

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-353-56>

УДК 621.311

ОСТРА НАТАЛІЯ

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8245-2937>e-mail: natalyaotra@ukr.net**МАЛОГУЛКО ЮЛІЯ**

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-6637-7391>e-mail: juliya_malogulko@ukr.net**СІКОРСЬКА ОЛЕНА**

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7341-9724>e-mail: olenasikorska@ukr.net**ТЕПТЯ ВІРА**

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2792-0160>e-mail: teptyavira@gmail.com**ПОВСТЯНКО КАТЕРИНА**

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-5501-662X>e-mail: ekaterina.povstyanko@gmail.com

ЕНЕРГЕТИКА МАЙБУТНЬОГО: РОЛЬ БІОГАЗУ ТА БІОМЕТАНУ У СТІЙКОМУ РОЗВИТКУ УКРАЇНИ

Біогазова та біометанова індустрії дедалі виразніше слугують опорою енергетичної незалежності України, адже дають змогу скоротити імпорт викопного палива й підвищити стійкість національної енергосистеми. У межах цього дослідження проаналізовано біометановий потенціал країни, технології виробництва й очищення газу, економічні та регуляторні умови, а також перспективи виходу на ринок ЄС. Розрахунки показують, що завдяки аграрним, тваринницьким, харчовим і комунальним відходам Україна може щороку генерувати понад 10 млрд м³ біометану. Розглянуто ключові методи апгрейду біогазу — мембранну сепарацію, PSA й криогенну дистиляцію — й оцінено їхню ефективність.

Нормативно-правова база поступово наближається до стандартів ЄС, однак досі потребує повного узгодження. Порівняльний аналіз витрат засвідчив конкурентоспроможність українського біометану завдяки дешевій сировині, хоча розвиток стримує брак субсидій, відсутність гарантованих тарифів і складні сертифікаційні процедури. Водночас біометан дає змогу скоротити викиди CO₂ на 85 % порівняно з природним газом і відіграє важливу роль у циркулярній економіці. Динаміка 2019–2024 рр. демонструє поступове зростання виробництва, проте Україна все ще відстає від провідних країн ЄС. Для успішного експорту потрібні модернізація газотранспортної системи, збалансування стандартів і подолання логістичних бар'єрів. Отримані результати формують комплексну основу для ефективної державної політики, здатної розкрити повний потенціал біометанової галузі України.

Ключові слова: відновлювана енергетика, декарбонізація, біомаса, енергонезалежність.

**OSTRA NATALIA, MALOGULKO JULIYA, SIKORSKA OLENA,
TEPTIA VIRA, POVSTIANKO KATERYNA**

Vinnytsia National Technical University

ENERGY OF THE FUTURE: THE ROLE OF BIOGAS AND BIOMETHANE IN UKRAINE'S SUSTAINABLE DEVELOPMENT

The biogas and biomethane industries are increasingly serving as a pillar of Ukraine's energy independence, as they enable a reduction in fossil fuel imports and increase the resilience of the national energy system. This study analyzes the country's biomethane potential, gas production and purification technologies, economic and regulatory conditions, and prospects for entering the EU market. Calculations show that Ukraine can generate over 10 billion m³ of biomethane annually from agricultural, livestock, food, and municipal waste. Key biogas upgrading methods—membrane separation, PSA, and cryogenic distillation—are reviewed and their effectiveness assessed.

The regulatory framework is gradually approaching EU standards, but still requires full harmonization. A comparative cost analysis has shown that Ukrainian biomethane is competitive due to cheaper raw materials, although development is hampered by a lack of subsidies, a lack of feedstock, and complex certification procedures. At the same time, biomethane allows you to reduce CO₂ emissions by 85% compared to natural gas and plays an important role in the circular economy. The dynamics of 2019–2024 demonstrate a gradual increase in production, but Ukraine still lags behind the leading EU countries. Successful exports require modernization of the gas transportation system, balancing standards and overcoming logistical barriers. The results obtained form a comprehensive basis for effective state policy that can unlock the full potential of the biomethane industry in Ukraine. The study confirmed that the biogas and biomethane sector is key to Ukraine's energy independence and decarbonization. Law No. 1820-IX on the development of biomethane and the electronic register of guarantees of origin lay the foundation for exports, but the rules need to be fully aligned with the RED II Directive and the EU Regulation on guarantees of origin.

Keywords: renewable energy, decarbonization, biomass, energy independence.

Стаття надійшла до редакції / Received 11.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 27.04.2025

Вступ

Зростання вартості традиційних енергоносіїв чинить значний тиск на енергетичну стабільність України. Ця проблема загострюється через дефіцит палива та геополітичні загрози з боку росії, що підвищують вразливість країни у сфері енергопостачання. У зв'язку з цим критично важливим стає не лише скорочення енергетичних витрат, а й активне розширення використання альтернативних джерел енергії, які здатні забезпечити надійну, доступну та стійку енергетичну безпеку для українського суспільства. Розвиток біогазової та біометанової промисловості є одним з ключових компонентів енергетичної стратегії України, спрямованої на підвищення енергетичної безпеки, зниження залежності від імпорту природного газу та впровадження низьковуглецевих технологій. Створення ефективної біометанової індустрії сприяє не лише зміцненню енергетичної незалежності, а й стимулює розвиток циркулярної економіки шляхом утилізації органічних відходів та відновлення природних ресурсів. Окрім фактору підвищення цін на викопні енергоносії, на глобальному рівні набирає обертів тренд жорсткішого регулювання вуглецевих викидів: Європейський зелений курс, Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) та ініціатива REPowerEU уже створюють нові вимоги до «чистоти» енергоресурсів, що імпортуються до ЄС. Для України, яка інтегрується у європейський енергетичний простір і прагне стати частиною Єдиного газового ринку ЄС, розгортання власної біометанової інфраструктури набуває не лише економічного, а й стратегічного значення — це шлях до збереження конкурентоздатності українських експортерів у майбутньому режимі «вуглецевих мит» [1-4].

У світовій практиці біометан дедалі частіше розглядають як «drop-in» заміну природного газу: він сумісний із чинними газопроводами, котельнями, когенераційними установками й транспортним сектором (RNG — Renewable Natural Gas), що значно спрощує його інтеграцію. Країни-лідери (Нідерланди, Данія, Німеччина, Франція) демонструють, що частка біометану у газових мережах може сягати 10-20 % без істотних технічних змін. Україна, володіючи протяжною системою магістральних газопроводів та розгалуженою аграрною базою, має потенціал не лише відтворити, а й масштабувати цей досвід, перетворившись із транзитера природного газу на активного експортера «зеленого» молекулярного палива.

Водночас розвиток біогазово-біометанової сфери вирішує й низку внутрішніх проблем. По-перше, вона створює додану вартість у сільському господарстві: фермери та агрохолдинги отримують додаткові доходи від енергетичної утилізації відходів, одночасно зменшуючи витрати на мінеральні добрива завдяки використанню дигестату. По-друге, це сприяє децентралізації енергопостачання й підвищує стійкість громад, особливо у прифронтових і віддалених регіонах, де газова інфраструктура зазнала пошкоджень. По-третє, біометанові проєкти формують нові робочі місця у високотехнологічних сегментах — від проєктування й будівництва до експлуатації й обслуговування установок з очищення газу [5].

Матеріали та методи

Методологія дослідження базувалась на аналізі наукових джерел, аналітичних звітів та стратегічних документів у сфері біоенергетики. Для аналізу використано матеріали глобального звіту "Біоенергетика у 2024 році" щодо світових тенденцій виробництва та споживання біометану [6], матеріали аналітичного звіту "Розвиток біоенергетики в Україні: бар'єри та перспективи" про виклики та нормативне регулювання галузі [7], а також аналітичні звіти проєкту Європейського банку реконструкції та розвитку "Підтримка Уряду України щодо стратегії" з оцінкою економічної доцільності біометану та його фінансування [8]. Додатково враховано наукові дослідження Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків щодо ефективності вирощування біоенергетичних культур та оптимізації процесів анаеробного зброджування [9].

Результати та їх обговорення

Біогаз та біометан є одними з ключових елементів сучасної технології виробництва відновлюваної енергії, що сприяють декарбонізації економіки та підвищенню енергетичної незалежності. Біогаз утворюється в результаті анаеробного зброджування органічної сировини, головними компонентами якого є метан (CH_4) та вуглекислий газ (CO_2). Склад біогазу залежить від типу сировини та технологічних умов ферментації, однак типовий вміст метану коливається в межах 50-70%. Технологічний процес виробництва біогазу включає кілька основних етапів: підготовку сировини, анаеробне зброджування, очищення отриманого газу та його подальше використання. На початковому етапі здійснюється збирання органічних відходів (агропромислових, харчових, муніципальних) та їхня механічна або термічна обробка для підвищення ефективності процесу ферментації. Далі відбувається анаеробне розкладання біомаси за участі мікроорганізмів, що забезпечує утворення біогазу з оптимальним вмістом метану. Очищення біогазу передбачає видалення домішок, таких як сірководень, аміак, водяна пара та силосани, що підвищує його енергетичну цінність та розширює сфери застосування.

Як видно з таблиці 1, кожна з технологій очищення біогазу має свої сильні сторони та обмеження, що визначають їхню доцільність залежно від конкретних умов виробництва. Мембранна сепарація демонструє збалансоване співвідношення між енергоефективністю (0,15–0,3 кВт·год/1000 м³) та високим ступенем очищення метану (96–98%), що робить її найбільш популярною для малих і середніх установок. Технологія PSA забезпечує ще вищу чистоту (до 99%) і краще видаляє CO_2 , але є

чутливою до вологості й вимагає значних капіталовкладень. Хімічна абсорбція забезпечує надзвичайно високу ефективність видалення CO₂, однак супроводжується корозійною дією та витратами на реагенти. Фізична та водна абсорбції поступаються за ступенем очищення, але при цьому залишаються простими й екологічно прийнятними рішеннями для об'єктів середньої потужності. Кріогенна дистиляція показує найвищу якість очищення біометану (до 99.9%) і здатна одночасно видаляти всі основні домішки, однак вимагає найбільших енергетичних затрат і складної інфраструктури. Таким чином, вибір конкретної технології повинен базуватися на оптимальному балансі між необхідною якістю біометану, економічними можливостями інвестора та технічними умовами експлуатації установки.

Таблиця 1.

Технічні характеристики основних технологій очищення біогазу до біометану

Технологія очищення	Ступінь очищення CH ₄ (%)	Енергоспоживання (кВт·год/1000 м ³)	Основні вилучені домішки	Переваги	Обмеження
Мембранна сепарація	96–98	0.15–0.3	CO ₂ , H ₂ O	Низькі витрати, компактність, простота	Не повністю видаляє H ₂ S та NH ₃
PSA	97–99	0.2–0.5	CO ₂ , частково H ₂ S	Висока чистота продукту	Високі капітальні витрати, чутливість до вологості
Хімічна абсорбція	98–99.5	0.3–0.6	CO ₂ , частково H ₂ S	Надзвичайно висока ефективність CO ₂	Корозійність, витрати на реагенти
Фізична абсорбція	95–97	0.2–0.4	CO ₂	Добре працює при високому тиску	Обмежена ефективність за низького тиску
Водна абсорбція	90–96	0.25–0.4	CO ₂ , H ₂ S, NH ₃ , H ₂ O	Екологічна, не потребує хімікатів	Низька ефективність при низькому тиску
Кріогенна дистиляція	98.5–99.9	0.5–0.8	CO ₂ , H ₂ S, H ₂ O, NH ₃	Максимальна чистота біометану	Високі енергетичні витрати, складність процесу

Отриманий біометан може бути використаний у різних секторах економіки. Він подається у газові мережі середнього та низького тиску, транспортується у високонапірні газопроводи або використовується для заправки транспорту через АГНКС. Залежно від масштабів виробництва та організації логістики, можливі три підходи до створення біометанових комплексів: централізовані установи, що працюють на основі однієї біогазової станції; багаторівневі системи, що об'єднують декілька джерел сировини; та розподілені біогазові мережі з біогазопроводами, що транспортують сировину до єдиного збагачувального комплексу.

Потенціал виробництва біометану в Україні значною мірою залежить від доступності сировинної бази, яка формується з відходів сільського господарства, промисловості та побутових органічних залишків. Аналіз ресурсного потенціалу свідчить, що країна має достатній рівень біомаси для виробництва понад 10 млрд кубометрів біометану на рік, що еквівалентно приблизно третині поточного споживання природного газу в Україні. Основними джерелами біомаси є сільськогосподарські відходи, включаючи гній великої рогатої худоби, свиней та птиці, соломі, кукурудзяні стебла, силос та жом буряка. Промислові відходи також мають значний енергетичний потенціал, особливо залишки харчової, цукрової, пивоварної та молочної промисловості. Додатковим джерелом біомаси є побутові органічні відходи, включаючи тверді побутові відходи (ТПВ), залишки громадського харчування та осади стічних вод. За даними останніх аналітичних досліджень, найбільший потенціал виробництва біометану має аграрний сектор, що генерує значні обсяги органічних залишків, придатних для анаеробного зброджування. Для оцінки потенціалу біометанового виробництва на основі різних видів сировини представлено таблицю 2.

Розподіл сировинних ресурсів є ключовим фактором у формуванні біогазових кластерів, які сприяють ефективній логістиці та оптимізації виробничих процесів. Найбільші можливості для виробництва біометану зосереджені в регіонах із високою концентрацією агропромислового виробництва, що забезпечує стабільне постачання органічних відходів для переробки. Рисунок 1 ілюструє регіональний розподіл потенціалу виробництва біометану в Україні, враховуючи доступність сировини та концентрацію агропромислових підприємств.

Таблиця 2

Потенціал виробництва біометану з різних видів сировини в Україні

Джерело біомаси	Потенційний вихід біометану (м ³ /т)	Річний потенціал виробництва (млрд м ³)
Гній великої рогатої худоби	55	2.5
Гній свиней	60	1.8
Гній птиці	70	1.2
Кукурудзяний силос	200	3.5
Солома пшениці	120	2.0
Жом буряка	150	1.7
Залишки м'ясної промисловості	800	0.9
Залишки молочної промисловості	500	0.8
Тверді побутові відходи	100	0.6
Стічні води	50	0.5

**Рис. 1. Регіональний розподіл потенціалу виробництва біометану станом на 2024 рік**

Потенціал виробництва біометану в Україні оцінюється в 21,8 млрд кубометрів на рік, що перевищує обсяги видобутку природного газу в країні у 2023 році (18,7 млрд кубометрів). Найбільш перспективними регіонами для виробництва біометану є Київська, Вінницька, Полтавська та Черкаська області, які мають значну сировинну базу для переробки органічних відходів.

Регіональний розподіл потенціалу виробництва біометану в Україні нерівномірний. Найвищий потенціал мають Вінницька, Київська, Черкаська, Полтавська, Дніпропетровська та Донецька області, де потенціал виробництва метану коливається від 38 до 846 млн м³ на рік [10].

Ці дані свідчать про значні можливості для розвитку біометанової галузі в Україні, особливо в регіонах з розвиненим агропромисловим комплексом та доступністю сировини для виробництва біогазу. Економічна доцільність масштабного виробництва біометану значною мірою залежить від вартості сировини, витрат на технологічні процеси очищення та збагачення біогазу, а також рівня державної підтримки цього сектору. Аналізуючи європейський досвід, можна відзначити, що країни з розвинутою біогазовою інфраструктурою активно використовують механізми субсидій, податкових пільг і системи гарантій походження для стимулювання виробництва біометану. У цьому контексті Україні необхідно розробити та імплементувати подібні інструменти, що сприятимуть залученню інвестицій у сектор та створенню стабільного ринку біометану. З точки зору енергетичної безпеки,

біометан розглядається як ключовий елемент у стратегії заміщення імпортного природного газу. Його використання дозволяє диверсифікувати джерела постачання енергоносіїв та зменшити залежність від нестабільних міжнародних ринків. Окрім цього, транспортування біометану через існуючі газові мережі робить його привабливим варіантом для забезпечення стабільності енергопостачання в регіонах, що мають доступ до розгалуженої газотранспортної інфраструктури [10].

Застосування біометану також сприяє скороченню викидів парникових газів, оскільки його виробництво базується на замкненому вуглецевому циклі. Використання відходів сільського господарства, промислових та побутових залишків у біогазових установках дозволяє зменшити викиди метану (CH_4) та вуглекислого газу (CO_2), що утворюються при їхньому неконтрольованому розкладанні. Це особливо актуально в контексті європейських кліматичних зобов'язань та поступової декарбонізації енергетичного сектору.

Окрему увагу варто приділити потенціалу біометану як резервного палива для енергетичних потреб під час кризових ситуацій. Воєнні дії та цілеспрямоване руйнування енергетичної інфраструктури України створюють гостру необхідність у розвитку децентралізованих джерел енергії, які можуть забезпечувати безперебійне постачання газу та електроенергії незалежно від централізованих систем. Біометан має значний потенціал у цьому контексті, оскільки його можна виробляти та використовувати локально, зменшуючи вразливість регіональних енергосистем до атак на основні газопроводи та енергогенеруючі об'єкти. Рисунок 2 демонструє, що біометан є одним із найперспективніших джерел енергії для забезпечення енергетичної безпеки в умовах кризових ситуацій.

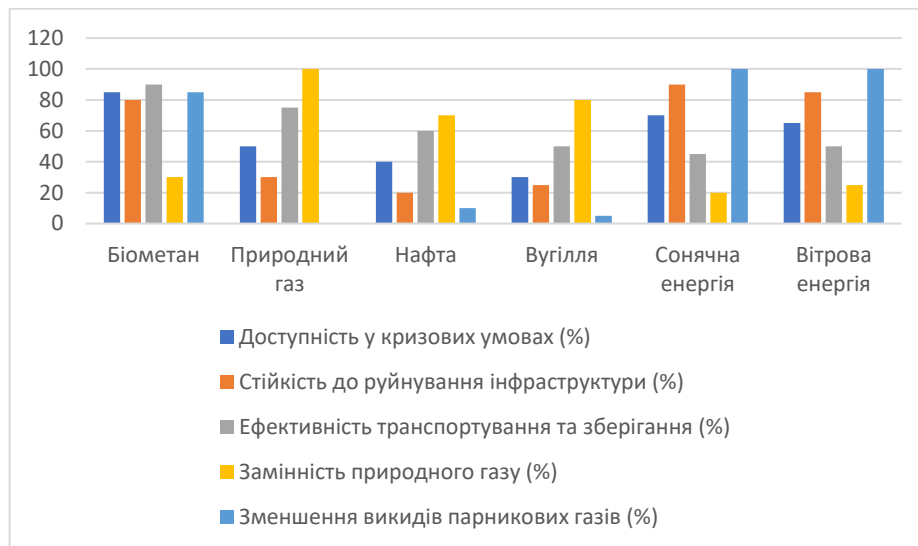


Рис. 2. Порівняльний аналіз джерел енергії за критеріями енергетичної безпеки та екологічної ефективності

Діаграма 2 показує, що біометан має один з найвищих показників доступності у кризових умовах – близько 85%, що значно перевищує відповідні показники для природного газу (50%) та нафти (40%). Це пояснюється тим, що виробництво біометану є децентралізованим, і газ може генеруватися без прив'язки до імпортних постачань або магістральних газопроводів. Стійкість до руйнування інфраструктури. У випадку цілеспрямованого руйнування критично важливо зберегти безперебійне енергопостачання. Біометан має 80% стійкості, що означає, що навіть при пошкодженні основних газотранспортних мереж його виробництво та використання можливе локально. Це суттєва перевага порівняно з централізованими газовими системами, які мають лише 30% стійкості, оскільки вони залежать від великих магістральних трубопроводів.

Біометан може легко транспортуватися через наявні газові мережі та накопичуватися у сховищах, його ефективність у цьому аспекті досягає 90%. Для порівняння, зберігання електроенергії від сонячних і вітрових електростанцій є значно менш ефективним, оскільки вони потребують батарейних накопичувачів або спеціальних систем перетворення енергії, що робить їх ефективність лише 45-50%.

Діаграма також показує, що біометан може заміщувати до 30% загального обсягу природного газу в Україні, що еквівалентно близько 9-10 млрд m^3 на рік. Для порівняння, імпортований природний газ покриває близько 40-50% від загального споживання газу в країні. Таким чином, нарощування виробництва біометану дозволить значно зменшити залежність від імпорту.

Біометан має значний позитивний екологічний ефект – використання цього газу дозволяє скоротити викиди парникових газів приблизно на 85% порівняно з природним газом. У той час як спалювання вугілля, нафти та традиційного газу генерує значні обсяги CO_2 , біометан має практично нейтральний баланс викидів завдяки використанню органічних відходів.

Таблиця 3 демонструє прогнозовані обсяги виробництва біогазу та біометану в Україні до 2050 року, враховуючи перспективи їх використання в різних секторах економіки.

Таблиця 3

Прогноз виробництва біогазу та біометану в Україні до 2050 р.

Роки	Біогаз для виробництва теплової та електричної енергії	Біометан, всього	Біометан для ТЕЦ	Біометан для транспорту	Біометан для виробництва теплової енергії і для використання в промисловості	Біометан для експорту
2020	0,13	0	0	0	0	0
2025	0,36	0,44	0,11	0,01	0,1	0,22
2030	0,6	1	0,23	0,08	0,2	0,5
2035	0,83	1,69	0,35	0,18	0,31	0,84
2040	1,06	2,5	0,49	0,34	0,43	1,25
2045	1,28	3,44	0,63	0,54	0,55	1,72
2050	1,5	4,5	0,79	0,79	0,68	2,25

Згідно з прогнозуванням, загальний обсяг біометану може зрости до 4,5 млрд м³ на рік у 2050 році, тоді як біогаз, призначений для виробництва теплової та електричної енергії, може досягти 1,5 млрд м³. Очікується, що основний приріст виробництва біометану відбуватиметься за рахунок експорту, обсяги якого можуть зрости з 0,22 млрд м³ у 2025 році до 2,25 млрд м³ у 2050 році. Внутрішнє споживання біометану також поступово збільшуватиметься, зокрема для теплоелектроцентралей (ТЕЦ), транспорту, промисловості та виробництва теплової енергії. У 2030 році для ТЕЦ передбачено використання 0,23 млрд м³ біометану, що становитиме приблизно 23% від загального прогнозованого обсягу, а до 2050 року цей показник зросте до 0,79 млрд м³. Використання біометану для транспорту також матиме тенденцію до зростання: у 2030 році прогнозується виробництво 0,08 млрд м³, а у 2050 році – 0,79 млрд м³. Це свідчить про перспективу широкого впровадження біометану в якості екологічно чистого моторного палива. Загалом прогнозоване нарощування виробництва біометану в Україні може суттєво знизити залежність від імпорту природного газу та сприяти розвитку відновлюваної енергетики.

Перспективи експорту біометану з України до Європейського Союзу є важливим напрямом розвитку біоенергетичної галузі, що відповідає європейським цілям декарбонізації та підвищення енергетичної безпеки. Інтеграція України до європейського енергетичного простору передбачає відповідність національного ринку біометану до вимог ЄС, включаючи сертифікаційні механізми, систему гарантій походження та стандарти транспортування. Протягом 2019-2024 років на законодавчому рівні здійснено ряд заходів, які сприяють розвитку ринку біометану та його експорту. Зокрема, прийнято Закон України № 1820-ІХ, що закладає основи для функціонування ринку біометану та передбачає створення електронного реєстру гарантій його походження [11]. Впровадження цього механізму дозволить українським виробникам експортувати біометан до Європи, оскільки наявність відповідного сертифіката підтверджуватиме його відповідність екологічним стандартам. Крім того, затверджено Порядок функціонування реєстру біометану, який визначає процедури реєстрації, верифікації та обліку виробленого палива.

Додатковим кроком стало ухвалення Закону України «Про управління відходами», що сприяє використанню органічних відходів як сировини для виробництва біометану [12]. Це відповідає європейським підходам до циркулярної економіки та стратегіям утилізації ресурсів. Важливим досягненням стало також прийняття у 2023 році державного стандарту ДСТУ EN 16723-1:2023, який регламентує технічні вимоги до біометану для закачування в газові мережі [13]. Цей стандарт розроблено відповідно до європейських норм, що значно спрощує інтеграцію українського біометану в систему газопостачання ЄС.

Фінансові стимули відіграють ключову роль у розвитку біометанової промисловості, оскільки забезпечують економічну привабливість виробництва та сприяють залученню інвестицій. Як свідчить досвід країн Європейського Союзу, державна підтримка у вигляді тарифів на біометан та «зелених» тарифів на електроенергію з біометану є ефективним механізмом стимулювання цього сектора. У ряді країн (Франція, Данія, Італія, Нідерланди) діють чітко визначені тарифні стимули на біометан: наприклад, у Данії він становить 0,735 євро/м³, у Франції – 0,450–0,950 євро/м³ для біометану з твердих побутових відходів та 0,850–1,250 євро/м³ для сільськогосподарської сировини. В Італії тариф зафіксовано на рівні 0,796 євро/м³, а в Нідерландах – у діапазоні 0,483–1,035 євро/м³, що створює довгострокову фінансову привабливість для інвесторів.

Водночас у таких країнах як Німеччина, Велика Британія, Франція, Швейцарія та частково Австрія, пріоритет надається тарифам на електроенергію, вироблену з біометану. У Німеччині тариф

коливається в межах 0,134–0,237 євро/кВт·год з додатковим бонусом у розмірі 0,03 євро/кВт·год за використання біометану. У Франції тариф становить 0,150–0,175 євро/кВт·год, у Великій Британії – 0,100–0,116 євро/кВт·год, у Швейцарії – 0,146–0,233 євро/кВт·год. У країнах Швеція, Фінляндія, Австрія та Норвегія фіксовані тарифні ставки переважно відсутні, але застосовуються альтернативні механізми підтримки: податкові пільги, гарантії походження, інвестиційні гранти або підтримка з боку державних агентств, як, наприклад, Enova SF у Норвегії.

Такий різноманітний підхід до фінансування відображає національні енергетичні стратегії й особливості розвитку ринку в кожній країні. Водночас наявність фінансових стимулів у будь-якій формі суттєво посилює економічну доцільність інвестування в біометанову галузь, забезпечуючи її конкурентоспроможність на фоні традиційних енергоресурсів.

Україна, яка лише розпочинає розвиток біометанового сектору виробництва, може використати досвід країн ЄС для розробки власних механізмів фінансової підтримки. Незважаючи на те, що законодавча база для виробництва біометану вже закладена через впровадження реєстру гарантій походження біометану, необхідно створити систему економічних стимулів, які сприятимуть залученню інвестицій та збільшенню обсягів виробництва. Серед можливих інструментів підтримки варто розглянути введення гарантованого тарифу на біометан, надання податкових пільг та запровадження «зеленого» тарифу на електроенергію, вироблену з біометану. Такі заходи можуть стимулювати будівництво нових біометанових установок та підвищити інтерес інвесторів до українського ринку відновлюваних газів. Прогнозовані розрахунки демонструють, що до 2050 року Україна може виробляти до 4,5 млрд м³ біометану на рік, значна частина якого може бути спрямована на експорт. Це дозволить не лише скоротити залежність від імпорту викопного палива, але й сприятиме декарбонізації економіки, що відповідає загальноєвропейським трендам енергетичної трансформації. Україна активно працює над інтеграцією ринку біометану в європейський енергетичний простір, що потребує узгодження нормативної бази із законодавством ЄС. Закон України № 1820-IX «Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку виробництва біометану» встановлює правові засади для сертифікації біометану та функціонування електронного реєстру гарантій походження [12]. Документ забезпечує юридичне підґрунтя для впровадження гарантій походження біометану, що відповідає вимогам ЄС. Важливим доповненням є Закон України «Про управління відходами» № 2320-IX, який визначає принципи поводження з органічними залишками як з цінною сировиною для біоенергетики, зокрема для виробництва біометану [13]. У контексті технічної інтеграції біометану в газотранспортну систему визначальним є стандарт ДСТУ EN 16723-1:2023, що встановлює вимоги до якості біометану, який подається до мережі природного газу. Зокрема, документ регламентує допустимий вміст метану, CO₂, сірководню, аміаку та водяної пари, а також параметри тиску та температури [13]. На рівні Європейського Союзу регулювання базується на Директиві 2018/2001/ЄС (RED II), яка визначає обов'язкові частки енергії з відновлюваних джерел у кінцевому споживанні, зокрема в транспортному секторі, а також передбачає використання системи гарантій походження для біометану та інших відновлюваних газів [14]. Додатково, Регламент ЄС 2019/942 визначає механізми європейського моніторингу та верифікації гарантій походження відновлюваного газу, включаючи вимоги до обліку вуглецевого сліду, що має ключове значення для торгівлі біометаном на єдиному ринку ЄС [15].

Попри ухвалення відповідних законодавчих змін, для експорту українського біометану необхідно доопрацювати механізми сертифікації відповідно до стандартів ЄС та інтегрувати український реєстр гарантій походження з європейською системою ERGaR (European Renewable Gas Registry). Попри високий потенціал експорту, український ринок біометану стикається з низкою бар'єрів. Одним із ключових є митні та адміністративні обмеження: відсутність чітких механізмів сертифікації та підтвердження походження біометану відповідно до стандартів ЄС ускладнює його вихід на європейський ринок. Крім того, Україна наразі має обмежений доступ до європейської інфраструктури транспортування біометану, оскільки не всі газові оператори визнають можливість інтеграції українського біометану до своєї газотранспортної системи. Додатковим бар'єром є відсутність довгострокових контрактів на постачання, оскільки європейські покупці вимагають гарантій стабільного виробництва, яке в Україні ще не має достатньої підтримки з боку держави.

Розрахунки витрат на виробництво біометану демонструють значну перевагу України через нижчу вартість сировини. CAPEX (капітальні витрати) в Україні становлять 900–1200 €/кВт встановленої потужності, що є нижчим за аналогічні показники в ЄС (1500–2000 €/кВт). OPEX (операційні витрати) для українських біогазових станцій оцінюються в 25–35 €/МВт·год, тоді як у ЄС цей показник сягає 40–55 €/МВт·год через вищу вартість праці та адміністративних витрат [16]. Незважаючи на економічну конкурентоспроможність, низький рівень інвестиційної підтримки та відсутність механізмів державного стимулювання залишаються ключовими обмеженнями розвитку біометанового сектору. Найбільш ефективними механізмами підтримки, які можуть бути впроваджені в Україні, є податкові пільги для виробників біометану, "зелені" тарифи, аналогічні європейським програмам, а також програми державних субсидій на модернізацію біогазових станцій. За 2019–2024 роки виробництво біогазу в Україні зростало впевненими темпами. У 2024 році вироблено близько 1 млрд м³ біогазу, хоча це значно нижче прогнозованих темпів розвитку сектору. Основні ризики включають відсутність державної підтримки у вигляді "зеленого" тарифу на біометан, високу вартість

підключення до газотранспортної системи та військові ризики, що обмежують інвестиційну активність у секторі. Однак, при належній підтримці прогноз до 2050 року залишається оптимістичним: 2030 рік – 2 млрд м³/рік, 2040 рік – 6 млрд м³/рік, 2050 рік – 10 млрд м³/рік.

Мембранна технологія є найпоширенішою у ЄС завдяки високій ефективності, але потребує значних капіталовкладень. PSA є оптимальним варіантом і для України через нижчі витрати на впровадження та простішу експлуатацію. Кріогенна сепарація, хоч і забезпечує найвищий рівень очищення, є надто енергоємною та дорогою для українських виробників.

Логістичні можливості транспортування біометану з України наразі обмежені, однак існує два основні маршрути експорту. Газотранспортна система України, яка є однією з найбільших у Європі, теоретично може використовуватися для транспортування біометану, але потребує адаптації для прийому цього виду палива. Експорт скрапленого природного газу (LNG) є ще однією перспективною опцією, що дозволяє транспортувати біометан у зрідженому вигляді до європейських терміналів. Враховуючи європейський досвід, найбільш ефективною моделлю буде створення хабів для біометану у прикордонних регіонах України, що дозволить спростити його подальше транспортування в ЄС [17].

Для інтеграції українського біометану в європейську енергетичну систему необхідне подальше удосконалення нормативної бази, адаптація інфраструктури та впровадження механізмів підтримки, зокрема податкових пільг і "зелених" тарифів. При активному залученні інвестицій та реалізації відповідних реформ Україна має всі можливості стати ключовим постачальником біометану на ринок ЄС. Зважаючи на стратегічне значення біометану для енергетичної безпеки країни, розробка механізмів фінансової підтримки стане важливим етапом для створення конкурентоспроможного ринку біометану в Україні та його подальшої інтеграції в європейський енергетичний простір.

Висновки

Дослідження підтвердило, що біогазово-біометанова галузь є ключовою для енергетичної незалежності й декарбонізації України. Закон № 1820-ІХ про розвиток біометану та електронний реєстр гарантій походження закладає основу для експорту, але потрібно повністю узгодити правила з Директивою RED II та Регламентом ЄС щодо гарантій походження. Україна здатна виробляти понад 10 млрд м³ біометану на рік, що частково замінить імпортований газ і забезпечить стабільність енергосистеми. Відходи агро-, промисловості та ЖКГ — перспективна сировина, а сучасні технології (мембранна сепарація, кріогенна дистиляція) дають газ, придатний для національної ГТС.

В Україні CAPEX біогазових станцій становить 900–1200 €/кВт (у ЄС 1500–2000 €/кВт), OPEX — 25–35 €/МВт·год (у ЄС 40–55 €/МВт·год), що забезпечує конкурентоспроможність, однак відсутні «зелені» тарифи, субсидії та податкові пільги.

Найбільше біометан розвивається у Франції, Німеччині та Данії завдяки державній підтримці. Україна може інтегруватися, але стримується митними та адміністративними обмеженнями, складною сертифікацією й обмеженим доступом до європейської інфраструктури. У 2023 р. вироблено лише ≈300 млн м³ біогазу (≈3 % потенціалу); розвиток уповільнюють відсутність підтримки, висока ціна підключення до ГТС та воєнні ризики.

Локальне виробництво біометану підвищує стійкість громад, зменшує залежність від імпорту та забезпечує енергію навіть при руйнуванні магістральних мереж.

Наступні кроки: удосконалити технології очищення й транспортування, гармонізувати сертифікацію, запровадити фінансові стимули та залучити інвестиції. Інтеграція до європейського ринку відкриє нові можливості для економічного зростання й підвищення енергетичної безпеки України.

Література

1. European Commission. (2019, December 11). *The European Green Deal* (COM (2019) 640 final). Brussels. eur-lex.europa.eu
2. European Parliament & Council. (2023, May 10). *Regulation (EU) 2023/956 establishing a Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)*. Official Journal of the EU. eur-lex.europa.eu
3. European Commission. (2022, May 18). *REPowerEU Plan* (COM (2022) 230 final). Brussels. eur-lex.europa.eu
4. European Commission. (2022, May 18). *Commission Staff Working Document — Actions to reach 35 bcm biomethane by 2030* (SWD (2022) 230 final). Brussels. eur-lex.europa.eu
5. European Biogas Association. (2024). *EBA Statistical Report 2024: Socio-economic impacts of the biogases value chain*. Brussels. europeanbiogas.eu
6. Біоенергетика у 2024 році: глобальний звіт вже на SAF URL: <https://uabio.org/materials/17002/>
7. Розвиток біоенергетики в Україні: бар'єри та перспективи. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/rozvytok-bioenerhetyky-v-ukraini-bariery-ta-perspektyvy>

8. Аналітичні звіти проєкту ЄБРР «Підтримка Уряду України щодо стратегії» URL: <https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/analysis-of-the-forest-and-wood-biomass-market-in-ukraine.pdf>
9. Наукові дослідження Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків URL: <https://bio.gov.ua/uk/bioenergy/naukovi-doslidzhennya-0>
10. Режим доступу: https://uabio.org/wp-content/uploads/2022/09/UA-Position-paper-UABIO-29.pdf?utm_source=chatgpt.com
11. Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку виробництва біометану : Закон України від 21.10.2021 № 1820-IX : станом на 11 листоп. 2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1820-IX>
12. Про управління відходами : Закон України від 15.11.2024 № 2320-IX : станом на 15 листоп. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>
13. ДСТУ EN 16723-1:2023 Природний газ і біометан для використання в транспорті та біометан для закачування в мережу природного газу. Частина 1. Технічні характеристики біометану для закачування в мережу природного газу (EN 16723-1:2016, IDT) URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102506
14. RED II – Директива (ЄС) 2018/2001 «Про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел» URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/UK/TXT/?uri=CELEX:32018L2001>
15. Регламент (ЄС) 2019/942 «Про створення Агентства ЄС з питань співробітництва енергетичних регуляторів (ACER)» URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/UK/TXT/?uri=CELEX:32019R0942>
16. Geletukha, G., Kucheruk, P., Matveiev, Yu. (2022). Prospects for the production of biomethane in Ukraine. https://uabio.org/wp-content/uploads/2022/09/UA-Position-paper-UABIO-29.pdf?utm_source=chatgpt.com.
17. https://www.lngindustry.com/liquid-natural-gas/13052025/mhp-exports-ukraines-first-bio-lng-to-eu/?utm_source=chatgpt.com

References

1. European Commission. (2019, December 11). The European Green Deal (COM (2019) 640 final). Brussels. eur-lex.europa.eu
2. European Parliament & Council. (2023, May 10). Regulation (EU) 2023/956 establishing a Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM). Official Journal of the EU. eur-lex.europa.eu
3. European Commission. (2022, May 18). REPowerEU Plan (COM (2022) 230 final). Brussels. eur-lex.europa.eu
4. European Commission. (2022, May 18). Commission Staff Working Document — Actions to reach 35 bcm biomethane by 2030 (SWD (2022) 230 final). Brussels. eur-lex.europa.eu
5. European Biogas Association. (2024). EBA Statistical Report 2024: Socio-economic impacts of the biogases value chain. Brussels. europeanbiogas.eu
6. Bioenergy in 2024: Global report now on SAF URL: <https://uabio.org/materials/17002/>
7. Bioenergy development in Ukraine: barriers and prospects. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/rozvytok-bioenerhetyky-v-ukraini-bariery-ta-perspektyvy>
8. Analytical reports of the EBRD project "Support to the Government of Ukraine on the Strategy" URL: <https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/analysis-of-the-forest-and-wood-biomass-market-in-ukraine.pdf>
9. Scientific research of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet URL: <https://bio.gov.ua/uk/bioenergy/naukovi-doslidzhennya-0>
10. Access mode: https://uabio.org/wp-content/uploads/2022/09/UA-Position-paper-UABIO-29.pdf?utm_source=chatgpt.com
11. On amendments to certain laws of Ukraine regarding the development of biomethane production: Law of Ukraine dated 21.10.2021 No. 1820-IX: as of Nov. 11, 2021 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1820-IX>
12. On Waste Management: Law of Ukraine dated 15.11.2024 No. 2320-IX: as of Nov. 15, 2024 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>
13. DSTU EN 16723-1:2023 Natural gas and biomethane for use in transport and biomethane for injection into the natural gas network. Part 1. Technical characteristics of biomethane for injection into the natural gas network (EN 16723-1:2016, IDT) URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102506
14. RED II – Directive (EU) 2018/2001 “On the promotion of the use of energy from renewable sources” URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/UK/TXT/?uri=CELEX:32018L2001>
15. Regulation (EU) 2019/942 “Establishing a European Agency for the Cooperation of Energy Regulators (ACER)” URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/UK/TXT/?uri=CELEX:32019R0942>
16. Geletukha, G., Kucheruk, P., Matveiev, Yu. (2022). Prospects for the production of biomethane in Ukraine. https://uabio.org/wp-content/uploads/2022/09/UA-Position-paper-UABIO-29.pdf?utm_source=chatgpt.com.
17. https://www.lngindustry.com/liquid-natural-gas/13052025/mhp-exports-ukraines-first-bio-lng-to-eu/?utm_source=chatgpt.com