харчова промисловість має найбільше значення для біогазової моделі переробного сектору. Її залишки, на відміну від частини хімічних або металургійних відходів, можуть бути технологічно придатними для анаеробного зброджування за умови сортування, стабілізації складу, контролю забруднювачів і логістичної концентрації. Отже, прикладні рішення мають починатися не з купівлі біогазового обладнання, а з інвентаризації потоків сировини на рівні підприємства, групи підприємств або промислового кластера.

Другий рівень аналізу пов'язаний із ресурсним потенціалом біометану. Для переробної промисловості важливо не перебільшувати роль одного джерела сировини. Побічні продукти харчової промисловості становлять значущий, але не самодостатній ресурс. Їхній економічний ефект істотно зростає у поєднанні з відходами тваринництва, поживними рештками, органічною фракцією побутових відходів та осадами стічних вод.

Перехід від оцінки маси відходів до економіки біометану потребує визначення внеску різних сировинних джерел у потенціал виробництва відновлюваного газу. Відповідні розрахунки дають змогу побачити місце побічних продуктів харчової промисловості в загальній ресурсній системі біометану України (табл. 2).

Показники табл. 2 засвідчують, що побічні продукти харчової промисловості оцінюються у 0,7 млрд м<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> на рік, або близько 6,3 % наведеного потенціалу. На перший погляд ця частка не є домінуючою. Проте для переробної промисловості вона має особливе значення, позаяк перебуває безпосередньо всередині виробничого циклу підприємств і може бути залучена без формування надмірно довгих логістичних ланцюгів. Якщо порівняти 0,7 млрд м<sup>3</sup> з українською ціллю 1 млрд м<sup>3</sup> біометану на рік до 2030 року, то саме побічні продукти харчової промисловості теоретично можуть покрити близько 70 % цього орієнтира. Практично такий результат можливий лише частково, оскільки існують втрати збору, сезонність, конкуренція альтернативних напрямів використання та технологічні обмеження.

Найбільший потенціал мають поживні рештки, однак їхнє застосування потребує зваженого підходу через агрономічну роль органічної речовини в ґрунтах. Виходячи з цього, для переробної промисловості найбільш раціональною є кластерна модель коферментації, коли біогазовий комплекс отримує сировину від кількох джерел: харчового підприємства, тваринницького комплексу, очисних споруд та аграрних виробників. Такий підхід зменшує ризик нестабільного складу сировини і підвищує завантаження установки.

**Таблиця 2. Оцінка сировинного потенціалу виробництва біометану в Україні**

Джерело сировини	Потенціал, млрд м <sup>3</sup> СН <sub>4</sub> /рік	Частка у наведеному потенціалі, %	Значення для переробної промисловості
Відходи тваринництва	0,9	8,0	Суміжна база для коферментації з відходами харчової переробки
Пожнивні рештки сільськогосподарських культур	5,2	46,4	Формують ресурсний резерв для заводів біля агропереробних кластерів
Побічні продукти харчової промисловості	0,7	6,3	Безпосередня сировинна база переробної промисловості
Тверді побутові відходи	0,5	4,5	Додатковий ресурс за умови відокремлення органічної фракції
Осади стічних вод	0,1	0,9	Ресурс для міських і промислових очисних споруд
Енергетичні рослини, зокрема кукурудзяний силос з 1 млн га	3,8	33,9	Потребують обмеженого застосування через конкуренцію із продовольчими й земельними пріоритетами
Разом	11,2	100,0	Оцінка показує, що промислова сировина має працювати в комбінації з аграрними й муніципальними потоками

Джерело: складено та розраховано автором за даними Національного плану управління відходами до 2033 року і прогнозу утворення відходів переробної промисловості [9].

Третій рівень аналізу стосується європейської ринкової динаміки. Євроінтеграційна адаптація українських переробних підприємств не може бути відірвана від того, як формується попит на біометан у Європі. ЄС розглядає біометан як відновлюваний газ, сумісний із наявною газовою інфраструктурою, здатний зменшувати залежність від імпортного викопного газу та декарбонізувати ті сегменти, де електрифікація має технологічні або економічні межі.

Євроінтеграційний вимір біогазових проєктів виявляється не лише у нормативному зближенні, а й у фактичному розширенні європейського ринку біометану. Темп цього розширення можна оцінити через динаміку кількості біометанових установок у Європі (табл. 3).

Кількість біометанових установок у Європі зростає з 483 у 2018 році до 1678 у першому кварталі 2025 року, тобто у 3,47 рази. Така динаміка показує, що європейський біометановий ринок переходить від демонстраційних та окремих національних програм до промислового масштабування. При

цьому Європейська комісія визначає потребу досягти 35 млрд м<sup>3</sup> біометану на рік до 2030 року, тоді як фактичне виробництво біометану в Європі у 2023 році становило 4,9 млрд м<sup>3</sup>, а встановлена потужність у першому кварталі 2024 року – 6,4 млрд м<sup>3</sup>/рік [13]. Розрив між фактом 2023 року та цільовим орієнтиром 2030 року становить близько 30,1 млрд м<sup>3</sup>, тому попит на сертифікований біометан зберігатиметься за умови наявності підтвердження сталості й узгодження реєстрів походження.

Для України ця європейська траєкторія має практичне значення. Переробні підприємства, які здатні перетворювати органічні відходи на біометан із підтвердженим походженням, можуть розглядати біогаз не лише як внутрішній енергетичний інструмент, а і як елемент входження в європейські ланцюги постачання відновлюваних газів. Водночас такий вихід потребує не декларативної екологічності, а документованого управління сировиною, обліку масового балансу, сертифікації сталості, вимірювання скорочення викидів і правової можливості експорту.

**Таблиця 3. Динаміка кількості біометанових установок у Європі**

Показник / рік	2018	2020	2021	2023	2024	Q1 2025
Кількість біометанових установок у Європі, од.	483	729	1023	1322	1548	1678
Індекс до 2018 р., %	100,0	150,9	211,8	273,7	320,5	347,4
Абсолютний приріст до попереднього наведеного року, од.	–	+246	+294	+299	+226	+130

Джерело: складено та розраховано автором за даними European Biomethane Map 2024 і European Biomethane Map 2025 [11; 12].

**Таблиця 4. Фактичні та програмні параметри розвитку біометану в Україні**

Показник	2023	середина 2025 р.	кінець 2025 р.	ціль 2030 р.	ціль 2035 р.
Біометанові заводи, од.	1	4	7	–	–
Потужність виробництва біометану, млн м <sup>3</sup> /рік	3	41	понад 110	1000	2100
Експорт газоподібного біометану, млн м <sup>3</sup> /рік	0	початок експорту	понад 11,2	–	–
Масштаб до цілі 2030 р. за наявною потужністю, %	0,3	4,1	понад 11,0	100,0	–

Джерело: складено автором за даними Держенергоефективності, Оператора ГТС України, Біоенергетичної асоціації України та Програми розвитку виробництва біометану до 2035 року [14; 15; 16].

Четвертий рівень аналізу стосується українського ринку. Його особливість полягає в тому, що потенціал є значним, але фактична потужність поки що залишається початковою порівняно з програмними орієнтирами. Це не є підставою для песимістичного висновку. Навпаки, рання стадія ринку означає можливість для переробних підприємств зайняти позиції у нових технологічних нішах до того, як ринок стане висококонкурентним.

Український ринок біометану доцільно оцінювати через зіставлення фактичної потужності, експортного старту та програмних орієнтів, оскільки саме це показує реальний масштаб розриву між наявною інфраструктурою і заявленими цілями розвитку (табл. 4).

Зіставлення фактичних і програмних параметрів у табл. 4 показує, що український біометановий сектор перебуває у фазі різкого нарощування, однак масштабний розрив зберігається. Якщо наприкінці 2025 року в Україні працювали сім біометанових заводів потужністю понад 110 млн м<sup>3</sup>/рік, то досягнення цілі у 1 млрд м<sup>3</sup> у 2030 році потребує збільшення наявної потужності щонайменше у дев'ять разів. Якщо ж порівнювати із серединою 2025 року, коли діяли чотири об'єкти сумарною потужністю близько 41 млн м<sup>3</sup>/рік, розрив був ще більшим – приблизно у 24 рази. Перший експорт газоподібного біометану до ЄС у 2025 році обсягом понад 11,2 млн м<sup>3</sup> має важливе інституційне значення, але поки що становить лише початковий експортний результат.

Звідси впливає головний еколого-економічний висновок для переробної промисловості: біогазові проекти мають розроблятися не як ізолювані енергетичні ініціативи, а як інвестиційні платформи циркулярної адаптації. Їхня доцільність має підтверджуватися чотирма групами показників. Перша група – сировинна: річний обсяг органічних залишків, сезонність, вологість, вміст сухої

речовини, потенціал метану та вартість логістики. Друга – енергетична: обсяг заміщення природного газу, електроенергії або тепла, частка власного споживання, можливість генерації біометану. Третя – екологічна: скорочення метанових викидів, зменшення захоронення органіки, якість дегістату, дотримання вимог щодо забруднювачів. Четверта – євроінтеграційна: сертифікація сталості, облік походження, підключення до реєстру біометану, придатність до експорту або включення у ланцюги постачання європейських партнерів.

Практичні напрями інтеграції біогазу в циркулярну економіку переробної промисловості повинні впливати з наведеної статистики. По-перше, зростання прогнозованих відходів харчового виробництва до 6,0 млн т у 2035 році обґрунтовує необхідність створення обліку органічних потоків на рівні підприємств і територіальних кластерів. Без такого обліку неможливо визначити оптимальну потужність установки, стабільність завантаження та реальний строк окупності.

По-друге, ресурсний потенціал побічних продуктів харчової промисловості на рівні 0,7 млрд м<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> на рік показує, що переробна промисловість не повинна залишатися пасивним споживачем енергетичних рішень. Вона може стати постачальником відновлюваного газу, але лише за умов кооперації із суміжними сировинними джерелами. Саме тому доцільною є модель міжгалузевих біогазових кластерів, де харчове підприємство, аграрний виробник, тваринницький комплекс і оператор очисних споруд формують спільну сировинну базу.

По-третє, європейська динаміка біометанових установок і ціль у 35 млрд м<sup>3</sup> до 2030 року вказують, що біометан із України матиме ринкову перспективу лише за умов відповідності європейським правилам сталості. Отже, інвестиційний проект має включати не тільки техно-

логічну частину, а й модуль сертифікації, обліку походження, контрахтування сировини та підтвердження скорочення викидів.

По-четверте, розрив між потужністю понад 110 млн м<sup>3</sup>/рік у 2025 році та ціллю у 1 млрд м<sup>3</sup> у 2030 році свідчить, що ринок не може масштабуватися тільки через індивідуальні рішення окремих підприємств. Потрібні стандартизовані фінансові продукти, довгострокові договори купівлі біометану, механізми гарантування підключення до мереж, спрощення процедур для малих і середніх установок, а також включення біогазових проєктів у програми зеленої відбудови переробної промисловості.

Еколого-економічна ефективність біогазу у переробній промисловості має проявлятися у сукупності результатів, а не в одному фінансовому показнику. Для підприємства це зниження витрат на енергоресурси та поводження з відходами, підвищення енергетичної стійкості, можливість використання дегістату, зменшення вуглецевого сліду продукції та посилення позицій у перемовинах з європейськими партнерами. Для держави – скорочення імпортозалежності від природного газу, підвищення енергетичної стійкості в умовах війни, зменшення екологічного тиску, розвиток внутрішнього ринку відновлюваних газів, створення нового експортного сегмента та наближення до європейських норм управління відходами й кліматичної політики.

### Висновки

Проведене дослідження дало змогу уточнити роль біогазу в системі циркулярної економіки переробної промисловості України. Біогазові технології не зводяться до заміщення частини викопного палива. Їхній зміст полягає у перетворенні органічних залишків і побічних продуктів на енергетичний, добривний, екологічний та експортний ресурс. В умовах війни, коли руйнування об'єктів електрогенерації підвищує вразливість централізованого енергопостачання, біогазові проєкти набувають додаткового значення як елемент децентралізованої енергетичної безпеки підприємств і територій. Така багатofункціональність робить біогаз одним із небагатьох інструментів, здатних одночасно працювати на зменшення відходів, енергетичну стійкість підприємств, декарбонізацію та адаптацію до європейських правил.

Статистичний аналіз показав, що для переробної промисловості ключовою є харчова складова відходів. Після скорочення у 2010–2022 роках прогнозні дані свідчать про її зростання з 4,4 млн т у 2023 році до 6,0 млн т у 2035 році. Це створює кількісну основу для розвитку біогазових проєктів, але не гарантує їхньої автоматичної ефективності. Економічний результат залежить від концентрації сировини, її складу, логістики, стабільності постачання та здатності підприємства інтегрувати енергетичний, екологічний і добривний ефекти в одну бізнес-модель.

Порівняння з європейським ринком підтвердило наявність зовнішнього імпульсу для України. Кількість біометанових установок у Європі зростає у 3,47 раза між 2018 роком і першим кварталом 2025 року, тоді як ціль ЄС у 35 млрд м<sup>3</sup> біометану на рік до 2030 року суттєво перевищує поточний рівень виробництва. Український ринок уже перейшов до початкової експортної фази: у 2025 році зафіксовано перший експорт біометану до ЄС, а потужність українських біометанових заводів наприкінці року перевищила 110 млн м<sup>3</sup>/рік. Разом з тим досягнення цілі у 1 млрд м<sup>3</sup> у 2030 році потребує багаторазового масштабування потужностей, інвестиційної підтримки, сертифікації, реєстру походження та узгоджених правил доступу до газової інфраструктури.

Практичні напрями розвитку мають впливати з емпірично встановлених обмежень. Для підприємств переробної промисловості першочерговими є інвентаризація органічних потоків, розроблення сировинних контрактів, вибір моделі коферментації, оцінювання економіки дегістату, впровадження системи обліку викидів і підготовка до сертифікації сталості. Для державної політики важливими є стандартизація процедур підключення до мереж, підтримка кластерних біогазових проєктів, синхронізація реєстру біометану з європейськими механізмами та включення біогазу в програми зеленої відбудови промисловості.

Перспективи подальших досліджень доцільно пов'язати з побудовою економіко-математичної моделі оптимального розміщення біогазових установок у переробній промисловості України з урахуванням сировинної щільності, логістичних витрат, підключення до газових мереж, потенціалу скорочення викидів і європейської премії за сертифікований біометан.

**Список використаних джерел:**

1. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*. 2017. Vol. 127. P. 221–232. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.
2. Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N. M. P., Hultink E. J. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 143. P. 757–768. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048.
3. Scarlat N., Dallemand J.-F., Fahl F. Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*. 2018. Vol. 129. P. 457–472. DOI: 10.1016/j.renene.2018.03.006.
4. Morales-Polo C., Cledera-Castro M. M., Soria B. Y. M. Reviewing the anaerobic digestion of food waste: From waste generation and anaerobic process to its perspectives. *Applied Sciences*. 2018. Vol. 8, No. 10. Article 1804. DOI: 10.3390/app8101804.
5. Mancini E., Raggi A. A review of circularity and sustainability in anaerobic digestion processes. *Journal of Environmental Management*. 2021. Vol. 291. Article 112695. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112695.
6. Zamula I. V., et al. Assessment of the development of the biomethane market in Ukraine during and after martial law: environmental and customs aspects. *Public Policy and Accounting*. 2024. URL: <https://ppa.ztu.edu.ua/article/view/321791/312347>.
7. Malogulko Y., et al. Ukrainian biogas and biomethane industry as the basis for national energy independence. *Technical Sciences and Technologies*. 2025. URL: <https://technicalscience.com.ua/en/journals/t-16-1-2025/biogazova-ta-biometanova-promislovist-ukrayini-yak-osnova-energetichnoyi-nezalezhnosti-krayini>.
8. Yaremenko V. Perspectives on attracting European investments in biogas production in Ukraine in the context of sustainable development. *Foreign Trade: Economics, Finance, Law*. 2025. URL: <https://vz.kneu.ua/download/2025/38%281%29.32/Perspectives%20on%20attracting%20European%20investments%20in%20biogas%20production%20in%20Ukraine%20in%20the%20context%20of%20sustainable%20development.pdf>.
9. Національний план управління відходами до 2033 року. URL: <https://data.rada.gov.ua/rada/file/f542151n26.pdf>.
10. Geletukha G. Prospects of biomethane in Ukraine. *Bioenergy Association of Ukraine*. 2024. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2024/09/Geletukha-10OGREEN-BIOMETHAVERSE-ENG-1.pdf>.
11. European Biogas Association, Gas Infrastructure Europe. *European Biomethane Map 2024*. URL: <https://www.europeanbiogas.eu/publication/european-biomethane-map-2024/>.
12. European Biogas Association, Gas Infrastructure Europe. *European Biomethane Map 2025*. URL: <https://www.europeanbiogas.eu/publication/european-biomethane-map-2025/>.
13. European Commission. *Biomethane*. URL: [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/biomethane\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/biomethane_en).
14. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Держенергоефективності офіційно запустило Реєстр біометану – державну цифрову систему обліку, верифікації та підтвердження походження відновлюваного газу. 2026. URL: <https://saee.gov.ua/news/derzhenerhoefektyvnosti-ofitsiino-zapustylo-reiestr-biometanu-derzhavnu-tsyfrovu-systemu-obliku-veryfikatsii-ta-pidtvverdzhennia-pokhodzhennia-vidnovliuvanoho-gazu>.
15. Оператор ГТС України. Україна розпочала експорт біометану до Європейського Союзу. 2025. URL: <https://tsoua.com/news/ukrayina-rozpochala-eksport-biometanu-do-yevropejskogo-soyuzu/>.
16. Кабінет Міністрів України. Про затвердження Програми розвитку виробництва біометану до 2035 року: постанова від 22 квітня 2026 р. № 514. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/514-2026-%DO%BF>.

**References:**

1. Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
2. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>.
3. Scarlat, N., Dallemand, J.-F., & Fahl, F. (2018). Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, 129, 457–472. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>.
4. Morales-Polo, C., Cledera-Castro, M. M., & Soria, B. Y. M. (2018). Reviewing the anaerobic digestion of food waste: From waste generation and anaerobic process to its perspectives. *Applied Sciences*, 8(10), 1804. <https://doi.org/10.3390/app8101804>.
5. Mancini, E., & Raggi, A. (2021). A review of circularity and sustainability in anaerobic digestion processes.

Journal of Environmental Management, 291, 112695. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112695>.

6. Zamula, I. V., et al. (2024). Assessment of the development of the biomethane market in Ukraine during and after martial law: environmental and customs aspects. Public Policy and Accounting. Retrieved from <https://ppa.ztu.edu.ua/article/view/321791/312347>.

7. Malogulko, Y., et al. (2025). Ukrainian biogas and biomethane industry as the basis for national energy independence. Technical Sciences and Technologies. Retrieved from <https://technicalscience.com.ua/en/journals/t-16-1-2025/biogazova-ta-biometanova-promislovisht-ukrayini-yak-osnova-energetich-noyi-nezalezhnosti-krayini>.

8. Yaremenko, V. (2025). Perspectives on attracting European investments in biogas production in Ukraine in the context of sustainable development. Foreign Trade: Economics, Finance, Law. Retrieved from <https://vz.kneu.ua/download/2025/38%281%29.32/Perspectives%20on%20attracting%20European%20investments%20in%20biogas%20production%20in%20Ukraine%20in%20the%20context%20of%20sustainable%20development.pdf>.

9. National Waste Management Plan until 2033. Retrieved from <https://data.rada.gov.ua/rada/file/f542151n26.pdf>.

10. Geletukha, G. (2024). Prospects of biomethane in Ukraine. Bioenergy Association of Ukraine. Retrieved from <https://uabio.org/wp-content/uploads/2024/09/Geletukha-1OOGREEN-BIO-METHAVERSE-ENG-1.pdf>.

11. European Biogas Association & Gas Infrastructure Europe. (2024). European Biomethane Map 2024. Retrieved from <https://www.europeanbiogas.eu/publication/european-biomethane-map-2024/>.

12. European Biogas Association & Gas Infrastructure Europe. (2025). European Biomethane Map 2025.

Retrieved from <https://www.europeanbiogas.eu/publication/european-biomethane-map-2025/>.

13. European Commission. (n.d.). Biomethane. Retrieved from [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/biomethane\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/biomethane_en).

14. State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine. (2026). Biomethane Register launched in Ukraine. Retrieved from <https://saee.gov.ua/news/derzhener-hoefektyvnosti-ofitsiino-zapustyllo-reiestr-biometanu-derzhavnu-tsyfrovu-systemu-obliku-veryfikatsii-ta-pidtvverzhennia-pokhodzhennia-vidnovliuvanoho-hazu>.

15. Gas TSO of Ukraine. (2025). Ukraine has commenced exporting biomethane to the European Union. Retrieved from <https://tsoua.com/en/news/ukraine-has-commenced-exporting-biomethane-to-the-european-union/>.

16. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2026). On approval of the Biomethane Production Development Programme until 2035, Resolution No. 514. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/go/514-2026-%D0%BF>.

#### **Дані про автора**

**Вербицький Денис Анатолійович,**

аспірант, Державний науково-дослідний інститут інформатизації та моделювання економіки

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2352-052X>

e-mail: D.verbytsky@gmail.com

#### **Data about the author**

**Denys Verbytskyi,**

Postgraduate student, State Research Institute of Informatization and Economic Modeling

e-mail: D.verbytsky@gmail.com

*Надходження статті до редакції 20.03.2026*

*Прийнято до друку 17.04.2026*

*Опубліковано 29.04.2026*