

DOI: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-448-4-7>

ВЕКТОРИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ІННОВАЦІЙ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ

Згідно з даними Copernicus Climate Change Service, європейської служби, яка займається збором, аналізом і розповсюдженням даних про кліматичні зміни, 2024 рік з великою вірогідністю стане найспекотнішим за всю історію спостережень. Більше того, очікується, що 2024 рік стане першим, коли температура перевищить 1,5°C порівняно з доіндустріальним рівнем, що є ключовим порогом, визначеним Паризькою угодою [1]. Перевищення даного порогу тільки підкреслює необхідність термінових дій для боротьби зі зміною клімату та пом'якшення її наслідків.

Глобальні кліматичні виклики зумовлюють потребу в суттєвих реформах металургійної галузі. Декарбонізація стала однією з пріоритетних завдань для забезпечення сталого розвитку, а технологічні інновації стають головним стимулом у цьому процесі.

Згідно з даними світової асоціації виробників сталі WorldSteel виробництво сталі спричиняє від 7 до 9 відсотків глобальних викидів CO₂ [2]. За 2023 рік було вироблено близько 1 892,2 млн т сталі з середньою інтенсивністю викидів CO₂ в розмірі 1,92 т/т і середніми енергетичними витратами 21,27 ГДж/т (табл. 1)

Таблиця 1

Викиди CO₂ та енергоємність за 2023 відповідно до даних WorldSteel

Технологічний маршрут	Частка виробництва	Витрати енергії, ГДж/т	Емісія CO ₂ , т/т
Доменна піч – кисневий конвертер (BF-BOF)	71,6 %	24,20	2,32
Металобрухт – електродугова піч (scrap – EAF)	20,4 %	10,24	0,7
Залізо прямого відновлення – електродугова піч (DRI – EAF)	8,0 %	23,13	1,43

Джерело: [3]

Водночас, автори монографії «Сталь України: відновлення та інновації» наводять наступні енергетичні та екологічні параметри наявних технологічних маршрутів виплавки сталі (табл. 2).

Таблиця 2

Енергетичні та екологічні показники сталеплавильних технологій

Технологічний маршрут	Витрати енергії, кВт * год/т сталі	Емісія CO ₂ , т/т сталі
Доменна піч – мартен (рідкий чавун/скрап 65/35)	7000–7400	2,2–2,5
Доменна піч – конвертер (рідкий чавун/скрап 80/20)	5900–6200	1,622,0
Доменна піч – дугова піч (рідкий чавун/скрап 40/60)	2800–3100	1,1–1,3
Металізована сировина – дугова піч	3400–4000	0,8–1,0
Скрап – дугова піч	590–730*	0,25–0,45*
Скрап – індукційна піч	600–750*	0,10–0,30

* без урахування витрат при отриманні скрапу (у минулому)

Джерело: [4, с. 17]

Енергетичні та екологічні параметри варіюються через методологічні розбіжності в оцінці витрат та викидів. Водночас очевидно, що технологічний маршрут із використанням доменної печі, а саме мартенівське та конвертерне виробництво є неперспективним як з точки зору емісії CO₂, так і енерговитрат. Тому інвестиції у створення нових металургійних заводів та комбінатів, що базуються на таких технологіях, не є доцільними.

Водночас, проблема полягає в тому, що понад 70% сталі досі виробляється за технологічним маршрутом, що включає використання доменної печі. Цей метод є одним із найбільш неекологічних через використання коксівного вугілля як відновника у процесі виробництва. У середньостроковій перспективі можливим кроком для зменшення екологічного впливу такого виробництва є впровадження технологій уловлювання, використання та зберігання вуглекислого газу (CCUS – carbon capture, utilization, and storage). Однак розробка та впровадження технологій CCUS потребують значних капіталовкладень і є енергоємними процесами. Крім того, необхідно створити системи для транспортування та зберігання CO₂. Для успішного впровадження таких рішень потрібні значні інвестиції, розвинена інфраструктура та підтримка на рівні державної політики.

Очевидно, найбільш екологічним підходом є використання електродугових та індукційних печей із застосуванням металобрухту. Проте вирішальними факторами залишаються доступність металобрухту високої якості та наявність «зеленої» електроенергії. У довгостроковій

перспективі слід активно розвивати переробку металів для всебічного використання металобрухту як сировини. Важливо також співпрацювати з виробниками продукції, щоб забезпечити створення такого дизайну товарів, який дозволить легко розбирати вироби та відокремлювати не забруднені металеві частини для їх подальшої переробки.

Перспективним є використання технології Midrex для виробництва заліза прямого відновлення. Проте для цього необхідна залізородна сировина з високим вмістом заліза, яка представлена не у всіх регіонах світу. Використання «зеленого» водню замість природного газу у процесі Midrex може практично повністю усунути викиди CO₂, оскільки побічним продуктом є вода, а не вуглекислий газ. Прикладом є ініціатива HYBRIT, що об'єднує шведські компанії SSAB (виробник сталі), LKAB (гірничодобувна компанія) та Vattenfall (енергетична компанія). На пілотному заводі HYBRIT у місті Лулео, Швеція, вже вироблено понад 5 000 тонн заліза прямого відновлення із застосуванням «зеленого» водню, при цьому викиди не перевищували 0,05 тонни CO₂ на тунну сталі [5].

Водночас, виробництво «зеленого» водню поки що є дорогим через високу вартість відновлюваної електроенергії та технологій електролізу. Необхідне масштабування виробництва «зеленого» водню, а також створення інфраструктури для його зберігання та транспортування. «Зелена» сталь наразі дорожча за традиційну, що ускладнює її впровадження без державних субсидій або регуляторної підтримки.

Серед основних векторів розвитку декарбонізації металургійної індустрії також варто відзначити цифровізацію виробничих процесів, включаючи використання штучного інтелекту для оптимізації енерговитрат, моніторингу та зменшення викидів. Оскільки сучасні системи на основі штучного інтелекту дозволяють аналізувати великі обсяги даних у реальному часі, це допоможе оптимізувати і роботу обладнання. Такі технології вже успішно впроваджені на низці металургійних підприємств, таких як Voestalpine та Thyssenkrupp [6, 7].

Важливим кроком є розвиток енергоефективності через використання сучасного обладнання. Наприклад, інтеграція відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія, у виробничі процеси може забезпечити значне скорочення вуглецевого сліду.

Розвиток інновацій повинен базуватися на міжнародній співпраці, державній підтримці та активній участі приватного сектору. На рівні державної політики важливо забезпечити фінансування досліджень і розробок, запровадження податкових пільг для екологічно чистих виробництв, а також створення грантових програм для стимулювання використання «зеленої» енергії.

Список використаних джерел:

1. 2024 set to be the first year above 1.5C of global warming. Euronews. URL: <https://www.euronews.com/green/2024/11/07/scientists-say-2024-is-virtually-certain-to-be-the-hottest-since-records-began> (дата звернення: 15.12.2024).
2. World Steel in Figures 2024. Worldsteel association. URL: <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures-2024/> (дата звернення: 16.12.2024).
3. Sustainability Indicators 2024 report. Worldsteel Association. URL: <https://worldsteel.org/steel-topics/sustainability/sustainability-indicators-2024-report/> (дата звернення: 18.12.2024).
4. Сталь України: відновлення та інновації : монографія / О. Смірнов та ін. Київ: Науково-виробн. підприємство «Вид-во «Наук. думка» НАН України», 2023. 265 с.
5. HYBRIT: Six years of research paves the way for fossil-free iron and steel production on an industrial scale. SSAB. URL: <https://www.ssab.com/en/news/2024/08/hybrit-six-years-of-research-paves-the-way-for-fossilfree-iron-and-steel-production-on-an-industrial> (дата звернення: 18.12.2024).
6. Optimization of production processes through the use of artificial intelligence (AI) – employees as key players. Voestalpine. URL: <https://www.voestalpine.com/wiretechnology/en/company/news-events/artificial-intelligence-at-voestalpine-wire-technology/> (дата звернення: 18.12.2024).
7. Steel Sustainability Navigator – With data to more sustainability. Thyssenkrupp. URL: <https://www.thyssenkrupp.com/en/stories/digitalization/steel-sustainability-navigator-with-data-to-more-sustainability> (дата звернення: 18.12.2024).