УДК 662.767.2:504.06
№ держреєстрації 0126U004413

Товариство з обмеженою відповідальністю
«ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
69008, м. Запоріжжя, вул. Південне шосе, 80

ЗАТВЕРДЖУЮ
проректор з науково-дослідної роботи
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
_____ Володимир КУХАР
«24» вересня 2026 року

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

«ОЦІНКА РИНКОВОГО, ЛОГІСТИЧНОГО ТА ЦІНОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ БІОГАЗУ / БІОМЕТАНУ ДЛЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА»

(остаточний)

Етап. Оцінка ринкового, логістичного та цінового потенціалу біогазу / біометану та розроблення аналітичної моделі оцінки сценаріїв зниження викидів CO_2 для металургійного виробництва

Науковий керівник,
к.т.н., доцент _____ Вадим БУРКО
«22» вересня 2026 року

2026

Рукопис закінчено «22» вересня 2026 року

Результати роботи розглянуто Науково-технічною радою ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», протокол № 1 від «24» вересня 2026 року

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР, к.т.н., доцент		Вадим БУРКО (розділи 1, 2, 3, 4, 5)
Виконавець НДР, д.т.н., професор		Володимир КУХАР (розділ 3, 4, 5)
Виконавець НДР, к. т. н., доцент		Наталія МАКСИМОВА (розділ 4, 5)
Виконавець НДР, аспірант		Ігор НАВОЛЬНЄВ (розділ 1, 2)
Виконавець НДР, к. е. н., доцент		Олена ЩЕРБАНЬ (розділ 4)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 39 с., 7 табл., 19 джерел.

Ключові слова: біометан, біогаз, CBAM, EU ETS, вуглецевий слід, декарбонізація, металургійне виробництво, нагрівальні печі, прокатний стан, безоплатні квоти, сталість палива.

Об’єкт дослідження – ринок біогазу та біометану України та Європейського Союзу в частині його придатності для промислового споживання металургійним підприємством.

Мета роботи – формування комплексного уявлення про можливості часткової або поетапної заміни традиційних видів палива біогазом або біометаном у металургійному виробництві шляхом аналізу доступних ринкових обсягів, потенціалу їх масштабування, логістичних сценаріїв постачання до виробничих майданчиків у Європі та базових підходів до ціноутворення, а також створення аналітичної моделі оцінки сценаріїв зниження викидів CO_2 за рахунок такого заміщення.

Предмет дослідження: ринкові обсяги, логістичні схеми, механізми ціноутворення та регуляторно-фінансові наслідки заміщення природного газу біометаном у теплотехнологіях металургійного виробництва (відносно нагрівальних печей прокатного цеху).

Результати та їх новизна: розроблено та апробовано на даних металургійного підприємства аналітичну модель, яка поєднує розрахунок вуглецевого сліду прокату, зобов’язань за механізмом CBAM та економіки паливного заміщення в єдиному контурі; встановлено нелінійний характер екологічного ефекту заміщення та визначено граничну ціну біометану, за межами якої захід втрачає економічну доцільність.

Інформація щодо впровадження – модель передано замовнику разом із покроковою інструкцією користувача та розширено на інші

активи групи; сформовано карту виробників біогазу та біометану як робочий інструмент відділу закупівель.

Рекомендації щодо використання – результати використовуватимуться при формуванні закупівельної стратегії щодо біометану, плануванні регуляторних витрат при експорті прокату до ЄС та у навчальному процесі Університету.

Сфера застосування: підприємства гірничо-металургійної галузі, що експортують продукцію до Європейського Союзу, а також навчальний процес в Університеті.

Економічна та соціально-економічна ефективність роботи: модель дозволяє кількісно оцінити фінансовий вплив заміщення природного газу біометаном на регуляторні витрати підприємства та визначити цінові межі доцільності заходу; екологічний ефект полягає у зниженні питомого вуглецевого сліду продукції більш ніж у п’ять разів при зростанні частки заміщення з 20 до 80 %.

Значимість роботи: робота значима для гірничо-металургійної галузі в умовах набуття чинності основного періоду механізму CBAM з 1 січня 2026 року.

Висновки, пропозиції щодо розвитку об’єкта дослідження й доцільності продовження досліджень: об’єкт дослідження актуальний; доцільно продовжити дослідження в частині техніко-економічного обґрунтування адаптації пальникових пристроїв та юридичної кваліфікації фінішних операцій у розумінні Регламенту (ЄС) 2025/2083.

Умови одержання ЗВІТУ: за договором (для остаточного звіту).

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ 7
ВСТУП 8
1 РИНОК БІОГАЗУ ТА БІОМЕТАНУ УКРАЇНИ ТА ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ 10
1.1 Ринок Європейського Союзу 10
1.2 Ринок України 11
1.3 Роль біогазів у промисловій декарбонізації 12
Висновки по розділу 1 12
2 ВИРОБНИКИ, ОБСЯГИ ПОСТАЧАННЯ ТА ЛОГІСТИЧНІ СЦЕНАРІЇ 14
2.1 Карта виробників біогазу та біометану 14
2.2 Оцінка потенційних обсягів постачання 15
2.3 Аналіз логістичних сценаріїв 16
Висновки по розділу 2 18
3 ПІДХОДИ ДО ЦІНОУТВОРЕННЯ НА БІОМЕТАН 19
3.1 Структура ціни біометану 19
3.2 Цінові індекси та прив’язки 19
3.3 Роль сертифікації та екологічних факторів 20
Висновки по розділу 3 20
4 АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ СЦЕНАРІЇВ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ CO_2 22
4.1 Призначення та архітектура моделі 22
4.2 Вхідні параметри моделі 23
4.3 Сценарна структура 23
4.4 Результати моделювання 24
4.5 Апробація та контроль якості розрахунків 25
Висновки по розділу 4 26
5 РЕГУЛЯТОРНИЙ КОНТЕКСТ ТА ОБМЕЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ 28

5.1 Регуляторна ієрархія, врахована в моделі 28
5.2 Зміни, внесені пакетом спрощень CBAM 28
5.3 Реформа EU ETS, оголошена в липні 2026 року 29
5.4 Припущення, обмеження та ризики достовірності 30
Висновки по розділу 5 31
ВИСНОВКИ 33
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 36

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

Позначення	Розшифрування
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism - механізм вуглецевого коригування імпорту ЄС
EU ETS	European Union Emissions Trading System - Система торгівлі викидами ЄС
EUA	European Union Allowance - квота на викиди ЄС (1 EUA = 1 т CO_2)
FA	Free Allowances - безоплатні квоти на викиди
RED II / RED III	Директиви ЄС про відновлювані джерела енергії (2018/2001, 2023/2413)
MRR	Monitoring and Reporting Regulation - Регламент моніторингу та звітності EU ETS
CF_spec	Питомий вуглецевий слід одиниці продукції, т CO_2e/т
α	Частка заміщення природного газу біометаном, %
BM_PRICE	Ціна біометану, €/тис. м³
PoS	Proof of Sustainability - підтвердження сталості палива
TTF	Title Transfer Facility - базовий газовий хаб ЄС (Нідерланди)
ГТС	Газотранспортна система
НДР	Науково-дослідна робота
bcm	Billion cubic metres - млрд куб. м

ВСТУП

Актуальність роботи визначається двома незалежними чинниками, що збіглися в часі. Перший - набуття чинності основного (компенсаційного) періоду механізму вуглецевого коригування імпорту CBAM з 1 січня 2026 року [1], внаслідок чого експорт металопродукції до Європейського Союзу вперше отримав пряму вуглецеву складову вартості. Другий - швидке формування в Україні власного ринку біометану, який до 2025 року фактично не існував як експортна галузь, а вже у 2025 році забезпечив перші трубопровідні поставки до ЄС [2].

Поєднання цих чинників створює для металургійного підприємства нову управлінську задачу: заміщення природного газу біометаном перестає бути виключно екологічною ініціативою і перетворюється на інструмент управління регуляторними витратами. Кількісна оцінка цього інструмента становить практичну цінність роботи.

Метою виконання НДР є формування комплексного уявлення про можливості часткової або поетапної заміни традиційних видів палива біогазом або біометаном у металургійному виробництві шляхом аналізу доступних ринкових обсягів, потенціалу їх масштабування, логістичних сценаріїв постачання до виробничих майданчиків у Європі, а також базових підходів до ціноутворення. Додатковою метою є створення аналітичної моделі оцінки сценаріїв зниження викидів CO_2 за рахунок заміщення природного газу біометаном, яка дозволяє розраховувати вплив різних рівнів заміщення на вуглецевий слід продукції прокатного стану та прогнозувати розмір вуглецевих платежів і штрафів у межах вимог CBAM.

Дослідження має аналітично-оглядовий характер і не є техніко-економічним обґрунтуванням інвестиційних рішень. Воно не включає технічної оцінки адаптації виробничих потужностей підприємства та ґрунтується на відкритих джерелах і публічних даних виробників.

Роботу виконано із застосуванням методів кабінетного дослідження (desk research), аналізу відкритих аналітичних та галузевих звітів, аналізу первинних правових актів Європейського Союзу, експертних консультацій з виробниками та профільними асоціаціями у форматі письмових запитів, а також сценарного економіко-математичного моделювання.

Звіт складається з п’яти розділів. У першому розділі наведено огляд ринків біогазу та біометану України і ЄС. Другий розділ присвячено виробникам, обсягам постачання та логістичним сценаріям. У третьому розділі розглянуто підходи до ціноутворення. Четвертий розділ містить опис розробленої аналітичної моделі та результати моделювання. У п’ятому розділі проаналізовано регуляторний контекст і обмеження застосування отриманих результатів.

Ключовий показник ефективності, встановлений Планом дослідження [3], - розроблення аналітичної моделі до 31.10.2026, що відповідає 100 % виконання. Фактично модель розроблено, апробовано на даних активу та передано замовнику достроково.

Звіт за результатами виконання розміщено в репозитарії ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА».

1 РИНОК БІОГАЗУ ТА БІОМЕТАНУ УКРАЇНИ ТА ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ

1.1 Ринок Європейського Союзу

Європейський ринок біогазів залишається найбільшим у світі та демонструє стійке, хоч і нерівномірне, зростання. За даними 15-го Статистичного звіту European Biogas Association, сукупне виробництво біогазу та біометану в Європі у 2024 році склало близько 22 млрд куб. м проти 21,7 млрд куб. м у 2023 році, з яких близько 19 млрд куб. м припадає на країни ЄС-27. Це еквівалентно приблизно 6 % споживання природного газу в ЄС [4].

Біометан є найдинамічнішим сегментом: у 2024 році вироблено близько 5,2 млрд куб. м, з них 4,3 млрд куб. м - у ЄС-27. Європа завершила 2024 рік з 1 620 біометановими установками, що на 111 більше, ніж роком раніше; щонайменше 86 % установок під'єднані до газових мереж. Кількість країн-виробників біометану досягла 25 [4].

Динаміка встановленої потужності є ще показовішою. На початок 2025 року вона становила близько 7 млрд куб. м на рік, а за даними European Biomethane Map, підготовленої EBA спільно з Gas Infrastructure Europe, наприкінці II кварталу 2026 року - вже 8,2 млрд куб. м на рік, тобто зростання на 17 % за рік. Кількість установок за той самий період зросла з 1 678 до 1 975 (введено 327 нових). Обсяг заявлених інвестиційних зобов'язань досяг 36 млрд євро проти 28 млрд євро роком раніше; за умови їх повної реалізації до 2030 року очікується введення додаткових 9 млрд куб. м на рік потужності [5].

Водночас галузеві асоціації прямо вказують на те, що темпи зростання відстають від потенціалу, і головною причиною називають регуляторну невизначеність, а не брак сировини чи капіталу. Для замовника це означає, що прогнози доступності біометану слід будувати з поправкою на регуляторний, а не технологічний ризик.

Таблиця 1.1 – Ключові показники європейського ринку біометану

Показник	2023	2024	2026 (II кв.)
Виробництво біогазу та біометану, млрд куб. м	21,7	22,0	н/д
Виробництво біометану, млрд куб. м	н/д	5,2	н/д
у т. ч. ЄС-27, млрд куб. м	н/д	4,3	н/д
Встановлена потужність, млрд куб. м/рік	н/д	7,0 (поч. 2025)	8,2
Кількість установок, од.	1 509	1 620	1 975
Інвестиційні зобов’язання, млрд євро	н/д	28,0	36,0

Джерело: складено за даними [4, 5].

1.2 Ринок України

Український ринок біометану перебуває у фазі стартового зростання. Україна увійшла до переліку країн-виробників біометану у 2023 році. Ключовою подією стало відкриття експортного каналу: у лютому 2025 року вперше здійснено експорт біометану українського виробництва до ЄС трубопровідним транспортом, а за підсумками 2025 року українські приватні компанії експортували понад 11,2 млн куб. м власного біометану через газотранспортну систему України [2].

За заявами Міністерства економіки, довкілля та сільського господарства України, 2026 рік планується завершити з виробництвом близько 150 млн куб. м біометану, а реалістичною ціллю до 2030 року визначено 500 млн куб. м. Ширші орієнтири закріплено Програмою розвитку виробництва біометану на період до 2035 року, затвердженою постановою Кабінету Міністрів України від 22.04.2026 № 514: понад 1 млрд куб. м на рік до 2030 року з нарощуванням до 5 млрд куб. м протягом десяти років [2, 6].

Сировинна база - агровідходи, залишки тваринництва, солома та цукровий буряк - відповідає європейським вимогам до «зеленого»

палива, що є суттєвою перевагою для сертифікації за критеріями сталості RED.

Слід окремо наголосити на різниці масштабів. Плановий обсяг українського виробництва на 2026 рік (близько 150 млн куб. м) є двома порядками меншим за європейське виробництво і становить менш ніж 3 % від європейської встановленої потужності. Це означає, що на горизонті 2026–2028 років український біометан слід розглядати як нішевий, а не як базовий ресурс постачання для великого металургійного активу.

1.3 Роль біогазів у промисловій декарбонізації

Принципове значення для металургії має механізм визнання біометану в системі EU ETS. Згідно з Регламентом моніторингу та звітності, біометан, закачаний у газову мережу, за умови відповідності критеріям сталості RED II / RED III та належного документального підтвердження, може обліковуватися з нульовим коефіцієнтом викидів [7, 8, 9]. Саме ця норма перетворює біометан з екологічної ініціативи на інструмент прямого зниження регуляторних зобов’язань.

Водночас існує суттєве методологічне обмеження: система торгівлі викидами не є системою обліку повного життєвого циклу. Від’ємна вуглецева інтенсивність окремих траєкторій виробництва біометану не зменшує зобов’язань за EU ETS нижче нуля. Повна перевага таких траєкторій відображається лише в обліку за RED. Для замовника це означає, що «мінусовий» вуглецевий слід, який може декларувати постачальник, не конвертується у додаткову економію на квотах.

Висновки по розділу 1

Результати аналізу ринків біогазу та біометану дозволяють зробити такі висновки:

1. Європейський ринок біометану має достатній масштаб для промислового постачання: встановлена потужність досягла 8,2 млрд куб. м на рік наприкінці II кварталу 2026 року і зростає темпом близько 17 % на рік.
2. Основним обмежувальним чинником зростання пропозиції є регуляторна, а не технологічна чи сировинна невизначеність, що має враховуватися при побудові прогнозів доступності ресурсу.
3. Український ринок на горизонті 2026–2028 років є нішевим ресурсом: плановий обсяг виробництва 2026 року становить менш ніж 3 % європейської встановленої потужності.
4. Регуляторною основою економічного ефекту заміщення є можливість обліку сертифікованого біометану з нульовим коефіцієнтом викидів у системі EU ETS; без чинної сертифікації за критеріями сталості RED біометан не створює регуляторної переваги.
5. Від’ємна вуглецева інтенсивність окремих траєкторій виробництва біометану не зменшує зобов’язань за EU ETS нижче нуля, оскільки ця система не є системою обліку повного життєвого циклу.

2 ВИРОБНИКИ, ОБСЯГИ ПОСТАЧАННЯ ТА ЛОГІСТИЧНІ СЦЕНАРІЇ

2.1 Карта виробників біогазу та біометану

У межах роботи сформовано карту (структурований реєстр) виробників біогазу та біометану України і ЄС. Карту побудовано як робочий інструмент для відділу закупівель; для кожного виробника передбачено уніфікований набір атрибутів, наведений у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Структура атрибутів карти виробників

№	Атрибут	Призначення
1	Найменування та юрисдикція	Ідентифікація контрагента, оцінка санкційних і комплаєнс-ризиків
2	Тип сировини	Визначає вуглецеву інтенсивність та можливість сертифікації за RED
3	Поточний обсяг виробництва, куб. м/рік	Оцінка максимально можливого разового контракту
4	Заявлений потенціал масштабування	Оцінка можливості довгострокового контракту
5	Спосіб відпуску (мережа / bio-LNG / CNG)	Визначає доступні логістичні сценарії
6	Наявність сертифікації (ISCC EU, REDcert)	Умова визнання нульового коефіцієнта викидів у EU ETS
7	Під’єднання до газової мережі	Визначає можливість віртуального трансферу
8	Статус консультацій	Фіксація результатів письмових запитів
9	Готовність до промислових обсягів	Фільтр відсіювання дрібних виробників

Проведені консультації з виробниками у форматі письмових запитів дозволили встановити такі системні особливості пропозиції:

– переважна більшість виробників орієнтована на постачання через газову мережу; позамережеві формати (bio-LNG, CNG) пропонує обмежене коло операторів;

– середній розмір європейської біометанової установки становить близько 483 куб. м/год, що приблизно вчетверо перевищує розмір біогазової установки з виробництвом електроенергії та тепла; для

покриття промислової потреби у більшості випадків потрібна агрегація кількох виробників;

– наявність чинної сертифікації за визнаною добровільною схемою є вирішальним, а не бажаним критерієм відбору: без підтвердження сталості біометан не дає регуляторної переваги;

– українські виробники в переважній більшості є новостворених і мають обмежену історію виконання довгострокових контрактів, що підвищує вимоги до контрактних гарантій.

Іменний перелік виробників з кількісними показниками передано замовнику окремим файлом як робочий додаток до звіту, оскільки містить дані, отримані в межах двосторонніх консультацій, і потребує періодичного оновлення.

2.2 Оцінка потенційних обсягів постачання

Сценарну оцінку обсягів постачання виконано у трьох варіантах: реалістичному (базовому), песимістичному та оптимістичному. Сценарії побудовано відносно потреби активу в паливному газі, що дозволяє застосовувати їх незалежно від зміни абсолютних обсягів виробництва. Як розрахунковий орієнтир максимально доступного обсягу біометану прийнято 56 млн куб. м на рік; ця величина є параметром, що задається користувачем моделі, та підлягає уточненню за результатами переговорів із постачальниками.

Основні ризики та обмеження постачання полягають у такому.

1. Ризик конкуренції за обсяг. Сертифікований біометан є дефіцитним ресурсом, за який металургія конкурує з транспортним сектором і сектором опалення, де діють окремі механізми підтримки та зобов’язань. Це створює структурний тиск на ціну незалежно від динаміки цін на природний газ.

2. Ризик регуляторної невизначеності. Він проявляється у затримці інвестиційних рішень і, відповідно, у зсуві строків введення нових потужностей.
3. Ризик масштабу українського ринку. Вихід на рівні заміщення понад 40 % за рахунок виключно українського ресурсу є нереалістичним до реалізації цілей Програми до 2035 року.
4. Ризик документального ланцюга. Втрата або невизнання підтверджень сталості на будь-якій ділянці транскордонного трансферу знецінює весь обсяг з регуляторного погляду: фізично паливо буде спожито, але нульовий коефіцієнт викидів застосувати не вдасться.

Таблиця 2.2 – Сценарії доступності постачання

Сценарій	**Рівень заміщення α**	**Джерело покриття**	**Ключові умови реалізації**
Песимістичний	до 10 %	Переважно європейські виробники, спотові обсяги	Обмеження мережевих потужностей; конкуренція з транспортним сектором за сертифіковані обсяги
Реалістичний (базовий)	20–40 %	Комбінація європейських і українських обсягів, середньострокові контракти	Наявність чинної сертифікації; агрегація кількох виробників; стабільність транскордонного трансферу
Оптимістичний	60–80 %	Довгострокові контракти з розширенням українських потужностей	Реалізація Програми розвитку виробництва біометану до 2035 року; вихід на понад 1 млрд куб. м/рік до 2030 року

2.3 Аналіз логістичних сценаріїв

Розглянуто чотири базові сценарії доставки біометану до європейських активів; їх порівняльну характеристику наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Порівняння логістичних сценаріїв

Сценарій	Сутність	Переваги	Обмеження
С1. Мережевий (фізичний)	Закачування в газову мережу та відбір на майданчику активу	Найнижча питома вартість доставки; не потребує змін на майданчику	Потребує мережевого під'єднання виробника; залежність від тарифів на транспортування
С2. Мережевий (віртуальний трансфер)	Передача підтверджень сталості за схемою масового балансу без фізичної прив'язки	Максимальна географічна гнучкість; доступ до всього ринку ЄС	Критична залежність від визнання документів; ризик розбіжностей у національних практиках
С3. Bio-LNG	Зрідження та доставка автоцистернами або судами	Незалежність від мережі; придатність для віддалених майданчиків	Найвища питома вартість; потреба у станції регазифікації
С4. Локальне виробництво	Розміщення потужностей у безпосередній близькості до активу	Мінімальні транспортні витрати; контроль над ланцюгом постачання	Капіталомісткість; залежність від локальної сировинної бази; тривалий строк реалізації

Порівняльний аналіз показує, що найнижчу питому вартість доставки забезпечує закачування в газову мережу - за оцінками Oxford Institute for Energy Studies, близько 5 євро за МВт·год, тоді як зрідження та позамережева доставка збільшують цю складову багаторазово [10].

Для металургійного активу, розташованого в ЄС і під'єднаного до газової мережі, оптимальним є комбінований сценарій С1+С2: фізичне постачання мережею з тих джерел, де це можливо, доповнене віртуальним трансфером сертифікатів для покриття залишкового обсягу. Такий підхід дозволяє одночасно мінімізувати логістичну складову ціни та максимально розширити коло потенційних постачальників. Сценарій С4 виходить за межі цього дослідження в

частині технічної та інвестиційної оцінки і потребує окремого техніко-економічного обґрунтування.

Висновки по розділу 2

1. Сформовано карту виробників біогазу та біометану України і ЄС з уніфікованим набором з дев’яти атрибутів, придатну для безпосереднього використання відділом закупівель.
2. Встановлено, що для покриття промислової потреби у більшості випадків потрібна агрегація кількох виробників, оскільки середній розмір європейської біометанової установки становить близько 483 куб. м/год.
3. Розроблено три сценарії доступності постачання з рівнями заміщення до 10 %, 20–40 % та 60–80 % і визначено ключові умови реалізації кожного з них.
4. Визначено чотири основні ризики постачання: конкуренції за обсяг, регуляторної невизначеності, масштабу українського ринку та розриву документального ланцюга підтверджень сталості.
5. Оптимальною логістичною схемою для активу в ЄС визначено комбінацію фізичного мережевого постачання з віртуальним трансфером підтверджень сталості, що мінімізує логістичну складову ціни за максимального охоплення ринку постачальників.

3 ПІДХОДИ ДО ЦІНОУТВОРЕННЯ НА БІОМЕТАН

3.1 Структура ціни біометану

Ціна біометану формується як сума трьох складових: вартості енергетичного носія, прив’язаної до біржового індексу природного газу; «зеленої» премії, що відображає дефіцит сертифікованого обсягу та готовність споживача платити за регуляторну перевагу; логістичної складової, залежної від обраного сценарію доставки.

Витрати на виробництво біометану методом анаеробного зброджування, за оцінками Oxford Institute for Energy Studies, характеризуються великим розкидом, а саме від 50 до 175 євро за МВт·год, причому основними чинниками варіації є тип сировини (для окремих видів відходів вартість може бути навіть від’ємною), розмір установки та локаційні фактори [10]. Це означає, що ринок біометану не має єдиної рівноважної ціни, і переговорна позиція покупця суттєво залежить від того, з яким типом виробника він працює.

3.2 Цінові індекси та прив’язки

Базовим індикатором для прив’язки контрактів залишається європейський газовий хаб TTF. Ціни на природний газ у Європі залишаються волатильними: середній рівень TTF у 2025 році становив близько 38 євро за МВт·год, і суттєвого здешевлення виробництва біометану з середини 2010-х років не відбулося, унаслідок чого цінова відстань між біометаном і природним газом зберігається [10]. Протягом 2026 року котирування зазнавали значних коливань під впливом геополітичних чинників та умов постачання скрапленого газу. Відповідно, будь-яка прив’язка контракту до біржового індексу переносить на покупця ризик цінової волатильності.

Практика показує застосування трьох основних моделей ціноутворення:

– «індекс плюс премія»: прив’язка до TTF з фіксованою або індексованою надбавкою; найпоширеніша модель, що переносить ризик волатильності на покупця;
– фіксована ціна на строк контракту: знімає волатильність, але зазвичай передбачає вищу середню ціну як плату за хеджування;
– роздільне ціноутворення молекули та сертифіката: енергоносій купується за індексом, «зелений» атрибут, окремо; модель, що набуває поширення разом із розвитком ринку сертифікатів.

3.3 Роль сертифікації та екологічних факторів

Сертифікація виконує в ціноутворенні подвійну функцію. З одного боку, вона є умовою доступу: без підтвердження сталості за RED II / RED III біометан не може обліковуватися з нульовим коефіцієнтом викидів, тобто втрачає основну економічну цінність для підприємства під EU ETS. З другого боку, рівень підтверджених скорочень парникових газів прямо впливає на розмір премії.

Ілюстративним є ринок зрідженого біометану (bio-LNG) для морського транспорту: механізми гнучкості Регламенту FuelEU Maritime сформували попит саме на обсяги з від’ємними значеннями вуглецевої інтенсивності, що у 2025 році стало одним із чинників підвищення цін на біометан [10]. Це демонструє, що ціноутворення на цьому ринку визначається не енергетичною, а регуляторною цінністю продукту.

Для замовника з цього випливає практичний висновок: закупівельна стратегія має орієнтуватися на мінімально достатній рівень сертифікованого скорочення, який забезпечує нульовий коефіцієнт викидів у EU ETS, без переплати за траєкторії з надвисокими показниками, оскільки, як показано в підрозділі 1.3, вони не створюють додаткової економії в межах системи торгівлі викидами.

Висновки по розділу 3

1. Ціна біометану формується трьома складовими - вартістю енергоносія за біржовим індексом, «зеленою» премією та логістичною складовою, причому визначальний вплив на кінцевий рівень має саме премія.
2. Ринок біометану не має єдиної рівноважної ціни: розкид витрат на виробництво становить від 50 до 175 євро за МВт·год залежно від типу сировини, розміру установки та локаційних факторів.
3. Базовим індикатором прив’язки контрактів залишається хаб TTF, рівень якого зазнав суттєвого зростання протягом 2026 року - з близько 45 євро за МВт·год у червні до понад 59–62 євро за МВт·год у липні.
4. Сертифікація є умовою доступу, а не додатковою опцією: без підтвердження сталості біометан втрачає основну економічну цінність для підприємства під EU ETS.
5. Закупівельну стратегію доцільно орієнтувати на мінімально достатній рівень підтверджених скорочень, оскільки надвисокі показники не створюють додаткової економії в межах системи торгівлі викидами.

4 АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ СЦЕНАРІЇВ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ CO_2

4.1 Призначення та архітектура моделі

Розроблено аналітичну модель «Заміщення природного газу біометаном», реалізовану у форматі електронної книги та апробовану на даних активу [11]. Модель є основним практичним продуктом роботи та забезпечує розрахунок таких величин:

– питомого вуглецевого сліду прокату при будь-якому рівні заміщення α в діапазоні від 0 до 100 %;
– валового платежу за механізмом CBAM, обсягу безоплатних квот та чистого платежу для поточного року;
– штрафу за понадлімітні викиди;
– економії відносно базового сценарію та чистого фінансового ефекту заміщення з урахуванням додаткових витрат на паливо;
– динаміки показників на періоді 2026–2034 років з урахуванням скорочення частки безоплатних квот з 97,5 до 0 % [12], зміни ціни EUA в діапазоні від 65 до 150 євро за тонну та застосовного бенчмарку ЄС.

Модель побудована як шість пов’язаних аркушів із однонаправленим потоком даних: вхідні дані задаються в єдиному місці й автоматично поширюються на всі розрахункові аркуші (таблиця 4.1). Такий поділ забезпечує головну експлуатаційну властивість моделі: зміна будь-якого вхідного параметра не потребує втручання у формули і не порушує узгодженості результатів між аркушами.

Таблиця 4.1 – Аркуші моделі та їх призначення

Аркуш	Зміст	Режим роботи
INPUT	Вхідні дані: виробничі показники, емісійні фактори, параметри CBAM / EU ETS, параметри біометану	Редагується користувачем

Аркуш	Зміст	Режим роботи
BASELINE	Базовий сценарій без заміщення (α = 0) як точка відліку	Автоматично
SCENARIOS	16 сценаріїв: S0–S5 у розрізі груп A–D	Автоматично
CBAM_TIMELINE	Динаміка платежів за роками 2026–2034	Автоматично
SENSITIVITY	Аналіз чутливості до ціни EUA та ціни біометану	Автоматично
DASHBOARD	Зведені ключові показники ефективності	Автоматично

4.2 Вхідні параметри моделі

Перелік вхідних параметрів згруповано за п’ятьма розділами (таблиця 4.2). Наведені значення є конфігурацією, використаною під час апробації логіки моделі; фактичні виробничі та контрактні величини підставляються замовником.

Ключові регуляторні параметри, використані під час апробації: емісійний фактор природного газу 1,916 кг CO_2е/куб. м [13]; ціна EUA 80,60 євро за тонну; штраф за понадлімітні викиди 100 євро за тонну CO_2; максимально доступний обсяг біометану 56 млн куб. м на рік.

Рівень 80,60 євро за тонну, прийнятий у моделі, узгоджується з фактичною регуляторною кон’юнктурою: офіційно опубліковані Європейською Комісією референсні ціни CBAM-сертифікатів склали 75,36 євро за тонну CO_2 за I квартал 2026 року та 75,28 євро за тонну за II квартал 2026 року [14]. Модельне значення закладає помірний запас відносно поточного регуляторного рівня, що підтверджує адекватність калібрування моделі на момент її передачі.

4.3 Сценарна структура

Модель охоплює 16 сценаріїв, згрупованих у чотири групи (A–D) за шістьма рівнями заміщення (S0–S5). Групи відрізняються припущеннями щодо охоплення викидів (Scope 1 або Scope 1+2+3), цінової траєкторії EUA та наявності «зеленої» премії до ціни продукції.

Така структура дозволяє відокремити вплив рівня заміщення від впливу цінових і методологічних припущень.

Таблиця 4.2 – Групи вхідних параметрів моделі

№	Група параметрів	Склад	Джерело значення
1	Виробничі дані	Річне споживання природного газу; річний обсяг продукції; питома витрата газу на тонну прокату; частка експорту до ЄС; обсяг відвантаження до ЄС; базовий рік	Технічний облік і виробнича звітність активу
2	Емісійні фактори	EF природного газу - 1,916 кг CO_2e/куб. м; EF біометану - 0,03…0,11 кг CO_2e/куб. м; вміст вуглецю у природному газі	IPCC; сертифікати постачальника або лабораторні дослідження
3	Параметри CBAM / EU ETS	Ціна EUA; бенчмарк ЄС для відповідного маршруту виробництва; штраф за перевищення норм; частка безоплатних квот; активний рік розрахунку	ICE; імплементаційні регламенти ЄС
4	Параметри біометану	Ціна природного газу; контрактна ціна біометану; цінова премія біометану; максимально доступний обсяг біометану	Контракти та оцінка ринку (розділ 3)
5	Питомий вуглецевий слід	Прямі фактичні питомі вбудовані викиди; повний питомий вуглецевий слід	Розрахунок за даними активу

4.4 Результати моделювання

Найважливішим кількісним результатом моделювання є нелінійність екологічного ефекту заміщення. За збільшення частки біометану з 20 до 80 % питомий викид знижується з 0,0976 до 0,0234 т CO_2e на тонну продукції, тобто більш ніж у п’ять разів, за чотириразового зростання частки заміщення. Причина полягає в тому, що при заміщенні зменшується не лише абсолютний обсяг викидів, а й

база, від якої обчислюється залишкове зобов’язання після вирахування безоплатних квот.

Другим за значенням результатом є висновок про цінову обмеженість вигоди. Заміщення природного газу біометаном є економічно доцільним не за будь-якої ціни: існує граничний рівень ціни біометану, за якого економія повністю компенсується додатковими витратами на паливо. Перевищення цього рівня перетворює екологічно позитивний захід на фінансово збитковий. Оскільки граничний рівень зростає разом зі скороченням безоплатних квот та зростанням ціни EUA, привабливість заміщення природним чином посилюється в міру наближення до 2034 року. Практично це означає, що заміщення слід розглядати як цінообмежене регуляторне хеджування, а граничну ціну слід перераховувати перед кожним контрактним циклом.

Третій результат стосується чутливості. Аналіз показав, що результат моделі значно чутливіший до ціни біометану, ніж до ціни EUA: зміна контрактної ціни палива на кілька відсотків здатна перекрити ефект від суттєвої зміни вартості квот. Це зміщує пріоритет управлінських зусиль із прогнозування вуглецевого ринку на переговори щодо умов постачання.

4.5 Апробація та контроль якості розрахунків

Модель пройшла апробацію на реальних даних активу (прокатний стан металургійного підприємства) та верифікацію узгодженості. Під час ітерацій розроблення виявлено й усунено низку методологічних помилок, які системно спотворювали результат:

– застосування некоректного графіка скорочення безоплатних квот; замінено на офіційний графік 97,5 → 95 → 90 → 77,5 → 51,5 → 39 → 26,5 → 14 → 0 % на 2026–2034 роки [12];

– некоректну формулу чистого платежу за механізмом CBAM;

– помилкове застосування логіки CBAM до розрахунку зобов’язань за EU ETS: для підприємства, розташованого в ЄС, зобов’язання визначається як перевищення фактичних викидів над обсягом безоплатних квот, а не як добуток різниці інтенсивностей на коефіцієнт скорочення квот;

– невідповідність бенчмарку обраному маршруту виробництва;

– розбіжності одиниць вимірювання та інверсію знаків в окремих залежностях.

До моделі підготовлено покрокову інструкцію користувача, що включає опис аркушів, призначення комірок вхідних даних, правила зміни параметрів α, EUA, ціни біометану та бенчмарку, а також порядок інтерпретації результатів. Модель розширено на інші активи, що дозволяє виконувати порівняльні розрахунки в межах групи.

Висновки по розділу 4

1. Розроблено та апробовано на даних активу аналітичну модель з шести пов’язаних аркушів, що охоплює 16 сценаріїв у розрізі чотирьох груп припущень і шести рівнів заміщення.
2. Встановлено нелінійний характер екологічного ефекту: при зростанні частки біометану з 20 до 80 % питомий викид знижується більш ніж у п’ять разів: з 0,0976 до 0,0234 т CO_2е на тонну продукції.
3. Обґрунтовано, що економічна доцільність заміщення обмежена ціною: існує граничний рівень ціни біометану, за межами якого економія не покриває додаткових витрат на паливо.
4. Показано, що граничний рівень ціни зростає в міру скорочення безоплатних квот, унаслідок чого привабливість заміщення посилюється до 2034 року.

5. Встановлено, що результат моделювання значно чутливіший до ціни біометану, ніж до ціни квот, що зміщує пріоритет управлінських зусиль на переговори щодо умов постачання.
6. У процесі розроблення виявлено й усунено п’ять типів методологічних помилок розрахунку, зокрема помилкове застосування логіки CBAM до зобов’язань за EU ETS.

5 РЕГУЛЯТОРНИЙ КОНТЕКСТ ТА ОБМЕЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

5.1 Регуляторна ієрархія, врахована в моделі

Протягом періоду виконання роботи регуляторна база механізму CBAM зазнала суттєвих змін, які прямо впливають на застосовність результатів. Перелік актів, врахованих у моделі, наведено в таблиці 5.1 [1, 7, 12, 15–18].

Таблиця 5.1 – Регуляторна ієрархія, врахована в моделі

Акт	Предмет регулювання
Регламент (ЄС) 2023/956	Базовий регламент CBAM; порядок вирахування вуглецевої ціни, сплаченої у третій країні
Директива (ЄС) 2023/959	Перегляд EU ETS; графік скорочення безоплатних квот
Регламент (ЄС) 2025/2083	Спрощення CBAM: строки, порогові значення, методика розрахунку вбудованих викидів
Імплементаційні регламенти (ЄС) 2025/2547, 2025/2548	Порядок визначення питомих вбудованих викидів
Імплементаційні регламенти (ЄС) 2025/2620, 2025/2621	Коригування на безоплатне розподілення квот; галузеві бенчмарки
Регламент моніторингу та звітності EU ETS	Умови обліку біометану з нульовим коефіцієнтом викидів

5.2 Зміни, внесені пакетом спрощень CBAM

Регламент (ЄС) 2025/2083 запровадив низку змін [15], що безпосередньо стосуються експортера металопродукції.

1. Строки. Продаж CBAM-сертифікатів перенесено з 1 січня 2026 року на 1 лютого 2027 року. Декларанти придбаватимуть сертифікати у 2027 році за вбудовані викиди імпорту 2026 року із ретроактивним застосуванням зобов’язань. Строк подання річної CBAM-декларації перенесено з 31 травня на 30 вересня наступного року, перший строк з 30 вересня 2027 року за 2026 рік.
2. Ціноутворення сертифікатів. Для звітного 2026 року ціна сертифіката визначається як середньоквартальне значення цін

EUA. Фактично опубліковані Європейською Комісією референсні ціни склали 75,36 євро за тонну CO_2 за I квартал 2026 року та 75,28 євро за тонну за II квартал 2026 року [14]. Починаючи з 2027 року застосовуватиметься середньотижневе значення.

3. Обсяг покриття. Вимогу до квартального залишку сертифікатів на рахунку декларанта знижено з 80 до 50 % вбудованих викидів товарів, імпортованих з початку календарного року.
4. Поріг de minimis. Запроваджено поріг у 50 тонн, нижче якого зобов'язання щодо сертифікатів не виникають.
5. Методика розрахунку. Для алюмінію, чорних металів і сталі вбудовані викиди прекурсорів обліковуються за замовчуванням [16, 18], тоді як викиди окремих фінішних операцій більше не враховуються, це зроблено задля узгодження з правилами EU ETS. Прекурсори, вже охоплені ціноутворенням EU ETS, не підлягають подвійному обліку.

Останнє положення потребує окремої уваги замовника. Виключення окремих фінішних операцій із розрахунку вбудованих викидів здатне змінити саму базу нарахування для прокатного переділу. Необхідно окремо перевірити, чи належать операції прокатного стана до переліку виключених фінішних процесів у розумінні Регламенту (ЄС) 2025/2083 та відповідних імплементаційних актів. Від відповіді на це питання залежить, чи застосовується розроблена модель до повного обсягу викидів переділу, чи лише до прекурсорної складової. Це питання перебуває у правовій, а не інженерній площині й потребує залучення профільної юридичної експертизи.

5.3 Реформа EU ETS, оголошена в липні 2026 року

17 липня 2026 року Європейська Комісія представила пакет реформування Системи торгівлі викидами, що визначає рамки її функціонування на період 2031–2040 років [19]. Ключові елементи

пропозиції: пом’якшення лінійного коефіцієнта скорочення (з 4,3 % до 3,7 % на 2031–2035 роки та 1,7 % починаючи з 2036 року); продовження безоплатного розподілення квот для промисловості після 2030 року з прив’язкою до інвестиційних зобов’язань, за якою 80 % обсягу надається авансом, а 20 % - після підтвердження фактичного скорочення викидів; зниження ставки вилучення надлишкових квот до Резерву ринкової стабільності з 24 % до 12 %; окрема пропозиція щодо перегляду резервних бенчмарків, яка збільшує обсяг безоплатного розподілення для промисловості на період 2026–2030 років. Орієнтовний строк імплементації становить 2028 рік; пропозиція перебуває на початковій стадії законодавчої процедури в Європейському Парламенті та Раді.

На поточний звітний цикл ця пропозиція не впливає: формула вартості CBAM-сертифікатів, строки та санкції залишаються незмінними. Проте для середньострокових прогнозів (2029–2034 роки) вона є суттєвим джерелом невизначеності, оскільки пом’якшення лінійного коефіцієнта скорочення та зменшення темпів вилучення квот до Резерву означають повільніше звуження пропозиції квот, ніж закладено в чинних прогнозах. Відповідно, довгострокова частина розрахунків моделі має переглядатися після ухвалення остаточної редакції реформи.

5.4 Припущення, обмеження та ризики достовірності

Для коректної інтерпретації результатів слід ураховувати такі обмеження.

1. Характер роботи. Дослідження є аналітично-оглядовим і не є техніко-економічним обґрунтуванням інвестиційних рішень. Технічна оцінка адаптації виробничих потужностей до спалювання біометану не проводилася.

2. Джерельна база. Ринкова частина ґрунтується на відкритих джерелах і публічних даних виробників. Реальні комерційні умови можуть відрізнятися від наведених оцінок, зокрема через непублічний характер більшості довгострокових контрактів.
3. Статус вхідних даних моделі. Значення, використані під час апробації, є конфігурацією для перевірки логіки розрахунків. Перед прийняттям управлінських рішень усі вхідні комірки підлягають заміні на фактичні дані технічного обліку та контрактні величини.
4. Регуляторна рухливість. Нормативна база змінювалася безпосередньо в період виконання роботи, тому регуляторні параметри моделі мають переглядатися щонайменше щоквартально.
5. Питання кваліфікації фінішних операцій, зазначене в підрозділі 5.2, потребує окремої юридичної перевірки.
6. Цінова волатильність. Наведені у звіті значення цін є моментними. Липень 2026 року продемонстрував зростання цін TTF більш ніж на 50 % за місяць під впливом геополітичних чинників, що ілюструє межі надійності будь-яких точкових цінових припущень.

Висновки по розділу 5

1. Систематизовано регуляторну ієрархію з шести груп актів ЄС, що визначають розрахункову базу моделі.
2. Встановлено, що пакет спрощень CBAM переніс початок продажу сертифікатів на 1 лютого 2027 року, знизив вимогу до квартального покриття з 80 до 50 % та запровадив поріг de minimis у 50 тонн.
3. Виявлено критичне для роботи положення: виключення окремих фінішних операцій із розрахунку вбудованих викидів здатне

змінити базу нарахування для прокатного переділу, що потребує окремої юридичної кваліфікації операцій прокатного стана.

4. Показано, що представлена 17 липня 2026 року реформа EU ETS не впливає на поточний звітний цикл, але є суттєвим джерелом невизначеності для прогнозів на 2029–2034 роки.
5. Визначено шість категорій обмежень достовірності результатів, ключовими з яких є статус вхідних даних моделі та регуляторна рухливість нормативної бази.

ВИСНОВКИ

1. Науково-дослідну роботу виконано в повному обсязі. Усі блоки технічного завдання завершено; результати передано замовнику станом на 10.07.2026, тобто з випередженням контрольного строку, встановленого ключовим показником ефективності (31.10.2026), приблизно на 3,5 місяця.

2. Європейський ринок біометану має достатній масштаб для промислового постачання. Встановлена потужність досягла 8,2 млрд куб. м на рік наприкінці II кварталу 2026 року і зростає темпом близько 17 % на рік; заявлені інвестиційні зобов'язання в розмірі 36 млрд євро забезпечують перспективу додаткових 9 млрд куб. м на рік до 2030 року.

3. Український ринок на поточному горизонті є нішевим ресурсом. Плановий обсяг виробництва 2026 року (близько 150 млн куб. м) становить менш ніж 3 % європейської встановленої потужності. Він придатний для покриття помірних рівнів заміщення та для формування довгострокових партнерств, але не забезпечує високих сценаріїв заміщення для великого активу до реалізації цілей Програми розвитку виробництва біометану до 2035 року.

4. Регуляторною основою економічного ефекту є можливість обліку сертифікованого біометану з нульовим коефіцієнтом викидів у EU ETS. Без чинної сертифікації за критеріями сталості RED біометан не створює регуляторної переваги, а отже і фінансового ефекту.

5. Екологічний ефект заміщення є нелінійним і значним: за зростання частки біометану з 20 до 80 % питомий викид знижується більш ніж у п'ять разів - з 0,0976 до 0,0234 т CO_2е на тонну продукції.

6. Економічна доцільність заміщення обмежена ціною. Існує граничний рівень ціни біометану, за межами якого економія не покриває додаткових витрат на паливо. Заміщення слід трактувати як

цінообмежене регуляторне хеджування, а граничну ціну слід перераховувати перед кожним контрактним циклом.

7. Оптимальною логістичною схемою для активу в ЄС є комбінація фізичного мережевого постачання з віртуальним трансфером підтверджень сталості, що мінімізує логістичну складову ціни за максимального охоплення ринку постачальників.

8. Створено працездатний розрахунковий інструмент. Аналітична модель з шести аркушів і 16 сценаріїв апробована на даних активу, розширена на інші активи групи та забезпечена інструкцією користувача, що дозволяє експлуатувати її самостійно.

За результатами роботи рекомендується:

1) замінити конфігураційні значення вхідних комірок моделі на фактичні дані технічного обліку активу та контрактні цінові параметри до першого застосування моделі в управлінських цілях;

2) ініціювати юридичну експертизу щодо кваліфікації операцій прокатного стана у контексті виключення фінішних процесів із розрахунку вбудованих викидів згідно з Регламентом (ЄС) 2025/2083;

3) встановити регламент щоквартального оновлення регуляторних параметрів моделі із закріпленням відповідальної особи;

4) внести до переліку обов’язкових кваліфікаційних вимог до постачальників біометану наявність чинної сертифікації за визнаною добровільною схемою та документально підтверджений ланцюг масового балансу;

5) орієнтувати закупівельну стратегію на мінімально достатній рівень підтверджених скорочень, що забезпечує нульовий коефіцієнт викидів;

6) розглянути укладення пілотного середньострокового контракту на помірний рівень заміщення з метою відпрацювання документального ланцюга підтверджень сталості;

7) повернутися до перегляду довгострокової частини розрахунків (2029–2034 роки) після ухвалення остаточної редакції реформи EU ETS.

Об’єкт дослідження є актуальним; доцільно продовжити дослідження в частині техніко-економічного обґрунтування адаптації пальникових пристроїв та юридичної кваліфікації фінішних операцій.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 establishing a carbon border adjustment mechanism. Official Journal of the European Union. 2023. L 130. P. 52–104. URL: http://data.europa.eu/eli/reg/2023/956/oj (дата звернення: 23.07.2026).

2. Україна планує завершити 2026 рік із виробництвом близько 150 млн кубометрів біометану : повідомлення Міністерства економіки, довкілля та сільського господарства України. 2026. URL: https://me.gov.ua/News/Detail/19d785ed-0e60-4040-9620-10509cc4ed64 (дата звернення: 23.07.2026).

3. План дослідження «Оцінка ринкового, логістичного та цінового потенціалу використання біогазу / біометану з фокусом на європейський ринок» : внутрішній документ ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка». Запоріжжя, 2026. 6 с.

4. EBA Statistical Report 2025 / European Biogas Association. 15th ed. Brussels, 2025. URL: https://www.europeanbiogas.eu (дата звернення: 23.07.2026).

5. European Biomethane Map 2026 and Biomethane Investment Outlook / European Biogas Association, Gas Infrastructure Europe. Brussels, 2026. URL: https://www.europeanbiogas.eu (дата звернення: 23.07.2026).

6. Про затвердження Програми розвитку виробництва біометану на період до 2035 року та операційного плану заходів з її виконання : постанова Кабінету Міністрів України від 22.04.2026 № 514. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/514-2026-п (дата звернення: 23.07.2026).

7. Commission Implementing Regulation (EU) 2018/2066 of 19 December 2018 on the monitoring and reporting of greenhouse gas

emissions pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the European Union. 2018. L 334. P. 1–93. URL: http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2018/2066/oj (дата звернення: 23.07.2026).

8. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. Official Journal of the European Union. 2018. L 328. P. 82–209. URL: http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj (дата звернення: 23.07.2026).

9. Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources. Official Journal of the European Union. 2023. L, 2023/2413, 31.10.2023. URL: http://data.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj (дата звернення: 23.07.2026).

10. Olczak M. Biomethane in Europe: Why Scaling Up is Harder than It Looks : OIES Paper NG 203. Oxford : Oxford Institute for Energy Studies, 2026. URL: https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2026/01/NG203-Biomethane-in-Europe.pdf (дата звернення: 23.07.2026).

11. Аналітична модель «Заміщення природного газу біометаном» та покрокова інструкція користувача : додаток до звіту з НДР. Запоріжжя, 2026.

12. Directive (EU) 2023/959 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 amending Directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Union and Decision (EU) 2015/1814. Official Journal of the European Union. 2023. L 130. P. 134–202. URL: http://data.europa.eu/eli/dir/2023/959/oj (дата звернення: 23.07.2026).

13. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 2 : Energy / Intergovernmental Panel on Climate Change. Hayama : IGES, 2006. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl (дата звернення: 23.07.2026).

14. Carbon Border Adjustment Mechanism : reference prices of CBAM certificates / European Commission, Directorate-General for Taxation and Customs Union. Brussels, 2026. URL: https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en (дата звернення: 23.07.2026).

15. Regulation (EU) 2025/2083 of the European Parliament and of the Council of 8 October 2025 amending Regulation (EU) 2023/956 as regards simplifying and strengthening the carbon border adjustment mechanism. Official Journal of the European Union. 2025. L, 2025/2083, 17.10.2025. URL: http://data.europa.eu/eli/reg/2025/2083/oj (дата звернення: 23.07.2026).

16. Commission Implementing Regulation (EU) 2025/2547 of 10 December 2025 laying down rules for the application of Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council as regards the methods for the calculation of emissions embedded in goods. Official Journal of the European Union. 2025. L, 2025/2547, 22.12.2025. URL: http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2025/2547/oj (дата звернення: 23.07.2026).

17. Commission Implementing Regulation (EU) 2025/2620 of 16 December 2025 laying down rules for the application of Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council as regards the calculation of the free allocation adjustment to the number of CBAM certificates to be surrendered. Official Journal of the European Union. 2025. L, 2025/2620, 22.12.2025. URL: http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2025/2620/oj (дата звернення: 23.07.2026).

18. Commission Implementing Regulation (EU) 2025/2621 of 16 December 2025 laying down rules for the application of Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council as regards the establishment of default values. Official Journal of the European Union. 2025. L, 2025/2621, 31.12.2025. URL: http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2025/2621/oj (дата звернення: 23.07.2026).

19. EU Commission publishes EU ETS review proposal : news release / International Carbon Action Partnership. 2026. URL: https://icapcarbonaction.com/en/news/eu-commission-publishes-eu-ets-review-proposal (дата звернення: 23.07.2026).