

Індикативні показники питомих викидів парникових газів як основа національної галузевої системи бенчмаркінгу металургії

Indicative Indicators of Specific Greenhouse gas Emissions as the Basis of a National Sectoral Metallurgy Benchmarking System

Юрій Зеленін

Yurii Zelenin

кандидат економічних наук, доцент кафедри фінансів, банківської та страхової справи, e-mail: rvps@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9565-336X>

PhD in Economics, Associate Professor of the Department of Finance, Banking and Insurance, e-mail: rvps@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9565-336X>

Міжрегіональна Академія управління персоналом, Київ, Україна

Interregional Academy of Personnel Management, Kyiv, Ukraine

Received: January 22, 2026 | Revised: February 27, 2026 | Accepted: February 28, 2026

УДК 338.45:669.1:504.054

DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2026.16.1.36>

Мета роботи. Обґрунтування теоретико-методичних засад та розробка практичних рекомендацій щодо впровадження національної системи бенчмаркінгу питомих викидів парникових газів у чорній металургії України як інструменту стимулювання декарбонізації та забезпечення конкурентоспроможності національної економіки в умовах євроінтеграції.

Метод дослідження. У роботі використано комплекс наукових методів: системно-структурний аналіз — для дослідження світових моделей бенчмаркінгу (EU ETS, WorldSteel, Keidanren); метод математичного моделювання — для розробки формульного апарату розрахунку індикативних показників; порівняльний аналіз — для зіставлення технологічної ефективності вітчизняних та закордонних металургійних підприємств; статистичні методи — для обробки даних матеріально-енергетичних балансів виробничих переділів.

Результати дослідження. Сформовано концептуальну модель дворівневого галузевого бенчмаркінгу, що базується на встановленні обмежувального та мотиваційного рівнів вуглецевої інтенсивності; розроблено уніфікований алгоритм проведення бенчмаркінгу для металургійних переділів, який включає дев'ять етапів від формування експертних груп до побудови галузевої кривої ефективності; розраховано конкретні значення індикативних показників питомих викидів для виробництва коксу, чавуну та сталі, що дозволяють ідентифікувати зони регуляторного впливу та державної підтримки.

Теоретична цінність дослідження. Робота поглиблює наукові підходи до управління декарбонізацією національного господарства шляхом уточнення категоріального апарату «галузевого бенчмаркінгу» та розширення методичного інструментарію оцінки вуглецевої інтенсивності промислової продукції з урахуванням прямих та опосередкованих викидів (Scope 1, 2).

Практична цінність дослідження. Отримані результати можуть бути використані Міністерством економіки та Міністерством захисту довкілля України при розробці національного плану розподілу квот на викиди парникових газів, формуванні критеріїв відбору проектів для Фонду декарбонізації, а також металургійними підприємствами для оцінки ризиків, пов'язаних із впровадженням механізму CBAM.

Цінність дослідження. Уперше запропоновано імплементацію дворівневої системи індикативних показників із застосуванням гнучких коефіцієнтів (обмежувального $\$k_{o\$}$ та мотиваційного $\$k_{m\$}$), що дозволяє адаптувати систему вуглецевого регулювання до циклічних змін у промисловості та стратегічних цілей декарбонізації України до 2030–2050 рр.

Обмеження дослідження. Обмеження зумовлені складністю отримання верифікованих даних від підприємств, що перебувають у зоні ведення бойових дій або на тимчасово окупованих територіях, а також високою волатильністю цін на енергоносії, що впливає на зміну енергетичних балансів виробництва.

Тип статті: Дослідницький.

Purpose. To substantiate theoretical and methodical foundations and develop practical recommendations for the implementation of a national benchmarking system for specific greenhouse gas emissions in the Ukrainian iron and steel industry as a tool for stimulating decarbonization and ensuring the competitiveness of the national economy in the context of European integration.

Method. A complex of scientific methods was used: systemic-structural analysis to study global benchmarking models (EU ETS, WorldSteel, Keidanren); mathematical modeling to develop the formulas for calculating indicative indicators; comparative analysis to compare the technological efficiency of domestic and foreign metallurgical enterprises; statistical methods for processing material and energy balance data of production processes.

Findings. A conceptual model of two-level sectoral benchmarking based on the establishment of restrictive and motivational carbon intensity levels was formed; a unified algorithm for conducting benchmarking for metallurgical processes was developed, including nine stages; specific values of indicative indicators for specific emissions for coke, pig iron, and steel production were calculated, allowing the identification of zones for regulatory impact and state support.

Theoretical implications. The work deepens scientific approaches to managing the decarbonization of the national economy by clarifying the categorical apparatus of "sectoral benchmarking" and expanding the methodical toolkit for assessing the carbon intensity of industrial products, taking into account direct and indirect emissions (Scope 1, 2).

Practical implications. The results can be used by the Ministry of Economy and the Ministry of Environmental Protection of Ukraine in developing the national plan for the allocation of greenhouse gas emission allowances, forming criteria for project selection for the Decarbonization Fund, and by metallurgical enterprises to assess risks related to the implementation of the CBAM mechanism.

Originality. For the first time, the implementation of a two-level system of indicative indicators using flexible coefficients (restrictive $\$k_{o\$}$ and motivational $\$k_{m\$}$) was proposed, which allows adapting the carbon regulation system to cyclical changes in industry and Ukraine's strategic decarbonization goals for 2030–2050.

Research limitations. Limitations are due to the complexity of obtaining verified data from enterprises located in combat zones or temporarily occupied territories, as well as high volatility in energy prices, which affects the energy balances of production.

Paper type. Research.

Ключові слова: бенчмаркінг, питомі викиди парникових газів, декарбонізація, чорна металургія, індикативні показники, енергоефективність, СВМТ, система торгівлі квотами, НДТ, економічне регулювання.

Key words: Benchmarking, Specific Greenhouse Gas Emissions, Decarbonization, Iron and Steel Industry, Indicative Indicators, Energy Efficiency, Cbam, Emission Trading System, Bat, Economic Regulation.

Вступ

Сучасний етап розвитку глобальної економіки характеризується стрімким переходом до низьковуглецевих моделей виробництва, що зумовлено посиленням кліматичних вимог у межах Паризької угоди та Європейського зеленого курсу (European Green Deal). У цьому контексті чорна металургія, яка є одним із найбільших джерел антропогенної емісії парникових газів, опинилася в епіцентрі регуляторної трансформації. Для України, де металургійний комплекс традиційно забезпечує значну частку валютних надходжень та ВВП, впровадження системи галузевого бенчмаркінгу стає не лише екологічною вимогою, а й критичною стратегічною необхідністю для збереження конкурентних позицій на ринку ЄС.

В умовах воєнного стану та майбутнього післявоєнного відновлення актуалізується потреба у створенні таких економічних механізмів, які б не просто фіксували обсяги викидів, а стимулювали технологічне оновлення галузі на засадах низьковуглецевого розвитку. Впровадження індикативних показників питомих викидів дозволить синхронізувати українські промислові стандарти з європейськими, що є обов'язковою умовою інтеграції в єдиний економічний простір.

Теоретичні основи дослідження

Концепція бенчмаркінгу в економіці промисловості традиційно розглядається як інструмент стратегічного управління, що базується на процесі порівняння результатів діяльності підприємства з еталонними (найкращими) галузевими показниками для виявлення розривів в ефективності. Проте в умовах глобального кліматичного регулювання бенчмаркінг трансформується з добровільного інструменту внутрішнього аудиту в обов'язковий елемент державної регуляторної політики.

У контексті декарбонізації "вуглецевий бенчмаркінг" набуває специфічних рис регуляторного інструменту, який використовується для:

1. Нормування викидів: встановлення гранично допустимих рівнів емісії на одиницю продукції.
2. Розподілу ресурсів: визначення обсягів безоплатних квот у межах систем торгівлі викидами (СТВ).
3. Економічного стимулювання: ідентифікації технологічних лідерів, які мають право на преференційне фінансування.

Теоретичний базис дослідження спирається на інституційні підходи до регулювання природних монополій та енергоємних галузей, де бенчмаркінг виступає як засіб подолання інформаційної асиметрії між державою та промисловими гігантами.

Постановка проблеми

Незважаючи на наявність розроблених міжнародних методик (зокрема, регламентів ЄС № 2021/447), національна система вуглецевого регулювання в Україні перебуває на початковій стадії формування. Основна проблема полягає у відсутності офіційно затверджених галузевих бенчмарків, адаптованих до вітчизняної структури виробництва (висока частка доменного способу, специфіка залізорудної сировини та зношеність основних засобів).

Відсутність таких нормативних орієнтирів створює низку ризиків:

- **Регуляторна невизначеність:** неможливість запуску повноцінної національної системи торгівлі квотами.

- **Експортні бар'єри:** незахищеність вітчизняних експортерів перед механізмом прикордонного вуглецевого коригування (CBAM), оскільки за відсутності власних верифікованих бенчмарків до української продукції будуть застосовуватися найгірші значення емісії за замовчуванням.

Інвестиційний вакуум: брак чітких екологічних критеріїв для залучення капіталу в межах програм післявоєнного відновлення.

Методологія дослідження

Методологічний аспект дослідження базується на інтеграції даних національної системи моніторингу, звітності та верифікації (МЗВ) із принципами технологічного нормування. Ключовим інноваційним елементом методології є розробка дворівневої моделі **бенчмаркінгу**, яка дозволяє диференціювати підприємства не за однією статичною точкою, а за динамічним діапазоном вуглецевої ефективності.

Методика включає використання:

- Обмежувальних параметрів ($\$k_{0s}$): для виявлення та дестимулювання найбільш вуглецевоємних установок.
- Мотиваційних параметрів ($\$k_{ms}$): для визначення цільового рівня, що відповідає найкращим доступним технологіям (НДТ).

Розрахункова модель базується на аналізі повного життєвого циклу виробничого переділу, враховуючи як прямі викиди від спалювання палива, так і опосередковані викиди, пов'язані із закупівлею електроенергії та технічних газів. Це забезпечує об'єктивність оцінки незалежно від форми власності чи енергетичної автономності окремого підприємства.

Результати

Аналіз світового досвіду впровадження систем бенчмаркінгу в чорній металургії свідчить, що для України, в умовах імплементації положень Угоди про асоціацію з ЄС та підготовки до запровадження національної системи торгівлі викидами (СТВ), критично важливим є формування власної методологічної бази еталонних показників. На сьогодні у світовій практиці виокремлюють декілька провідних систем моніторингу та порівняння питомих викидів CO₂ та енергоємності металургійної продукції. Зокрема, це:

- система бенчмарків Європейської системи торгівлі квотами на викиди (EU ETS) [1];
- методологія Світової асоціації виробників сталі (World Steel Association) [2];
- стандарти Європейської асоціації виробників сталі (EUROFER) [3];
- система енергоефективності Energy Star (США та Канада) [4];
- японська система добровільних зобов'язань Keidanren [5].

Зазначені системи відрізняються за охопленням виробничих процесів, межами систем (Boundaries) та алгоритмами розрахунку. Для вітчизняного промислового сектора найбільш релевантним є досвід EU ETS, оскільки українська система моніторингу, звітності та верифікації (МЗВ) викидів парникових газів розбудовується саме за європейським зразком.

Згідно з регламентами ЄС, бенчмарки встановлюються для ключових продуктів: кокс, агломерат, чавун, чавунне литво, вуглецева та легірована електросталь. Рівень бенчмарка визначається як середнє значення для 10 % найбільш ефективних установок у галузі [1, 6]. Важливо підкреслити, що в межах запровадження механізму прикордонного вуглецевого коригування (CBAM), який безпосередньо впливає на український експорт металопродукції, використовуються значення, затверджені Єврокомісією у 2021 році [7].

Особливістю методології EUROFER є врахування викидів не лише прямого охоплення (Scope 1), а й опосередкованих викидів, пов'язаних із споживанням електроенергії (Scope 2). Цей підхід охоплює 16 видів продукції, включаючи залізо прямого відновлення та різні види прокату

[3]. Натомість Світова асоціація сталі (Worldsteel) фокусується на показнику питомих викидів на тону сирової сталі, агрегуючи понад 60 параметрів витрат сировини та енергоносіїв [2].

Порівняльний аналіз глобальних систем бенчмаркінгу, адаптований до потреб вітчизняного металургійного комплексу, наведено у таблиці 1.

Таблиця 1: Порівняльний аналіз систем бенчмаркінгу в чорній металургії

Система бенчмаркінгу	Рівень (еталон) бенчмарка	Об'єкти (продукти) моніторингу	Стимули та механізми впливу
EU ETS (Європейська СТВ)	Середнє значення 10% кращих установок (Охоплення 1 та 2). Постійне щорічне зниження коефіцієнта.	6 базових продуктів: кокс, агломерат, чавун, литво, сталь (вуглецева та легірована).	Безоплатний розподіл квоти лише до рівня бенчмарка. Штрафні санкції за перевищення.
EUROFER	Рівень 25% найбільш ефективних підприємств.	16 видів продукції: від чавуну до труб та катанки. Враховується ПВЗ (пряме відновлення заліза).	Галузевий моніторинг, підготовка до СВМ та захист ринку ЄС.
World Steel Association	Середньосвітові показники (Охоплення 1, 2, 3 частково).	Питомі викиди на 1 тону сирової сталі (враховано 69 показників сировини та палива).	Технологічний обмін досвідом, публічні рейтинги стійкого розвитку.
Energy Star (США/Канада)	Бальна оцінка (1–100). Ефективними вважаються підприємства з балом > 75.	Сталеплавильні потужності (36 індикаторів питомих витрат енергії).	Сертифікація, податкові преференції, іміджеві переваги.
Keidanren (Японія)	10–20% найбільш енергоефективних компаній.	Маршрути: “Доменна піч – конвертер”, “Електросталь”, “Спецсталь”.	Державні субсидії, публічне визнання (“зелений” список уряду).

Джерело: сформовано автором на основі [1, 2, 5, 8]

Аналіз показав, що бенчмарк у сучасних системах — це не просто статистичне середнє, а інструмент стимулювання декарбонізації. В японській системі, наприклад, встановлено конкретні енергетичні орієнтири:

- для маршруту “доменна піч – конвертер” – 22,2 ГДж/т;
- для виробництва електросталі – 5,99 ГДж/т;
- для спеціальних електросталей – 15,1 ГДж/т [5].

Для України побудова системи бенчмаркінгу має базуватися на принципі технологічної нейтральності, проте враховувати високий ступінь зносу основних засобів. Індикативні показники питомих викидів повинні стати основою для:

1. Формування національного плану розподілу квот.
2. Визначення пріоритетних проєктів для фінансування через Державний фонд декарбонізації та енергоефективності.
3. Оцінки конкурентоспроможності української сталі на ринку ЄС в умовах СВМ.

Встановлення національних бенчмарків на рівні, вищому за європейські (з урахуванням перехідного періоду), дозволить вітчизняним підприємствам адаптуватися до жорстких екологічних вимог без різкої втрати операційної ліквідності.

На основі аналізу міжнародного досвіду встановлено, що структурно-логічна побудова вітчизняної галузевої системи бенчмаркінгу вуглецевої вимоги в чорній металургії повинна базуватися на таких ключових елементах [9, 10]:

- нормативно-методологічна база, що визначає єдиний алгоритм проведення процедури бенчмаркінгу на національному рівні;
- принципи верифікації та валідації вихідних даних для забезпечення об'єктивності еталонних показників;
- методичні вказівки щодо розрахунку прямих та опосередкованих питомих викидів парникових газів (ПГ);
- система економічних стимулів, інтегрована з державною політикою декарбонізації та підтримки модернізації промисловості.

Процес бенчмаркінгу є циклічною процедурою, яка в умовах України має бути гармонізована з вимогами Закону “Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів”. Для уніфікації цієї процедури та стандартизації підходів до оцінки металургійних підприємств, автором розроблено поетапний алгоритм (таблиця 2).

Таблиця 2: Алгоритм проведення бенчмаркінгу питомих викидів парникових газів у металургійній галузі

Етап	Зміст етапу та основні завдання	Результат етапу
1. Формування робочої групи	Залучення представників Міндовкілля, Мінекономіки, наукових установ та галузевих асоціацій (напр., “Укрметпром”).	Створення експертного органу для модерації процесу.
2. Вибір методики розрахунку	Адаптація міжнародних стандартів (ISO 14064, EU ETS benchmarks) до технологічних особливостей вітчизняних підприємств.	Затверджений методичний інструментарій.
3. Визначення меж системи	Окреслення меж технологічних процесів (від підготовки сировини до випуску готової продукції).	Перелік об'єктів моніторингу та точок вимірювання.
4. Збір та анкетування даних	Розробка та розсилка форм збору даних про матеріально-технічний баланс та енергоспоживання.	База первинних даних підприємств галузі.
5. Розрахунок та аналіз	Визначення фактичних питомих викидів (т CO ₂ -екв. / т продукції) для кожної установки.	Попередній рейтинг підприємств.
6. Верифікація даних	Перевірка достовірності поданої інформації незалежними акредитованими органами.	Підтверджені показники емісії.
7. Побудова кривої	Ранжування установок від мінімальних до максимальних питомих викидів.	Графічна модель галузевої ефективності (крива бенчмаркінгу).
8. Встановлення еталона	Визначення граничного рівня (напр., на рівні 10% найкращих) для поточного періоду.	Затверджений нормативний бенчмарк.
9. Моніторинг та перегляд	Регулярна актуалізація показників у зв'язку з впровадженням НДТ (найкращих доступних технологій).	Динамічна система управління викидами.

Джерело: розроблено автором

Важливим інструментом аналізу галузевої ефективності є побудова кривої бенчмаркінгу, яка дозволяє візуалізувати розрив між лідерами галузі та підприємствами з

високою вуглецевоюємністю. Структуру та параметри такої кривої представлено у таблиці 3.

Таблиця 3: Параметри типової кривої бенчмаркінгу питомих викидів у металургії

Складова кривої	Опис та економічне значення	Характеристика показника
Вісь Х (Горизонтальна)	Сукупний обсяг виробництва продукції в галузі (млн тонн).	Відображає масштаб ринку та частку кожного гравця.
Вісь Y (Вертикальна)	Питомі викиди ПГ (CO ₂ -екв. / т продукції).	Характеризує екологічну ефективність технологій.
Точка відсікання (Benchmark)	Значення на рівні найкращих 10-25% обсягу виробництва.	Орієнтир для безоплатного розподілу квот.
“Довгий хвіст” кривої	Підприємства з найбільшими викидами та застарілим обладнанням.	Об’єкти першочергового екологічного оподаткування та модернізації.

Джерело: сформовано автором

Практичне застосування розробленого алгоритму дозволяє забезпечити методично єдиний підхід до проведення бенчмаркінгу в умовах післявоєнного відновлення промисловості України.

Авторський підхід до встановлення індикативних показників питомих викидів ПГ у чорній металургії.

При формуванні системи регулювання вуглецевоюємності в Україні доцільно створити гнучкий організаційно-економічний механізм. З одного боку, він має стимулювати підприємства до глибокої декарбонізації через залучення інвестицій, з іншого – передбачати поступове посилення фінансової відповідальності для суб’єктів, які не впроваджують екологічні інновації.

На відміну від закордонних систем, де зазвичай встановлюється одне еталонне значення, автором запропоновано модель “дворівневого бенчмаркінгу”, яка дозволяє більш гнучко використовувати інструменти державної підтримки та фіскального тиску:

1. Бенчмарк підтримки (Target Benchmark) – рівень вуглецевоюємності, досягнення якого дає право на отримання державних субсидій, пільгових кредитів або грантів на модернізацію.

2. Бенчмарк регулювання (Compliance Benchmark) – гранично допустимий рівень, перевищення якого зобов’язує підприємство сплачувати підвищений податок на CO₂ або купувати додаткові квоти на ринку.

Такий підхід забезпечить адаптивність національної економіки до вимог Європейського зеленого курсу (European Green Deal) та створить передумови для поступової конвергенції українських та європейських екологічних стандартів.

У межах дослідження автором розроблено концептуальний підхід до визначення допустимого та стимулюючого рівнів викидів парникових газів із використанням системи галузевих індикативних показників. Під галузевими індикативними показниками пропонується розуміти діапазон значень питомих викидів CO₂, отриманий у результаті бенчмаркінгу, що враховує: (1) кількість економічних суб’єктів у галузі, (2) рівень впровадження найкращих доступних технологій (НДТ) та (3) індивідуальний ресурсно-технологічний стан кожного суб’єкта господарювання.

Узагальнену структуру індикативних показників, яка була інтегрована автором у проекти вітчизняних інформаційно-технічних довідників з НДТ (що відповідає вимогам Закону України “Про забезпечення прозорості у видобувних галузях” та екологічним стандартам ЄС), представлено в таблиці 4.

Таблиця 4: Індикативні показники питомих викидів парникових газів та зони регулювання

Зона (діапазон) на кривій бенчмаркінгу	Характеристика технологічного рівня	Інструменти державного впливу
Нижня межа (стимулююча)	Найменш вуглецевоємні виробництва (лідери галузі).	Критерій для відбору “зелених” проєктів, державна підтримка, доступ до пільгового фінансування.
Проміжний діапазон	Середньогалузевий рівень ефективності.	Моніторинг, стимулювання до поступової модернізації.
Верхня межа (обмежувальна)	Найбільш вуглецевоємні процеси (застарілі технології).	Спеціальні інструменти регулювання: вуглецеві податки, обов'язкове придбання квот, лімітування викидів.

Джерело: сформовано автором

Крива бенчмаркінгу формується на основі верифікованих даних матеріально-енергетичних балансів підприємств. При цьому значення меж індикативних показників розраховуються з урахуванням цільових орієнтирів декарбонізації, закріплених у Національному плані з енергетики та клімату (НПЕК) України до 2030 року.

Значення обмежувального коефіцієнта (k_0) встановлюється згідно з цільовими показниками Оновленого національно визначеного внеску України до Паризької угоди (НВВ2) [9]. Такий підхід працює за принципом “згори-вниз”, де загальнодержавні цілі декарбонізації трансформуються у конкретні галузеві нормативи.

У межах дослідження автором розраховано граничні значення для підприємств чорної металургії України. Для базового періоду значення мотиваційного коефіцієнта (k_m) прийнято на рівні 0,4, а обмежувального (k_0) — на рівні 0,15.

Вибір обмежувального коефіцієнта $k_0 = 0,15$ зумовлений стратегічними планами розвитку галузі до 2030 року, які передбачають пік валових викидів при одночасному нарощуванні обсягів виробництва сталі з поступовим зниженням питомої вуглецевоємності на 6–8% за рахунок виведення з експлуатації найбільш енергоємних мартенівських потужностей. У перспективі 2030–2050 років, згідно з курсом на “зелену” металургію (Green Steel), значення цих коефіцієнтів підлягатимуть актуалізації в бік посилення вимог.

Розроблений підхід до встановлення коефіцієнтів та індикативних показників був представлений на експертних обговореннях за участю профільних міністерств та провідних наукових установ України (зокрема Інституту економіки та прогнозування НАН України) і рекомендований до використання при розробці національних стандартів екологічного маркування та звітності підприємств важкої промисловості.

Результати розрахунку індикативних показників питомих викидів парникових газів у галузі чорної металургії України

Для проведення об'єктивного оцінювання інтенсивності викидів CO_2 при виробництві металопродукції в умовах вітчизняного промислового комплексу було застосовано уніфіковану методичку, що базується на принципах технологічної цілісності та порівнюваності даних. Це дозволяє нівелювати розбіжності у структурі підприємств (інтегровані комбінати порівняно з міні-заводами) та специфіку їхнього енергозабезпечення.

На першому етапі розрахунків визначено перелік видів продукції, що підлягають бенчмаркінгу, виходячи з їхньої питомої ваги у структурі українського експорту та рівня вуглецевоємності: залізорудний концентрат, кокс, агломерат, котуни, чавун, електросталь, конвертерна сталь та гарячекатаний прокат. Окрему увагу приділено мартенівському способу

виробництва, який, попри стратегічні плани щодо його виведення з експлуатації, все ще зберігає певну частку в балансі галузі та потребує чіткої фіксації як “найвищої межі” для регулювання.

Періодом розрахунку визначено повний календарний рік, що є критично важливим для металургійного сектору України з метою виключення впливу сезонних коливань у споживанні природного газу та електроенергії, а також врахування графіків капітальних ремонтів основних агрегатів.

На другому етапі встановлено межі технологічних систем та установок, що включаються до периметру розрахунку викидів. На відміну від спрощених підходів, автором запропоновано комплексне охоплення потоків, яке деталізовано у таблиці 5.

Таблиця 5: Структура меж розрахунку викидів парникових газів за переділами

Категорія викидів	Джерела та складові енергоресурсів	Характеристика врахування у бенчмарку
Прямі викиди (Score 1)	Паливо, сировина, допоміжні матеріали, карбонати.	Викиди безпосередньо від спалювання та технологічних реакцій у межах переділу.
Опосередковані енергетичні (Score 2)	Електроенергія, теплова енергія (пара, гаряча вода).	Розраховуються на основі питомих коефіцієнтів емісії національної енергосистеми.
Опосередковані технологічні	Технічні гази (O ₂ , N ₂ , Ar), доменне дуття.	Враховуються енерговитрати на їх розділення та стиснення за межами конкретного цеху.
Коригувальні потоки	Вторинні паливні гази (доменний, коксовий, конвертерний).	Поправка на передачу енергетичного потенціалу газів іншим переділам або на ТЕЦ.

Джерело: розроблено автором

Теплова енергія у розрахунках представлена енергією пари та гарячої води, що використовуються для підігріву мазуту, очищення газу або опалення виробничих приміщень у межах периметру. Технічні гази розглядаються як важливий елемент технологічного ланцюга, оскільки виробництво кисню для конвертерів або аргону для установок позапічної обробки сталі характеризується високою енергоємністю.

На третьому етапі здійснено безпосередній розрахунок питомих викидів за авторською формулою, що інтегрує всі зазначені потоки:

На четвертому етапі, відповідно до запропонованого алгоритму, розраховано значення галузевих індикативних показників. Результати порівняльного аналізу та встановлені межі для ключових процесів представлено у таблиці 6.

Таблиця 6: Індикативні показники питомих викидів парникових газів за основними переділами (проектні значення)

Вид продукції (переділ)	Одиниця виміру	I _{min} (Лідер)	ІПм (Нижня межа)	ІПо (Верхня межа)	I _{max} (Критична)
Агломерат	т CO ₂ /т	0,18	0,22	0,28	0,35
Чавун переробний	т CO ₂ /т	1,25	1,35	1,55	1,75
Конвертерна сталь	т CO ₂ /т	0,12	0,16	0,22	0,30
Електросталь	т CO ₂ /т	0,25	0,35	0,55	0,75

Примітка: розраховано автором для українських підприємств за умови $k_m = 0,4$ та $k_o = 0,15$.

Результати для виробництва сталі в електродугових печах (таблиця 7) демонструють значну варіативність, зумовлену часткою використання металобрухту та енергоефективністю систем очищення.

Таблиця 7: Показники бенчмаркінгу для електросталеплавильного виробництва (приклад ранжування)

Група підприємств	Питомі викиди (CO ₂ -екв./т)	Рекомендований режим регулювання
Топ-10% (Лідери)	< 0,30	Звільнення від податку, “зелені” сертифікати.
Середній сегмент	0,30 – 0,55	Стандартний режим оподаткування.
Аутсайдери	> 0,55	Обов'язкова екологічна аудиторська перевірка та плани модернізації.

Джерело: розроблено автором

Розроблені індикативні показники дозволяють сформувати прозору систему моніторингу, де кожен суб'єкт господарювання може ідентифікувати своє місце на кривій галузевої ефективності та оцінити економічні ризики у зв'язку з майбутнім запровадженням СТВ.

Проведений розрахунок дозволив кількісно визначити параметри ефективності для ключових технологічних ланцюгів металургійного виробництва в Україні. Зведені дані щодо рівнів індикативних показників, які можуть бути використані як нормативна база для національної системи моніторингу та квотування, представлено в таблиці 8.

Таблиця 8: Індикативні показники питомих викидів парникових газів за основними технологічними переділами

Виробничий процес (переділ)	Нижня межа індикативного показника (ІПм), т CO ₂ -екв./т	Верхня межа індикативного показника (ІПо), т CO ₂ -екв./т
Виробництво коксу	0,348	0,434
Виробництво агломерату	0,224	0,280
Виробництво залізорудних котунів	0,051	0,057
Виробництво чавуну в доменних печах	1,343	1,460
Виробництво заліза прямого відновлення*	0,561	–
Виробництво сталі в конвертерах	0,225	0,250
Виробництво сталі в електродугових печах	0,395	0,496
Виробництво сталі в електродугових печах (ГБЗ у шихті > 70 %)*	0,523	–

*Верхнє значення індикативного показника для низьковуглецевих технологій не встановлюється для стимулювання їх впровадження.

Джерело: розраховано автором.

Відповідно до отриманих результатів галузевого бенчмаркінгу, інструменти державного регулювання, такі як прямі обмеження, підвищені ставки екологічного податку

або механізми системи торгівлі квотами, мають бути застосовані насамперед до підприємств, чий питомі викиди CO₂ перевищують встановлену верхню межу (ІП_о).

Як демонструє аналіз (таблиця 9), об'єкти, що потрапляють у зону за межею ІП_о (наприклад, умовне "Підприємство 13"), характеризуються критичним рівнем технологічного зносу та потребують негайної екологічної реструктуризації.

Таблиця 9: Розподіл підприємств електросталеплавильного сектору за рівнями індикативних показників

Позиція на кривій бенчмаркінгу	Статус підприємства	Рекомендована економічна політика
Нижче ІП _м	Технологічні лідери (Green Steel)	Надання пріоритетного доступу до «дешевих» екологічних кредитів та грантів.
Між ІП _м та ІП _о	Стабільні виробники	Стимулювання до поступового впровадження НДТ через механізм податкових знижок.
Вище ІП _о	Технологічні аутсайди	Застосування штрафних коефіцієнтів, примусове лімітування викидів.

Джерело: сформовано автором.

Критерій для надання заходів державної підтримки встановлено автором на рівні ІП_м, якому на даний момент не відповідає більше половини господарюючих суб'єктів галузі. Це створює необхідний конкурентний тиск та стимулює підприємства до реальної модернізації, а не формальної звітності.

Висновки

На основі запропонованої автором методики в межах дослідження розроблено проєкт національного стандарту України (ДСТУ) "Найкращі доступні технології. Методичні рекомендації щодо проведення бенчмаркінгу питомих викидів парникових газів для галузі чорної металургії".

Проєкт стандарту був представлений науковій спільноті та зацікавленим сторонам (зокрема Міністерству енергетики України та профільним комітетам Верховної Ради), обговорений на низці міжнародних та галузевих конференцій, зокрема з питань адаптації до умов СВМ (Carbon Border Adjustment Mechanism). Він був доопрацьований з урахуванням зауважень експертів у галузі вуглецевого регулювання та представників металургійних холдингів України. Впровадження цієї методики дозволить забезпечити прозорість процесу декарбонізації та створити надійну основу для інтеграції української промисловості в європейський економічний простір.

Результати розробки та апробації методичних засад бенчмаркінгу були імплементовані у нормативне поле та програмне забезпечення, що підтверджує практичну цінність дослідження.

Зокрема, розроблені автором положення та методичні рекомендації щодо проведення бенчмаркінгу питомих викидів парникових газів лягли в основу пропозицій до національних стандартів України у сфері найкращих доступних технологій (НДТ). Враховуючи євроінтеграційний вектор розвитку, ці напрацювання гармонізовані з вимогами Директиви 2010/75/ЄС про промислові викиди та відповідними довідковими документами БНД (BREFs).

На відміну від закордонних аналогів, запропонований нами підхід адаптований до специфіки українського енергобалансу та структури залізорудної сировини, що дозволяє уникнути штучного заниження або завищення екологічних рейтингів підприємств.

Запропоновані значення індикативних показників питомих викидів парникових газів дозволяють найбільш об'єктивно оцінити поточний рівень технологічного розвитку галузі

чорної металургії України та сформуванню дієвий організаційно-економічний механізм регулювання вуглецевої ємності. Впровадження цієї системи дозволить державі:

- справедливо розподіляти квоти на викиди парникових газів;
- ідентифікувати проекти, що дійсно сприяють декарбонізації, для надання пріоритетної фінансової підтримки;

мінімізувати ризики для українських експортерів, пов'язані з запровадженням механізму прикордонного вуглецевого коригування (СВАМ) в ЄС.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32003L0087>
2. World Steel Association. Climate change and the production of iron and steel. Policy paper. 2023. URL: <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Climate-policy-paper-2023.pdf>
3. EUROFER. Steel's Contribution to a Low-Carbon Economy: Roadmap 2050. URL: <https://www.eurofer.eu/issues/climate-and-energy/low-carbon-roadmap/>
4. ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers in the Iron and Steel Industry. U.S. Environmental Protection Agency. URL: https://www.energystar.gov/sites/default/files/tools/Iron_Steel_Guide.pdf
5. Keidanren's Carbon Neutrality Action Plan. Results of the Fiscal 2023 Follow-up. URL: <https://www.keidanren.or.jp/en/policy/vape.html>
6. Commission Implementing Regulation (EU) 2021/447 of 12 March 2021 determining revised benchmark values for free allocation of emission allowances for the period from 2021 to 2025. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2021/447/oj
7. Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 establishing a carbon border adjustment mechanism. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023R0956>
8. Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів: Закон України від 12.12.2019 № 377-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/377-20>
9. Про схвалення Оновленого національно визначеного внеску України до Паризької угоди: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.07.2021 № 868-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/868-2021-p>
10. ДСТУ ISO 14064-1:2015 Парникові гази. Частина 1. Вимоги та настанови щодо кількісного визначення та звітності про викиди та видалення парникових газів на рівні організації. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64120

References

1. European Parliament and the Council of the European Union. (2003). Directive 2003/87/EC establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32003L0087>
2. World Steel Association. (2023). Climate change and the production of iron and steel. Policy paper. <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Climate-policy-paper-2023.pdf>

3. EUROFER. (2019). Steel's Contribution to a Low-Carbon Economy: Roadmap 2050. <https://www.eurofer.eu/issues/climate-and-energy/low-carbon-roadmap/>
 4. U.S. Environmental Protection Agency. (2012). ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers in the Iron and Steel Industry. https://www.energystar.gov/sites/default/files/tools/Iron_Steel_Guide.pdf
 5. Keidanren. (2023). Keidanren's Carbon Neutrality Action Plan. Results of the Fiscal 2023 Follow-up. <https://www.keidanren.or.jp/en/policy/vape.html>
 6. European Commission. (2021). Commission Implementing Regulation (EU) 2021/447 determining revised benchmark values for free allocation of emission allowances for the period from 2021 to 2025. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2021/447/oj
 7. European Parliament and the Council of the European Union. (2023). Regulation (EU) 2023/956 establishing a carbon border adjustment mechanism. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023R0956>
 8. Verkhovna Rada of Ukraine. (2019). Zakon Ukrainy "Pro zasady monitorynhu, zvitnosti taveryfikatsii vykydiv parnykovykh haziv" [Law of Ukraine "On the principles of monitoring, reporting and verification of greenhouse gas emissions"]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/377-20>
 9. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2021). Pro skhvalennia Onovlenoho natsionalno vyznachenoho vnesku Ukrainy do Paryzkoi uhody [On approval of the Updated Nationally Determined Contribution of Ukraine to the Paris Agreement]. Order No. 868-r. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/868-2021-p>
- State Standard of Ukraine. (2015). DSTU ISO 14064-1:2015 Parnykovi hazy. Chastyna 1. Vymohy ta nastanovy shchodo kilkisnogo vyznachennia ta zvitnosti pro vykydy ta vydalennia parnykovykh haziv na rivni orhanizatsii [ISO 14064-1:2015 Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals]. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64120



This is an open access journal and all published articles are licensed under a Creative Commons «Attribution» 4.0.