

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВАДИМА ГЕТЬМАНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВАДИМА ГЕТЬМАНА

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ЛОГВИНЕНКО ЄВГЕНІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 339.9:[669:504.7]:005.21(100)

ДИСЕРТАЦІЯ
МОДЕРНІЗАЦІЯ СВІТОВОЇ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ІНДУСТРІЇ В УМОВАХ
ГЛОБАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

Спеціальність 292 – міжнародні економічні відносини

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Дисертація містить результати власних досліджень.

Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Логвиненко Є.О.

Науковий керівник: Черницька Тетяна Володимирівна, кандидат економічних наук,
доцент

КИЇВ 2026

АНОТАЦІЯ

Логвиненко Є. О. Модернізація світової металургійної індустрії в умовах глобальних кліматичних змін. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 292 – міжнародні економічні відносини. – Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана, Київ, 2026.

Дисертаційна робота присвячена комплексному дослідженню теоретико-методологічних та прикладних аспектів модернізації світової металургійної індустрії в умовах глобальних кліматичних змін. Особливу увагу приділено розкриттю теоретичних засад декарбонізації металургійного сектору на основі узагальнення концепцій сталого розвитку, екологічної модернізації, зеленої конкурентоспроможності, глобальних ланцюгів створення вартості та інноваційних екосистем. Визначено роль металургійної індустрії у процесах низьковуглецевої трансформації світової економіки, систематизовано сучасні методологічні підходи до оцінювання декарбонізації галузі та обґрунтовано концепцію декарбонізаційної стійкості як комплексної характеристики здатності металургійного сектору адаптуватися до посилення міжнародного кліматичного регулювання.

У дисертаційній роботі системно проаналізовано сучасні тенденції трансформації світової металургійної індустрії та узагальнено міжнародний досвід її низьковуглецевої модернізації. Проведено компаративний аналіз національних моделей декарбонізації металургійного комплексу провідних країн світу, здійснено систематизацію ключових детермінантів модернізації галузі та оцінено вплив кліматичних, енергетичних, зовнішньоекономічних, інституційних і фінансових чинників на її розвиток. Досліджено конкурентну диспозицію металургійного комплексу України в умовах війни та впровадження механізму транскордонного вуглецевого коригування (СВАМ), розроблено економіко-математичну модель оцінювання декарбонізаційної стійкості національних металургійних секторів на основі авторського інтегрального індексу та сценарного моделювання траєкторій розвитку галузі до 2034 року, а також визначено та обґрунтовано стратегічні

пріоритети формування зелених конкурентних переваг металургійної індустрії України.

Нові наукові положення, одержані особисто автором, які виносяться на захист, полягають у такому:

вперше:

– розроблено економіко-математичну модель оцінювання декарбонізаційної стійкості національних металургійних секторів на основі авторського інтегрального індексу та сценарного моделювання траєкторій розвитку галузі, побудованого шляхом поєднання виробничого (обсяг виробництва сталі), енергетичного (частка зеленої електроенергії у загальному енергобалансі), екологічного (питомі викиди CO₂ на тонну виробленої сталі), зовнішньоекономічного (обсяг експорту металопродукції), регуляторного (витрати на вуглецеве регулювання, зокрема СВМ та екологічний податок) і фінансово-інвестиційного (інвестиційне забезпечення декарбонізації) вимірів розвитку галузі. На відміну від існуючих моделей, які переважно орієнтовані на оцінювання окремих аспектів декарбонізації або технологічної модернізації, запропонована модель забезпечує системне оцінювання здатності металургійної індустрії адаптуватися до кліматичних обмежень, зберігати конкурентні позиції на міжнародних ринках, формувати передумови зеленої конкурентоспроможності та здійснювати сценарне прогнозування траєкторій її розвитку;

удосконалено:

– методологічні підходи до дослідження модернізації металургійної індустрії в умовах глобальних кліматичних змін як синергетичного поєднання механізмів її мережевізації, інноватизації, екологізації та міжнародної конкурентоспроможності. Теоретично обґрунтовано, що такий підхід детермінує екосистемну конфігурацію модернізаційних процесів у напрямку узгодженої взаємодії: технологічного оновлення виробничих потужностей, формування цілісного середовища взаємодії металургійних підприємств, постачальників сировини і енергії, науково-дослідних інститутів, інжинірингових компаній, державних інституцій, фінансових організацій, логістичних хабів і споживачів металопродукції з формуванням у світовій металургійній індустрії глобальних ланцюгів створення вартості;

– концептуальний підхід до формування зеленої конкурентоспроможності металургійного сектору, на основі інтеграції теорій міжнародної конкурентоспроможності, сталого розвитку, зеленої економіки, екологічної модернізації, гіпотези Портера, глобальних ланцюгів створення вартості та інноваційних екосистем. Доведено, що такий концептуальний підхід є основою формування якісно нової – екологічної – парадигми конкурентного розвитку металургійного сектору, базованої на структурному принципі дуалізму сталі, вуглецевій ефективності, циркулярності ресурсоспоживання, адаптації до механізмів кліматичного регулювання та здатності генерувати додану вартість відповідно до принципів сталого розвитку;

– методичний підхід до оцінювання вбудованих викидів вуглецю у глобальних ланцюгах створення вартості металургійної продукції на основі індексу вбудованих викидів, який розраховано на основі баз даних ОЕСР як добуток вуглецевої інтенсивності сектору базових металів (визначеної як відношення сукупних викидів парникових газів за Score 1, Score 2 та Score 3U до створеної сектором доданої вартості) на частку його втіленої доданої вартості у кінцевому продукті. На цій основі здійснено кластеризацію країн за моделями формування вуглецевого навантаження у міжнародній торгівлі металопродукцією та оцінено вплив механізмів трансферу викидів у глобальних виробничих мережах. За результатами дослідження було виявлено чотири базових кластери: кластер 0 – країни з надвисокими внутрішніми потоками сектору «вироби з металу» (Україна, рф, Індія, КНР); кластер 1 – країни з низькоінтенсивними міжкраїновими потоками доданої вартості (США, Японія); кластер 2 – країни з середньоінтенсивними промисловими ланцюгами (КНР, Японія, Південна Корея); кластер 3 – країни з високоінтенсивними внутрішніми промислово-будівельними потоками (КНР, рф, Індія). Доведено, що досягнення цілей сталого розвитку передбачає масштабування механізму транскордонного вуглецевого оподаткування на глобальний рівень;

набуло подальшого розвитку:

– понятійний апарат дослідження модернізації металургійного сектору на основі обґрунтування розгорнутого авторського визначення неологічної категорії

«декарбонізаційна стійкість металургійної індустрії», зміст якої полягає у її здатності забезпечувати безперервність, конкурентоспроможність, екологізацію та стратегічну адаптивність свого розвитку до умов посилення глобальних кліматичних обмежень, низьковуглецевого переходу та впровадження міжнародних екологічних вимог і стандартів у виробництво металопродукції. Констатовано, що таке визначення найбільш адекватно відображає спроможність металургійних підприємств перебудовувати чинні виробничі й операційні процеси на засадах зеленої економіки, енергетичної безпеки, ресурсоефективності та кліматичної нейтральності;

– систематизація національних моделей низьковуглецевої трансформації металургійного комплексу за авторськими критеріями щодо характеру державного регулювання декарбонізації, механізмів фінансування низьковуглецевої трансформації, ролі інновацій у технологічному розвитку, ступеня залучення корпоративного сектору, інтегрованості у міжнародні кліматичні та виробничі мережі, а також глибини структурних змін виробництва, з виокремленням: регуляторно-інноваційної, інвестиційно-стимулюючої, державно-планової, корпоративно-інноваційної та наздоганяючої. Доведено, що в умовах глобальних кліматичних змін найбільш ефективною з позицій забезпечення довгострокової зеленої конкурентоспроможності є регуляторно-інноваційна модель модернізації металургійної індустрії завдяки поєднанню інструментів кліматичного регулювання, стимулювання технологічних інновацій, розвитку низьковуглецевих виробничих технологій, залучення інвестицій у декарбонізацію та інтеграції виробників у зелені глобальні ланцюги створення вартості;

– систематизація детермінантів модернізації металургійної індустрії на основі виокремлення таких груп факторів: виробничо-технологічні (перехід від доменного до електросталеплавильного виробництва; воднева металургія; використання технологій уловлення, зберігання та використання вуглецю; підвищення ефективності використання ресурсів), енергетичні (доступність електроенергії з відновлюваних джерел енергії та зеленого водню), емісійно-кліматичні (формування вбудованих викидів вуглецю), зовнішньоекономічні (глобальний попит, структура експорту, географія ринків збуту, участь у глобальних ланцюгах вартості), регуляторно-

інституційні (екологічні податки, СВАМ, торгівля викидами, промислова та кліматична політики) та фінансово-інвестиційні (доступ до капіталу, вартість модернізації, інвестиційні та ресурсні обмеження). Доведено, що їх комплексна дія надає трансформаційним процесам системного і довгострокового характеру, інноваційної спрямованості, технологічної складності та глобальної інтегрованості, що надає можливості формування зеленої конкурентоспроможності металургійної галузі в умовах глобального низьковуглецевого переходу;

– сценарне обґрунтування траєкторій розвитку металургійного сектору України на період до 2034 року на основі виокремлення: інерційного (збереження традиційних доменно-конвертерного та мартенівського виробництв без модернізації та інвестицій у низьковуглецеві процеси; відсутність верифікації викидів та суттєва вразливість перед СВАМ, що призводить до втрати експортного ринку ЄС; низький внутрішній попит і зниження рівня виробництва; обмежений масштаб розвитку «зеленої» енергетики), адаптаційного (поступове пристосування до кліматичних вимог, але без радикальної зміни технологічних маршрутів; часткова верифікація викидів, що дозволяє зменшити фінансове навантаження від СВАМ і частково відновити експорт в ЄС; обмежене фінансування та впровадження технологій DRI-EAF; помірне нарощування частки ВДЕ, що стабілізує галузь, але не забезпечує глибокої декарбонізації), трансформаційного (глибока структурна модернізація технологічних маршрутів, що супроводжується запровадженням системи торгівлі викидами та доступом до декарбонізаційних фондів ЄС; тимчасове звільнення України з-під дії СВАМ до 2029 року; суттєве збільшення частки ВДЕ в енергобалансі країни) та воєнно-відновлювального сценаріїв (фокус не на розширенні експорту, а на задоволенні масштабного внутрішнього попиту для післявоєнної відбудови; збереження традиційного конвертерного виробництва, виведення з експлуатації мартенівських печей; запровадження системи торгівлі викидами, що забезпечує фінансування розбудови гнучких електросталеплавильних міні-заводів; тиск СВАМ на експорт зберігається, проте підприємства верифікують викиди до 2028 року, а втрати на зовнішніх ринках компенсуються потужним внутрішнім попитом та збільшенням частки ВДЕ в енергобалансі країни), що дозволило оцінити вплив

кліматичних обмежень, механізму СВМ, енергетичних факторів, інвестиційної спроможності та зовнішньоекономічної орієнтації галузі на перспективи формування її зеленої конкурентоспроможності. Обґрунтовано, що найбільш ефективним у контексті євроінтеграційного розвитку металургійної індустрії України є трансформаційний сценарій, який здатний забезпечити комплексну технологічну модернізацію виробництва на основі низьковуглецевих технологій, інтеграцію галузі до європейського кліматичного та регуляторного простору, підвищення рівня декарбонізаційної стійкості та формування довгострокових конкурентних переваг української металопродукції на світових ринках.

– обґрунтування стратегічних пріоритетів низьковуглецевої трансформації металургійного сектору України, що ґрунтується на результатах сценарного моделювання та авторській систематизації детермінантів модернізації металургійної індустрії. На відміну від існуючих підходів, орієнтованих на окремі технологічні або регуляторні рішення, запропонований підхід передбачає структурування стратегічних пріоритетів за виробничо-технологічним, енергетичним, емісійно-кліматичним, зовнішньоекономічним, регуляторно-інституційним і фінансово-інвестиційним напрямками, що забезпечує їх узгодженість із завданням формування зеленої конкурентоспроможності металургійної індустрії України.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання запропонованих підходів та моделей у процесі формування державної промислової, кліматичної та зовнішньоекономічної політики, розроблення стратегій модернізації металургійної індустрії України, а також при оцінюванні впливу міжнародного кліматичного регулювання на функціонування вітчизняних металургійних підприємств.

Наукові напрацювання, висновки і практичні рекомендації дисертанта були впроваджені та використовуються: ТОВ «Ферокс Груп» (довідка про впровадження №35 від 07.04.2026 р.); Keramet Hungary Kft. (довідка про впровадження №012/2026 від 11.05.2026 р.); а також Київським національним економічним університетом імені Вадима Гетьмана при викладанні навчальних дисциплін «Міжнародна безпека», «Міжнародна економіка», «Управління міжнародною конкурентоспроможністю»,

«Управління діловою досконалістю», «Європейська інтеграція» (довідка про впровадження від 25.05.2026 р.).

Ключові слова: глобальна екологічна проблема, глобальні кліматичні зміни, світова металургійна індустрія, модернізація, сталий розвиток, екологічна стійкість, декарбонізація, енергетична ефективність, корпоративна соціальна відповідальність, зелені трансформації, Європейський зелений курс, зелена економіка, енергетичний перехід, діджиталізація, відновлення навколишнього середовища.

ABSTRACT

Lohvynenko Y. O. Modernization of the World Metallurgical Industry in the Context of Global Climate Change. – Qualification scientific work in the form of a manuscript.

The dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 292 – International Economic Relations – Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman, Kyiv, 2026.

The dissertation is devoted to a comprehensive study of the theoretical-methodological and applied aspects of the modernization of the global metallurgical industry under conditions of global climate change. Particular attention is paid to revealing the theoretical foundations of the decarbonization of the metallurgical sector based on the generalization of the concepts of sustainable development, ecological modernization, green competitiveness, global value chains, and innovation ecosystems. The role of the metallurgical industry in the processes of the low-carbon transformation of the world economy is determined, modern methodological approaches to assessing the decarbonization of the industry are systematized, and the concept of decarbonization resilience is substantiated as a comprehensive characteristic of the metallurgical sector's ability to adapt to the strengthening of international climate regulation.

The dissertation systematically analyzes current trends in the transformation of the global metallurgical industry and generalizes international experience in its low-carbon modernization. A comparative analysis of national models of decarbonization of the

metallurgical complex of the world's leading countries is conducted, the key determinants of industry modernization are systematized, and the influence of climate, energy, foreign economic, institutional, and financial factors on its development is assessed. The competitive disposition of Ukraine's metallurgical complex under conditions of war and the implementation of the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) is investigated; an economic and mathematical model for assessing the decarbonization resilience of national metallurgical sectors is developed on the basis of the author's integral index and scenario modeling of the trajectories of industry development up to 2034; and strategic priorities for forming green competitive advantages of Ukraine's metallurgical industry are identified and substantiated.

The new scientific provisions personally obtained by the author and submitted for defense are as follows:

for the first time:

- an economic and mathematical model for assessing the decarbonization resilience of national metallurgical sectors has been developed on the basis of the author's integral index and scenario modeling of industry development trajectories, constructed by combining the production dimension (steel production volume), energy dimension (the share of green electricity in the total energy balance), environmental dimension (specific CO₂ emissions per tonne of steel produced), foreign economic dimension (export volume of metal products), regulatory dimension (costs of carbon regulation, in particular CBAM and the environmental tax), and financial-investment dimension (investment support for decarbonization) of industry development. Unlike existing models, which are predominantly focused on assessing individual aspects of decarbonization or technological modernization, the proposed model provides a systemic assessment of the metallurgical industry's ability to adapt to climate constraints, maintain competitive positions in international markets, form the prerequisites for green competitiveness, and conduct scenario forecasting of its development trajectories;

improved:

- methodological approaches to studying the modernization of the metallurgical industry under conditions of global climate change as a synergistic combination of

mechanisms of its networkization, innovatization, greening, and international competitiveness. It is theoretically substantiated that such an approach determines the ecosystem configuration of modernization processes toward the coordinated interaction of: technological renewal of production capacities; formation of an integrated environment for interaction among metallurgical enterprises, suppliers of raw materials and energy, research institutes, engineering companies, state institutions, financial organizations, logistics hubs, and consumers of metal products; and the formation of global value chains in the global metallurgical industry;

- a conceptual approach to forming the green competitiveness of the metallurgical sector, based on the integration of theories of international competitiveness, sustainable development, green economy, ecological modernization, the Porter hypothesis, global value chains, and innovation ecosystems. It is proved that such a conceptual approach is the basis for the formation of a qualitatively new — ecological — paradigm of the competitive development of the metallurgical sector, based on the structural principle of the dualism of steel, carbon efficiency, circularity of resource consumption, adaptation to climate regulation mechanisms, and the ability to generate added value in accordance with the principles of sustainable development;

- a methodological approach to assessing embedded carbon emissions in global value chains of metallurgical products on the basis of the embedded emissions index, calculated using OECD databases as the product of the carbon intensity of the basic metals sector, defined as the ratio of total greenhouse gas emissions under Scope 1, Scope 2, and Scope 3U to the added value created by the sector, and the share of its embodied added value in the final product. On this basis, countries are clustered according to models of carbon burden formation in international trade in metal products, and the impact of emission transfer mechanisms in global production networks is assessed. The study identified four basic clusters: cluster 0 — countries with extremely high domestic flows of the “fabricated metal products” sector (Ukraine, the Russian Federation, India, and the PRC); cluster 1 — countries with low-intensity intercountry flows of added value (the United States and Japan); cluster 2 — countries with medium-intensity industrial chains (the PRC, Japan, and South Korea); cluster 3 — countries with high-intensity domestic industrial-construction flows (the PRC,

the Russian Federation, and India). It is proved that achieving the Sustainable Development Goals requires scaling the mechanism of cross-border carbon taxation to the global level;

further developed:

- the conceptual apparatus of the study of the modernization of the metallurgical sector through the substantiation of an expanded authorial definition of the neological category “decarbonization resilience of the metallurgical industry,” the essence of which lies in its ability to ensure the continuity, competitiveness, greening, and strategic adaptability of its development to the conditions of strengthening global climate restrictions, the low-carbon transition, and the implementation of international environmental requirements and standards in the production of metal products. It is stated that this definition most adequately reflects the capacity of metallurgical enterprises to restructure existing production and operational processes on the principles of the green economy, energy security, resource efficiency, and climate neutrality;

- the systematization of national models of low-carbon transformation of the metallurgical complex according to the author’s criteria regarding the nature of state regulation of decarbonization, mechanisms for financing low-carbon transformation, the role of innovation in technological development, the degree of involvement of the corporate sector, integration into international climate and production networks, and the depth of structural changes in production, with the identification of regulatory-innovation, investment-stimulating, state-planning, corporate-innovation, and catching-up models. It is proved that under conditions of global climate change, the regulatory-innovation model of modernization of the metallurgical industry is the most effective from the standpoint of ensuring long-term green competitiveness due to the combination of climate regulation instruments, stimulation of technological innovation, development of low-carbon production technologies, attraction of investments in decarbonization, and integration of producers into green global value chains;

- the systematization of the determinants of modernization of the metallurgical industry on the basis of distinguishing the following factors: production-technological factors (transition from blast-furnace production to electric steelmaking; hydrogen metallurgy; use of carbon capture, storage, and utilization technologies; increasing the

efficiency of resource use), energy factors (availability of electricity from renewable energy sources and green hydrogen), emission-climate factors (formation of embedded carbon emissions), foreign economic factors (global demand, export structure, geography of sales markets, participation in global value chains), regulatory-institutional factors (environmental taxes, CBAM, emissions trading, industrial and climate policies), and financial-investment factors (access to capital, cost of modernization, investment and resource constraints). It is proved that their combined effect gives transformation processes a systemic and long-term character, innovation orientation, technological complexity, and global integration, which creates opportunities for forming the green competitiveness of the metallurgical industry under conditions of the global low-carbon transition;

- the scenario substantiation of the development trajectories of Ukraine's metallurgical sector for the period up to 2034 based on the identification of: the inertial scenario (preservation of traditional blast-furnace/basic oxygen furnace and open-hearth production without modernization and investment in low-carbon processes; absence of emissions verification and significant vulnerability to CBAM, leading to the loss of the EU export market; low domestic demand and a decline in production levels; limited scale of green energy development), the adaptive scenario (gradual adaptation to climate requirements, but without radical changes in technological routes; partial emissions verification, which allows reducing the financial burden from CBAM and partially restoring exports to the EU; limited financing and implementation of DRI-EAF technologies; moderate increase in the share of renewable energy sources, which stabilizes the industry but does not ensure deep decarbonization), the transformational scenario (deep structural modernization of technological routes, accompanied by the introduction of an emissions trading system and access to EU decarbonization funds; temporary exemption of Ukraine from CBAM until 2029; significant increase in the share of renewable energy sources in the country's energy balance), and the war-recovery scenario (focus not on expanding exports, but on satisfying large-scale domestic demand for post-war reconstruction; preservation of traditional basic oxygen furnace production and decommissioning of open-hearth furnaces; introduction of an emissions trading system, which provides financing for the development of flexible electric steelmaking mini-mills; CBAM pressure on exports remains, but

enterprises verify emissions by 2028, while losses in external markets are compensated by strong domestic demand and an increase in the share of renewable energy sources in the country's energy balance). This made it possible to assess the impact of climate constraints, the CBAM mechanism, energy factors, investment capacity, and the foreign economic orientation of the industry on the prospects for forming its green competitiveness. It is substantiated that, in the context of the European integration development of Ukraine's metallurgical industry, the transformational scenario is the most effective, as it is capable of ensuring comprehensive technological modernization of production based on low-carbon technologies, integration of the industry into the European climate and regulatory space, an increase in the level of decarbonization resilience, and the formation of long-term competitive advantages of Ukrainian metal products in global markets;

– the substantiation of strategic priorities for the low-carbon transformation of Ukraine's metallurgical sector, based on the results of scenario modeling and the author's systematization of the determinants of modernization of the metallurgical industry. Unlike existing approaches focused on individual technological or regulatory solutions, the proposed approach provides for the structuring of strategic priorities according to production-technological, energy, emission-climate, foreign economic, regulatory-institutional, and financial-investment directions, which ensures their coherence with the task of forming the green competitiveness of Ukraine's metallurgical industry.

The practical significance of the obtained results lies in the possibility of using the proposed approaches and models in the process of forming state industrial, climate, and foreign economic policy, developing modernization strategies for Ukraine's metallurgical industry, as well as assessing the impact of international climate regulation on the functioning of domestic metallurgical enterprises.

The scientific developments, conclusions, and practical recommendations of the dissertation author have been implemented and are used by: Ferox Group LLC (implementation certificate No. 35 dated April 7, 2026); Keramet Hungary Kft. (implementation certificate No. 012/2026 dated May 11, 2026); as well as Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman in the teaching of the academic disciplines «International Security», «International Economy», «Management of

International Competitiveness», «Business Excellence Management», and «European Integration» (implementation certificate dated May 25, 2026).

Keywords: global environmental problem, global climate change, global metallurgical industry, modernization, sustainable development, environmental sustainability, decarbonization, energy efficiency, corporate social responsibility, green transformations, European Green Deal, green economy, energy transition, digitalization, environmental recovery.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У зарубіжному періодичному науковому виданні:

1. Lohvynenko Y. «Green» restoration of the steel industry of Ukraine. *SWorldJournal*. 2025. № 29-02. С. 60–68. URL: <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2025-29-02-015> (дата звернення: 01.06.2026) (0,5 д.а.).

У наукових фахових виданнях України

2. Логвиненко Є. Заходи торговельного захисту товаровиробників металургійної індустрії в умовах екологічних викликів. *Збірник наукових праць "Вчені записки"*. 2023. № 33(4). С. 79-89. http://doi.org/10.33111/vz_kneu.33.23.04.06.040.046 (дата звернення: 01.06.2026) (0,6 д.а.).

3. Логвиненко Є., Черницька Т. Мережевізація товаровиробників сталеливарної промисловості в контексті глобальних кліматичних змін. *Економіка та суспільство*. 2024. № 63. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-128> (дата звернення: 01.06.2026) (0,9 д.а.) (особисто автору належить 0,6 д.а.: дослідження ключових профільних організацій товаровиробників сталеливарної промисловості та їх класифікація).

4. Логвиненко Є. Вплив лібералізації зовнішньої торгівлі на експорт металопродукції з України. *Економічний аналіз*. 2024. № 34(3). С. 484–496. URL: <https://doi.org/10.35774/econa2024.03.484> (дата звернення: 01.06.2026) (0,8 д.а.).

5. Логвиненко Є. Металургія як джерело вуглецевих екстерналій у глобальних ланцюгах вартості. *Актуальні проблеми сталого розвитку*. 2026. Т. 3, № 4. С. 274–280. URL: [https://doi.org/10.60022/3\(4\)-33s](https://doi.org/10.60022/3(4)-33s) (дата звернення: 01.06.2026) (0,6 д.а.).

Публікації апробаційного характеру:

6. Логвиненко Є. Екологічний та євроінтеграційний аспекти виробництва сталі в Україні в умовах війни. *«Наукова весна» 2023: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених* (м. Дніпро, 1-3 березня 2023 р.). Дніпро: НТУ «ДП», 2023. С. 108-111 (0,3 д.а.).

7. Логвиненко Є. Перспективи екологізації вітчизняної металургійної індустрії. *Міжнародний вимір відновлення економіки України: Зб. матеріалів студентської наук.-практ. Інтернет-конф.* (м. Київ, 23 листопада 2023 р.). Київ: КНЕУ, 2023. С. 109-113 (0,2 д.а.).

8. Логвиненко Є. СВAM та виробництво сталі в Україні. *«Економічний та соціальний вплив конфліктів на сучасний світ»: книга абстрактів міжнародної наукової конференції* (м. Седльце, 23 травня 2024 р.). Седльце: Академія Прикладних Наук Мазовія, 2024. С. 157-159 (0,1 д.а.).

9. Логвиненко Є. Вектори розвитку технологічних інновацій декарбонізації металургійної галузі. *Зелена економіка та низьковуглецевий розвиток: дорожня карта для України: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф.* (м. Київ, 19 груд. 2024 р.). Львів-Торунь: Liha-Pres, 2024. С. 27-30 (0,2 д.а.).

10. Логвиненко Є. Перспективи співробітництва виробників сталі в контексті декарбонізації. *«Global trends in the development of educational systems»: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Берген, 21-24 січня 2025 р.). Берген: International Science Group, 2025. С. 35-37 (0,1 д.а.).

11. Логвиненко Є. Інвентаризація парникових газів виробництва сталі у контексті декарбонізації. *«Innovative scientific research: latest theories, modern methods and practices»: матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Севілья, 20-23 травня 2025 р.). Севілья: International Science Group, 2025. С. 144-147 (0,2 д.а.).

ЗМІСТ

ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ІНДУСТРІЇ В УМОВАХ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ГЛОБАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ.....	28
1.1. Теоретичні основи кліматичних змін світової економіки та декарбонізації металургійної індустрії.....	28
1.2. Концептуальні моделі екологічної модернізації металургійної індустрії	51
1.3. Методологічні підходи до оцінки декарбонізації світового металургійного сектору	74
Висновки до розділу 1	94
РОЗДІЛ 2. ГЛОБАЛЬНІ ДЕТЕРМІНАНТИ МОДЕРНІЗАЦІЇ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ІНДУСТРІЇ В УМОВАХ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОГО ПЕРЕХОДУ	97
2.1. Сучасні тренди трансформації глобального металургійного сектору	97
2.2. Варіативність національних моделей низьковуглецевої трансформації металургійного комплексу.....	117
2.3. Ключові детермінанти модернізації металургійної індустрії.....	131
Висновки до розділу 2.....	150
РОЗДІЛ 3. СТРАТЕГІЧНІ ПРІОРИТЕТИ ФОРМУВАННЯ ЗЕЛЕНИХ КОНКУРЕНТНИХ ПЕРЕВАГ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ІНДУСТРІЇ УКРАЇНИ.....	153
3.1. Конкурентна диспозиція металургійного комплексу України.....	153
3.2. Моделювання сценаріїв розвитку металургійного сектору України з урахуванням кліматичних обмежень.....	181
3.3. Стратегічні напрями модернізації металургійної індустрії України	203
Висновки до розділу 3.....	213
ВИСНОВКИ.....	216
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	224
ДОДАТКИ	244

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Протягом останніх років глобальні кліматичні зміни стали одним із визначальних чинників трансформації світової економіки. Посилення кліматичного регулювання, зростання ролі негативних вуглецевих екстерналій у ланцюгах створення вартості, інтерналізація екологічних витрат змінюють не лише методи ведення господарської діяльності, а й саму логіку міжнародної конкурентоспроможності. Особливого значення ці процеси набувають для металургійної індустрії, що належить до найбільш енергоінтенсивних та вуглецемістких галузей світової промисловості, і в той же час залишається базовим сектором для здійснення низьковуглецевого переходу.

Ключова наукова і практична проблема полягає в необхідності забезпечення екологізації металургійного виробництва без втрати його економічної ефективності та конкурентоспроможності. Ця проблема додатково загострюється через нерівномірність технологічних, фінансових та інституційних можливостей країн світу у формуванні і виконанні своїх кліматичних зобов'язань.

Для України зазначена проблематика має особливу роль. Попри руйнівний вплив повномасштабної збройної агресії російської федерації, металургійний комплекс України продовжує виконувати важливу структурну функцію в національній економіці, забезпечуючи внесок у промислове виробництво, зайнятість, експортні та валютні надходження, формування доходів державного й місцевих бюджетів. Водночас українська металургійна індустрія стикається з комплексом супутніх критичних викликів: високою енергоінтенсивністю та вуглецемісткістю виробництва, застарілою технологічною структурою, дефіцитом та здорожчанням електроенергії, фізичним зношенням основних фондів, обмеженістю інвестиційних ресурсів, посилення кліматично-торговельного регулювання ЄС. В умовах зазначених безпрецедентних викликів концепція зеленої конкурентоспроможності набуває для металургійної індустрії України критично важливого стратегічного значення,

оскільки визначає можливості як збереження виробничого потенціалу, так і формування нових конкурентних переваг на міжнародних ринках.

Найбільш повно теоретичні основи сталого розвитку, зеленої економіки, низьковуглецевого розвитку, промислової декарбонізації, екологічної модернізації, циркулярної економіки, енергетичного переходу, інтерналізації вуглецевих екстерналій, кліматично-торговельного регулювання, трансформації глобальних ланцюгів створення вартості та формування зеленої конкурентоспроможності розкрито у працях таких вітчизняних і зарубіжних учених, як: Й. Губер, А. Мол, Г. Спааргарен, М. Портер, К. ван дер Лінде, Ф. Гілз, Й. Схот, Я. Столярчук, Дж. Мур, Р. Еднер, Р. Капур, Д. Ільницький, А. Пігу, Р. Коуз, В. Нордгаус, О. Лютак, О. Смірнов, А. Нарівський, Т. Черницька, С. Тімошенко, Г. Гереффі, Дж. Гамфрі, Т. Стерджен, Н. Стежко, Л. Саркісян, А. Джаффе, К. Палмер, Л. Мельник, О. Веклич, Т. Галушкіна, Є. Хлобистов, Д. Родрік, Т. Альтенбург, Д. Кулен, С. Семірягін, В. Осипенко, Ю. Скоробагатько, Д. Пірс, Е. Барб'є, М. Джейкобс, А. Маркандія, А. Боуен, Т. Стернер та багато інших.

Разом з тим, незважаючи на фундаментальність їхніх наукових праць і глибину опрацювання окремих аспектів, низка питань залишається недостатньо розкритою. Насамперед, поглибленого теоретичного переосмислення потребує проблема забезпечення декарбонізаційної стійкості вітчизняної металургії в умовах кліматичної трансформації світової економіки. Комплексної систематизації вимагають сучасні детермінанти модернізації галузі, синергетична дія яких визначає здатність підприємств адаптуватися до нових умов. Особливої актуальності набуває обґрунтування стратегічних пріоритетів трансформації металургійної індустрії України для формування її зеленої конкурентоспроможності та інтеграції в низьковуглецеві глобальні ланцюги створення вартості. У межах даного дослідження під металургійною індустрією розуміється насамперед сектор виробництва сталі та продукції чорної металургії, який формує основний обсяг викидів CO₂ галузі та визначає її міжнародну конкурентоспроможність. Зазначені невирішені науково-практичні проблеми об'єктивно зумовлюють актуальність обраної теми дисертації, її мету та завдання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано згідно з планом науково-дослідних робіт Київського національного економічного університету імені Вадима Гетьмана у рамках міжкафедральних науково-дослідних тем факультету міжнародної економіки і менеджменту «Стратегії національного розвитку в парадигмі глобальної економічної політики» (номер державної реєстрації 0111U007630) та «Глобальний економічний розвиток в умовах формування цифрового суспільства» (номер державної реєстрації 0121U114086). У їх межах автором особисто підготовлено розділи «Заходи торговельного захисту товаровиробників металургійної індустрії в умовах екологічних викликів», «Металургія як джерело вуглецевих екстерналій у глобальних ланцюгах вартості» та «Мережевізація товаровиробників сталеливарної промисловості в контексті глобальних кліматичних змін».

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розкриття теоретико-методологічних засад модернізації світової металургійної індустрії в умовах глобальних кліматичних змін, комплексна характеристика детермінантів її сучасної трансформації та обґрунтування стратегічних пріоритетів розвитку металургійної індустрії України на зелених засадах.

Виходячи з мети дослідження, у роботі поставлено та вирішено такі конкретні завдання:

- дослідити теоретичні засади кліматичних змін світової економіки та декарбонізації металургійної індустрії;
- охарактеризувати концептуальні моделі екологічної модернізації металургійної індустрії;
- проаналізувати методологічні підходи до оцінки декарбонізації світового металургійного сектору;
- визначити сучасні тренди трансформації глобального металургійного сектору;
- здійснити компаративний аналіз національних моделей модернізації металургійної індустрії;
- проаналізувати ключові детермінанти модернізації металургійної індустрії;
- оцінити конкурентну диспозицію металургійного комплексу України;

- здійснити моделювання сценаріїв розвитку металургійної індустрії України з урахуванням кліматичних обмежень;
- обґрунтувати стратегічні напрями модернізації металургійної індустрії України.

Об'єктом дослідження є процеси екологізації глобального промислового комплексу.

Предметом дослідження є детермінанти та механізми модернізації світової металургійної індустрії в умовах глобальних кліматичних змін.

Методи дослідження. Дисертаційна робота ґрунтується на використанні принципу єдності теорії і практики, прогнозуванні розвитку металургійної індустрії за допомогою інструментів сценарного та економіко-математичного моделювання. Для досягнення мети і розв'язання завдань дисертаційної роботи були використані наступні методи наукового дослідження модернізації світової металургійної індустрії в умовах глобальних кліматичних змін: історико-логічний метод (при дослідженні еволюції концепцій сталого розвитку та етапів розвитку металургії України: пп. 1.1 та 2.2); діалектичний метод (при розкритті суперечностей між кліматичними обмеженнями та промисловим розвитком, а також дослідженні структурного дуалізму сталі: пп. 1.1, 1.2, 1.3); методи аналізу і синтезу (при систематизації теоретичних концепцій, регуляторних механізмів та формуванні стратегічних пріоритетів: пп. 1.2, 1.3, 3.3); метод кількісного та якісного порівнянь (при компаративному аналізі моделей модернізації індустрії у провідних країнах: п. 2.2); економіко-статистичний метод (при аналізі динаміки виробництва, торгівлі та ресурсного забезпечення галузі: пп. 2.1, 2.2, 3.1); індексний та кластерний методи (при розробці й розрахунку індексу вбудованих викидів та кластеризації: пп. 1.3, 2.3); метод кореляційно-регресійного аналізу (при оцінці взаємозв'язку між антропогенними викидами парникових газів та зростанням температури, а також при оцінці впливу факторів на виплавку сталі в Україні: пп. 1.1, 2.2); розрахунково-аналітичний метод (при оцінюванні фінансових платежів СВМ для української металопродукції: п. 3.1); методи економіко-математичного та сценарного моделювання (при розробленні індексу

декарбонізаційної стійкості та моделюванні сценаріїв розвитку металургійної індустрії: п. 3.2).

Інформаційною та статистичною базами роботи є монографічні дослідження, наукові статті та аналітичні праці вітчизняних і зарубіжних учених з проблематики декарбонізації промисловості, модернізації металургійної індустрії, сталого розвитку, кліматичного регулювання, міжнародної конкурентоспроможності та глобальних ланцюгів створення вартості; матеріали та статистичні бази міжнародних організацій і галузевих інституцій; нормативно-правові акти Європейського Союзу у сфері кліматичної політики, статистичні дані щодо виробництва, експорту, викидів парникових газів, створеної та втіленої доданої вартості, енергетичних параметрів і зовнішньоекономічної діяльності металургійної індустрії; матеріали міжнародних баз даних, галузевих звітів, аналітичних центрів та офіційної звітності підприємств металургійної індустрії.

Наукова новизна одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в розробленні автором нового теоретико-методологічного підходу до дослідження процесів модернізації світової металургійної індустрії через призму глобальних кліматичних змін, розкритті сучасних детермінантів низьковуглецевої трансформації даного сектору, а також обґрунтуванні стратегічних пріоритетів формування зелених конкурентних переваг металургійного комплексу України.

Нові наукові положення, одержані особисто автором, які виносяться на захист, полягають у такому:

вперше:

– розроблено економіко-математичну модель оцінювання декарбонізаційної стійкості національних металургійних секторів на основі авторського інтегрального індексу та сценарного моделювання траєкторій розвитку галузі, побудованого шляхом поєднання виробничого (обсяг виробництва сталі), енергетичного (частка зеленої електроенергії у загальному енергобалансі), екологічного (питомі викиди CO₂ на тонну виробленої сталі), зовнішньоекономічного (обсяг експорту металопродукції), регуляторного (витрати на вуглецеве регулювання, зокрема СВМ та екологічний податок) і фінансово-інвестиційного (інвестиційне забезпечення декарбонізації)

вимірів розвитку галузі. На відміну від існуючих моделей, які переважно орієнтовані на оцінювання окремих аспектів декарбонізації або технологічної модернізації, запропонована модель забезпечує системне оцінювання здатності металургійної індустрії адаптуватися до кліматичних обмежень, зберігати конкурентні позиції на міжнародних ринках, формувати передумови зеленої конкурентоспроможності та здійснювати сценарне прогнозування траєкторій її розвитку;

удосконалено:

– методологічні підходи до дослідження модернізації металургійної індустрії в умовах глобальних кліматичних змін як синергетичного поєднання механізмів її мережевізації, інноватизації, екологізації та міжнародної конкурентоспроможності. Теоретично обґрунтовано, що такий підхід детермінує екосистемну конфігурацію модернізаційних процесів у напрямку узгодженої взаємодії: технологічного оновлення виробничих потужностей, формування цілісного середовища взаємодії металургійних підприємств, постачальників сировини і енергії, науково-дослідних інститутів, інжинірингових компаній, державних інституцій, фінансових організацій, логістичних хабів і споживачів металопродукції з формуванням у світовій металургійній індустрії глобальних ланцюгів створення вартості;

– концептуальний підхід до формування зеленої конкурентоспроможності металургійного сектору, на основі інтеграції теорій міжнародної конкурентоспроможності, сталого розвитку, зеленої економіки, екологічної модернізації, гіпотези Портера, глобальних ланцюгів створення вартості та інноваційних екосистем. Доведено, що такий концептуальний підхід є основою формування якісно нової – екологічної – парадигми конкурентного розвитку металургійного сектору, базованої на структурному принципі дуалізму сталі, вуглецевій ефективності, циркулярності ресурсоспоживання, адаптації до механізмів кліматичного регулювання та здатності генерувати додану вартість відповідно до принципів сталого розвитку;

– методичний підхід до оцінювання вбудованих викидів вуглецю у глобальних ланцюгах створення вартості металургійної продукції на основі індексу вбудованих викидів, який розраховано на основі баз даних ОЕСР як добуток вуглецевої

інтенсивності сектору базових металів (визначеної як відношення сукупних викидів парникових газів за Scope 1, Scope 2 та Scope 3U до створеної сектором доданої вартості) на частку його втіленої доданої вартості у кінцевому продукті. На цій основі здійснено кластеризацію країн за моделями формування вуглецевого навантаження у міжнародній торгівлі металопродукцією та оцінено вплив механізмів трансферу викидів у глобальних виробничих мережах. За результатами дослідження було виявлено чотири базових кластери: кластер 0 – країни з надвисокими внутрішніми потоками сектору «вироби з металу» (Україна, рф, Індія, КНР); кластер 1 – країни з низькоінтенсивними міжкраїновими потоками доданої вартості (США, Японія); кластер 2 – країни з середньоінтенсивними промисловими ланцюгами (КНР, Японія, Південна Корея); кластер 3 – країни з високоінтенсивними внутрішніми промислово-будівельними потоками (КНР, рф, Індія). Доведено, що досягнення цілей сталого розвитку передбачає масштабування механізму транскордонного вуглецевого оподаткування на глобальний рівень;

набуло подальшого розвитку:

- понятійний апарат дослідження модернізації металургійного сектору на основі обґрунтування розгорнутого авторського визначення неологічної категорії «декарбонізаційна стійкість металургійної індустрії», зміст якої полягає у її здатності забезпечувати безперервність, конкурентоспроможність, екологізацію та стратегічну адаптивність свого розвитку до умов посилення глобальних кліматичних обмежень, низьковуглецевого переходу та впровадження міжнародних екологічних вимог і стандартів у виробництво металопродукції. Констатовано, що таке визначення найбільш адекватно відображає спроможність металургійних підприємств перебудовувати чинні виробничі й операційні процеси на засадах зеленої економіки, енергетичної безпеки, ресурсоефективності та кліматичної нейтральності;

- систематизація національних моделей низьковуглецевої трансформації металургійного комплексу за авторськими критеріями щодо характеру державного регулювання декарбонізації, механізмів фінансування низьковуглецевої трансформації, ролі інновацій у технологічному розвитку, ступеня залучення корпоративного сектору, інтегрованості у міжнародні кліматичні та виробничі мережі,

а також глибини структурних змін виробництва, з виокремленням: регуляторно-інноваційної, інвестиційно-стимулюючої, державно-планової, корпоративно-інноваційної та наздоганяючої. Доведено, що в умовах глобальних кліматичних змін найбільш ефективною з позицій забезпечення довгострокової зеленої конкурентоспроможності є регуляторно-інноваційна модель модернізації металургійної індустрії завдяки поєднанню інструментів кліматичного регулювання, стимулювання технологічних інновацій, розвитку низьковуглецевих виробничих технологій, залучення інвестицій у декарбонізацію та інтеграції виробників у зелені глобальні ланцюги створення вартості;

– систематизація детермінантів модернізації металургійної індустрії на основі виокремлення таких груп факторів: виробничо-технологічні (перехід від доменного до електросталеплавильного виробництва; воднева металургія; використання технологій уловлення, зберігання та використання вуглецю; підвищення ефективності використання ресурсів), енергетичні (доступність електроенергії з відновлюваних джерел енергії та зеленого водню), емісійно-кліматичні (формування вбудованих викидів вуглецю), зовнішньоекономічні (глобальний попит, структура експорту, географія ринків збуту, участь у глобальних ланцюгах вартості), регуляторно-інституційні (екологічні податки, СВАМ, торгівля викидами, промислова та кліматична політики) та фінансово-інвестиційні (доступ до капіталу, вартість модернізації, інвестиційні та ресурсні обмеження). Доведено, що їх комплексна дія надає трансформаційним процесам системного і довгострокового характеру, інноваційної спрямованості, технологічної складності та глобальної інтегрованості, що надає можливості формування зеленої конкурентоспроможності металургійної галузі в умовах глобального низьковуглецевого переходу;

– сценарне обґрунтування траєкторій розвитку металургійного сектору України на період до 2034 року на основі виокремлення: інерційного (збереження традиційних доменно-конвертерного та мартенівського виробництв без модернізації та інвестицій у низьковуглецеві процеси; відсутність верифікації викидів та суттєва вразливість перед СВАМ, що призводить до втрати експортного ринку ЄС; низький внутрішній попит та зниження рівня виробництва; обмежений масштаб розвитку «зеленої»

енергетики), адаптаційного (поступове пристосування до кліматичних вимог, але без радикальної зміни технологічних маршрутів; часткова верифікація викидів, що дозволяє зменшити фінансове навантаження від СВАМ і частково відновити експорт в ЄС; обмежене фінансування та впровадження технологій DRI-EAF; помірне нарощування частки ВДЕ, що стабілізує галузь, але не забезпечує глибокої декарбонізації), трансформаційного (глибока структурна модернізація технологічних маршрутів, що супроводжується запровадженням системи торгівлі викидами та доступом до декарбонізаційних фондів ЄС; тимчасове звільнення України з-під дії СВАМ до 2029 року; суттєве збільшення частки ВДЕ в енергобалансі країни) та воєнно-відновлювального сценаріїв (фокус не на розширенні експорту, а на задоволенні масштабного внутрішнього попиту для післявоєнної відбудови; збереження традиційного конвертерного виробництва, виведення з експлуатації мартенівських печей; запровадження системи торгівлі викидами, що забезпечує фінансування розбудови гнучких електросталеплавильних міні-заводів; тиск СВАМ на експорт зберігається, проте підприємства верифікують викиди до 2028 року, а втрати на зовнішніх ринках компенсуються потужним внутрішнім попитом та збільшенням частки ВДЕ в енергобалансі країни), що дозволило оцінити вплив кліматичних обмежень, механізму СВАМ, енергетичних факторів, інвестиційної спроможності та зовнішньоекономічної орієнтації галузі на перспективи формування її зеленої конкурентоспроможності. Обґрунтовано, що найбільш ефективним у контексті євроінтеграційного розвитку металургійної індустрії України є трансформаційний сценарій, який здатний забезпечити комплексну технологічну модернізацію виробництва на основі низьковуглецевих технологій, інтеграцію галузі до європейського кліматичного та регуляторного простору, підвищення рівня декарбонізаційної стійкості та формування довгострокових конкурентних переваг української металопродукції на світових ринках.

– обґрунтування стратегічних пріоритетів низьковуглецевої трансформації металургійного сектору України, що ґрунтується на результатах сценарного моделювання та авторській систематизації детермінантів модернізації металургійної індустрії. На відміну від існуючих підходів, орієнтованих на окремі технологічні або

регуляторні рішення, запропонований підхід передбачає структуризацію стратегічних пріоритетів за виробничо-технологічним, енергетичним, емісійно-кліматичним, зовнішньоекономічним, регуляторно-інституційним і фінансово-інвестиційним напрямками, що забезпечує їх узгодженість із завданням формування зеленої конкурентоспроможності металургійної індустрії України.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання запропонованих підходів та моделей у процесі формування державної промислової, кліматичної та зовнішньоекономічної політики, розроблення стратегій модернізації металургійної індустрії України, а також при оцінюванні впливу міжнародного кліматичного регулювання на функціонування вітчизняних металургійних підприємств. Наукові напрацювання, висновки і практичні рекомендації дисертанта були використані: ТОВ «Ферокс Груп» (довідка про впровадження №35 від 07.04.2026 р.); Keramet Hungary Kft. (довідка про впровадження №012/2026 від 11.05.2026 р.); а також Київським національним економічним університетом імені Вадима Гетьмана при викладанні навчальних дисциплін «Міжнародна безпека», «Міжнародна економіка», «Управління міжнародною конкурентоспроможністю», «Управління діловою досконалістю», «Європейська інтеграція» (довідка про впровадження від 25.05.2026 р.).

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати, викладені здобувачем у дисертаційній роботі та виносяться на захист, одержані автором особисто.

Апробація результатів дослідження. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на шести міжнародних і наукових, науково-технічних, науково-практичних конференціях: XIII Міжнародній науково-технічній конференції аспірантів та молодих вчених «Наукова весна» (м. Дніпро, Україна, 1-3 березня 2023 р.); науково-практичній Інтернет-конференції «Міжнародний вимір відновлення економіки України» (м. Київ, Україна, 23 листопада 2023 р.); міжнародній науковій конференції «Економічний та соціальний вплив конфліктів на сучасний світ» (м. Седльце, Польща, 23 травня 2024 року); V Міжнародній науково-практичній конференції «Зелена економіка та низьковуглецевий розвиток: дорожня карта для України» (м. Київ, Україна, 19 грудня 2024 р.); III Міжнародній науково-

практичній конференції «Global trends in the development of educational systems» (м. Берген, Норвегія, 21-24 січня 2025 р.); XX Міжнародній науково-практичній конференції «Innovative scientific research: latest theories, modern methods and practices» (м. Севілья, Іспанія, 20-23 травня 2025 р.).

Публікації. Основні положення і наукові результати дисертаційного дослідження опубліковано автором самостійно та у співавторстві в 11 наукових працях загальним обсягом 4,5 д. а. З них 4 статті – у наукових фахових виданнях України, 1 стаття – у зарубіжному науковому виданні, 6 наукових праць апробаційного характеру. Загальний обсяг опублікованого матеріалу, що належить особисто дисертанту, становить 4,2 д. а.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Основний зміст дисертації викладено на 207 сторінках. Дисертація містить 36 таблиць на 19 сторінках, 41 рисунок на 21 сторінці, 19 додатків. Список використаних джерел становить 187 найменувань.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ІНДУСТРІЇ В УМОВАХ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ГЛОБАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ

1.1. Теоретичні основи кліматичних змін світової економіки та декарбонізації металургійної індустрії

Однією з глобальних екзистенційних проблем людства сьогодні є проблема зміни клімату, що має кардинальний вплив не тільки на здоров'я та безпеку населення, біорізноманіття та функціонування екосистем, але й на світове господарство. Важливо відзначити, що така позиція досягла консенсусу серед основних стейкхолдерів та послідовно підтримується науковою спільнотою, міжнародними інституціями та організаціями.

Всесвітній економічний форум у своєму звіті щодо глобальних ризиків на 2026 рік визначає зміну клімату («extreme weather events») на третьому місці після геоекономічного протистояння та збройних конфліктів, водночас в 10-річній перспективі цей ризик визначається як найбільш імовірний та серйозний серед таких ризиків, як втрата біорізноманіття та колапс екосистем, дезінформація та неправдива інформація, негативні наслідки технологій III, нерівність, кібербезпека, забруднення тощо [1, с. 8-9]. Даний звіт демонструє, що зміна клімату трансформується у ключовий системний довгостроковий ризик глобальної економіки, що у перспективі перевищує за значущістю традиційні геополітичні, технологічні та соціально-економічні загрози.

Іншим важливим фактором економічного впливу зміни клімату є зростання масштабів вимушеної міграції. За оцінками Світового банку, кліматичні зміни можуть змусити до 216 млн осіб у шести регіонах світу здійснити внутрішню міграцію до 2050 року, а уже до 2030 року очікується формування так званих «гарячих точок»

кліматично зумовленої міграції, які надалі будуть тільки поширюватися та посилюватися [2]. З точки зору міжнародного права, в тому числі Конвенції про захист біженців, така вимушена міграція не підпадає під класичне визначення біженства, тому так звані «кліматичні біженці» наразі не мають міжнародного захисту та не охоплені міжнародним правом. З точки зору міжнародної економіки, такі процеси означають перерозподіл глобальних трудових ресурсів, зростання навантаження на соціальну інфраструктуру приймаючих регіонів, а також втрату виробничого та трудового потенціалу в регіонах походження, що може призвести до загострення регіональних диспропорцій та посилення глобальної економічної нерівності.

Однак економічні наслідки зміни клімату проявляються не лише через міграційні процеси, а й через прямий вплив на продуктивність праці та стан здоров'я населення. На думку М. Романелло та інших дослідників, екстремальні погодні явища та пов'язані зі зміною клімату наслідки для здоров'я також впливають на продуктивність праці: теплове навантаження призвело до рекордних втрат – 512 мільярдів потенційних робочих годин у 2023 році, що еквівалентно 835 мільярдам доларів США втраченого потенційного доходу [3]. Ця цифра потенційно втраченого доходу свідчить не лише про зниження локальної ефективності використання трудових ресурсів та зменшення доходів на рівні окремих домогосподарств, а й про формування системних макроекономічних дисбалансів та посилення нерівномірності економічного розвитку.

Серйозний вплив проблема зміни клімату справляє і на світове сільське господарство. Е. Халтгрєн та інші дослідники вважають, що зміна клімату, ймовірно, призведе до зменшення врожаїв більшості основних сільськогосподарських культур до середини та кінця XXI століття, хоча ступінь впливу характеризується значною невизначеністю і залежить від сценаріїв викидів та адаптаційної спроможності [4]. За сценаріями високого рівня викидів центральні оцінки свідчать про можливе зниження глобальної врожайності основних культур до кінця століття, зокрема кукурудзи – на 27,8%, сої – на 35,6% та пшениці – на 28,2%. В умовах одночасного зростання чисельності населення це може призвести до дисбалансу між попитом і пропозицією продовольства, що, у свою чергу, спричинить підвищення цін, зниження доступності

продуктів харчування та посилення соціально-економічної нерівності. Таким чином, зміна клімату виступає не лише екологічною, але й глобальною та, перш за все, економічною проблемою, оскільки безпосередньо впливає на базові сектори світової економіки.

За даними ООН, 2024 рік став найтеплішим за всю історію спостережень, тоді як період 2015–2024 років сформував найспекотніше десятиліття [5]. Такі тенденції вимагають не лише фіксації фактів, але й науково обґрунтованого аналізу причин цих змін, зокрема перевірки їх антропогенного характеру. Дані кліматичних спостережень, зібрані та оброблені незалежною науковою організацією Berkeley Earth, наочно свідчать про суттєву зміну клімату на планеті (рис. 1.1).

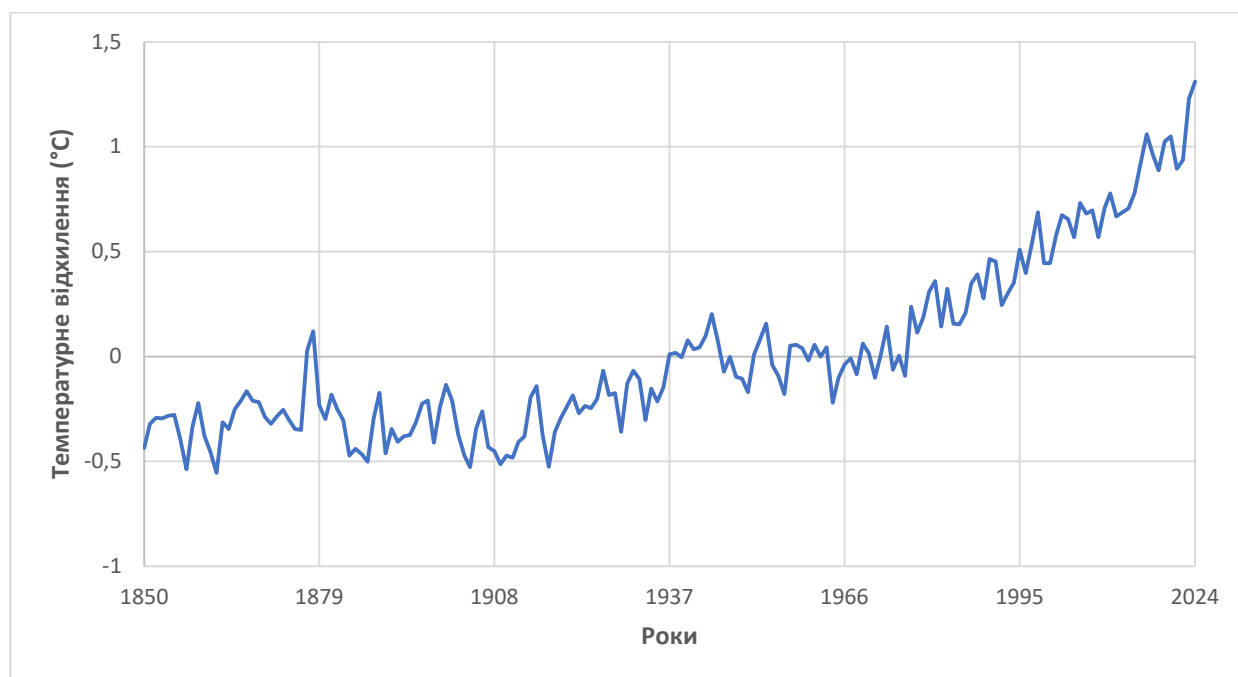


Рисунок 1.1. Середнє температурне відхилення у середній глобальній температурі поверхні Землі відносно базового періоду 1951–1980 рр.

Джерело: побудовано автором за даними [10]

Динаміка вищезазначених часових рядів демонструє чітко виражену тенденцію до зростання глобальної температури у порівнянні з базовим періодом. У той час як у другій половині XIX – на початку XX століття температурні аномалії переважно мали від’ємні значення, то починаючи з середини XX століття спостерігається поступове зростання температурних відхилень, яке з часом переходить у стійкий висхідний тренд. Така динаміка пояснюється з позицій антропогенного характеру зміни клімату.

За оцінками, наведеними у дослідженні Global Carbon Budget 2025, викиди CO₂ від спалювання викопного палива та промислових процесів зросли з 2,91 Гт у 1850 році до 43,18 Гт у 2024 році (рис. 1.2).

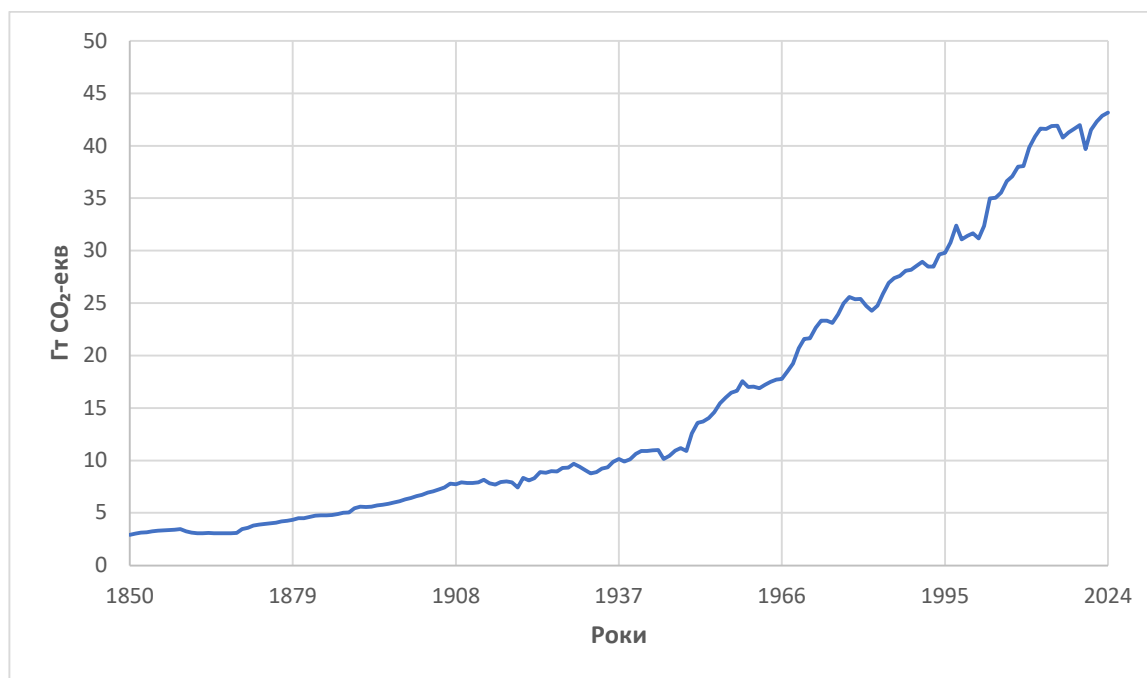


Рисунок 1.2. Викиди парникових газів від спалювання викопного палива та промислових процесів

Джерело: побудовано автором за даними [9]

Простежується чіткий тренд – зі зростанням обсягів викидів спостерігається підвищення середньої глобальної температури. Для кількісної оцінки взаємозв'язку між цими двома параметрами було використано коефіцієнт кореляції Пірсона. Розрахунки здійснювалися на основі даних за період 1850-2024 рр. (175 спостережень) за допомогою табличного процесора Microsoft Excel. За результатами аналізу отримано значення коефіцієнта кореляції 0,93, що свідчить про наявність сильного лінійного зв'язку і підтверджує тісну взаємопов'язаність між генерованим людством обсягом парникових газів та середньою глобальною температурою поверхні Землі. Відтак зростання концентрації антропогенних парникових газів на планеті є одним із ключових чинників посилення зміни клімату. Водночас парникові гази суттєво відрізняються за своїми параметрами (табл. 1.1).

Характеристики основних видів парникових газів

Парниковий газ	Життєвий цикл, роки	GWP-20*	GWP-100*
Діоксид вуглецю (CO ₂)	–	1	1
Метан (CH ₄)	11,8	81,2	27,9
Закис азоту (N ₂ O)	109	273	273
Фторовані гази (F-gases)	до 50 000	до 18 200	до 24 300

* значення GWP-20 і GWP-100 відображають потенціал глобального потепління парникових газів у часових горизонтах 20 і 100 років відповідно

Джерело: побудовано автором за даними [7]

GWP-20 та GWP-100 відображають, наскільки ефективно одиниця газу утримує тепло в атмосфері порівняно з еквівалентною одиницею діоксиду вуглецю за вказаний період часу. Їх використання дозволяє виразити уніфікований вплив різних видів парникових газів, що спрощує оцінку та порівняння викидів.

Найпоширенішим парниковим газом є водяна пара (H₂O), але вона швидко залишає атмосферу у вигляді дощу, тому «викиди води» не є проблемою, а скоріше результатом зміни клімату – чим сильніше планета нагріватиметься, тим більше водяної пари буде циркулювати в атмосфері одночасно.

Найбільш серйозною проблемою є діоксид вуглецю (CO₂). Його щорічні викиди оцінюються приблизно в 35 млрд тонн, що пояснюється великим обсягом споживання викопного палива. Видалення з атмосфери більшої кількості CO₂, ніж генерується зараз, дійсно здатне змінити деякі аспекти зміни клімату, однак певні процеси, такі як зменшення площі вічної мерзлоти та підвищення рівня моря, продовжуватимуть розвиватися в своєму нинішньому напрямку протягом десятиліть [6]. Навіть якщо викиди CO₂ повністю припиняться до 2050 року, половина газу залишиться в атмосфері на термін понад 750 років [8].

Метан (CH₄) – основний компонент природного газу – має більший потенціал глобального потепління, ніж діоксид вуглецю, однак його період існування в атмосфері значно коротший і становить близько 12 років. Основними джерелами викидів метану є тваринництво, зміни у стані лісів і водно-болотних угідь, а також витоки із газових свердловин і трубопроводів.

Закис азоту (N_2O) є третім за значущістю парниковим газом. Його значення GWP-20 та GWP-100 дорівнюють 273, тобто одиниця маси закису азоту утримуватиме в 273 рази більше тепла за таку ж саму масу діоксиду вуглецю. Життєвий цикл у 109 років робить його тривалоіснуючим та сильним парниковим газом, викиди якого необхідно контролювати. Основним джерелом викидів закису азоту є застосування азотних добрив при вирощуванні сільськогосподарських культур.

Фторовані гази характеризуються надзвичайно високим потенціалом глобального потепління. Наприклад, GWP-100 гексафториду сірки (SF_6) становить 24 300, при цьому його атмосферний життєвий цикл триває близько 1000 років. У свою чергу, GWP-100 тетрафториду вуглецю (CF_4) сягає 7380, а його життєвий цикл в атмосфері перевищує 50 000 років [7]. Тривалий час перебування цих та інших фторованих газів у атмосфері спричиняє накопичення тепла та посилення парникового ефекту, що є значним викликом для боротьби зі зміною клімату. Основне джерело викидів фторованих газів – витoki під час використання або утилізації холодильних та кондиціонерних установок, а також різноманітні промислові процеси.

Кліматична трансформація світової економіки вийшла за межі суто екологічного порядку денного і поступово перетворилася на один із ключових чинників глобального економічного розвитку. Якщо раніше кліматична політика переважно розглядалася як система заходів із захисту навколишнього середовища, збереження біорізноманіття та виконання міжнародних екологічних зобов'язань, то нині вона безпосередньо впливає на структуру виробництва, міжнародну торгівлю, інвестиційні потоки та промислову політику держав. У зв'язку з цим доцільно розглядати кліматичну трансформацію світової економіки як процес формування нової моделі економічного розвитку. Її зміст розкривається через взаємопов'язані концепції зеленого переходу (Green Transition), економіки нульових викидів (Net Zero Economy), декарбонізаційного порядку денного (Decarbonization Agenda) та зеленої промислової політики (Green Industrial Policy).

Зелений перехід. Відповідно до звіту Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР) термін «зелений перехід» у широкому сенсі визначається як загальноекономічний перехід від діяльності з високим впливом на навколишнє

середовище та залежністю від природних ресурсів до практик, що поважають планетарні межі та сприяють довгостроковій сталості, стійкості та добробуту суспільства в усьому світі [11]. Таке базове академічне визначення є особливо важливим, оскільки воно розкриває зелений перехід не як окремий екологічний захід, а як загальноекономічний відхід від видів діяльності з високим екологічним впливом і залежністю від природних ресурсів. У підході ЄС зелений перехід також є не лише екологічним процесом, а комплексною моделлю економічної трансформації. Через політику Європейського зеленого курсу він фактично інституціоналізує нову модель економічного розвитку, у якій скорочення викидів, декарбонізація, технологічна модернізація промисловості та ресурсоефективність стають не лише екологічною метою, а й умовою довгострокового економічного зростання [12].

Економіка нульових викидів. Академічно усталене визначення поняття нульових викидів подано Міжурядовою групою експертів зі зміни клімату¹ у глосарії, де воно розкрито як стан, коли антропогенні викиди парникових газів в атмосферу збалансовані антропогенною абсорбцією протягом певного періоду [29]. У ширшому економічному сенсі поняття економіки нульових викидів є похідним від цього визначення та може бути інтерпретоване як модель економічного розвитку, у якій ключові сектори глобальної економіки перебудовуються відповідно до цілі досягнення кліматичної нейтральності.

Декарбонізаційний порядок денний. Це поняття являє собою сформований міжнародний політико-економічний дискурс, що виник на основі міжнародного кліматичного права, рішень COP², регіональних політик, національних стратегій і корпоративних ESG-практик. На міжнародному рівні декарбонізаційний порядок денний просувається, зокрема, через Паризьку угоду, головною метою якої є утримання глобального підвищення температури на рівні до 1,5°C порівняно з доіндустріальними показниками. В практичному вимірі це виражається у поданні кожною державою Національних планів скорочення викидів (NDC³), однак конкретні цілі в цих планах визначаються державами. Водночас цей порядок денний часто

¹ Повністю англomовний варіант Intergovernmental panel of climate change (IPCC)

² COP (Conference of the Parties / Конференція сторін) – вищий керівний орган Конвенції про зміну клімату

³ Повністю англomовний варіант Nationally Determined Contributions (NDC)

супроводжується ризиками, серед яких нерівність між країнами, висока вартість зеленого переходу, торговельні конфлікти, грінвошинг та ін.

Зелена промислова політика. Одними з ключових авторів концептуалізації цього поняття є дослідники Д. Родрік та Т. Альтенбург, які виділяють декілька ключових аспектів відмінності зеленої промислової політики від традиційної, а саме [13]:

- спрямованість на виправлення негативних екологічних екстерналій як особливого шкідливого збою ринку;
- чітке розмежування «хороших» і «поганих» технологій на основі їх впливу на навколишнє середовище, відповідне інвестування;
- терміновість: через загрозу незворотних кліматичних змін трансформація має відбутися надзвичайно швидко, що вимагає агресивнішого втручання держави;
- підвищена невизначеність: політика повинна впроваджуватися в умовах непередбачуваності щодо нових технологій, політичних рішень та реакції екосистем;
- складна координація між цілими підсистемами економіки (наприклад, одночасне виробництво електромобілів, заводів з випуску батарей і інфраструктури мереж зарядних станцій);
- націленість на захист глобальних спільних благ (атмосфера, океани тощо), а не лише на перемогу національних економік у конкурентній боротьбі.

Виходячи з наведених особливостей зелена промислова політика зазвичай включає комплексний набір інструментів, серед яких: інтерналізація екологічних витрат (екологічний податок, системи торгівлі викидами тощо), фінансове стимулювання (диференційовані податки, кредитні субсидії, пряма фінансова підтримка для впровадження низьковуглецевих технологій тощо), жорсткіші екологічні стандарти та регулювання, вплив на поведінку споживачів (екологічне маркування, освітні кампанії тощо). Важливо відзначити, що зелена промислова політика вже набула інституційного оформлення як у ЄС через Промисловий план Європейського зеленого курсу та Акт ЄС про промисловість із нульовими чистими викидами, так і у США – через Закон США про зниження інфляції, що поєднує кліматичні цілі з підтримкою національного виробництва чистих технологій,

інвестиціями в енергетичну модернізацію та зміцненням промислової конкурентоспроможності.

Таким чином, кліматична політика виникає не лише як відповідь на екологічні виклики, а передусім як реакція на специфічний тип ринкового збою, пов'язаний із неврахуванням суспільних витрат економічної діяльності. У цьому контексті фундаментальне значення має праця А. Пігу «Економіка добробуту», де закладено базову економічну теорію екстерналій (зовнішніх ефектів), яка сьогодні є основою для кліматичної політики [14]. А. Пігу розробив теорію, яка пояснює природу цих ефектів через розмежування двох понять:

- маржинального приватного чистого продукту, тобто вигоди, яку отримує безпосередньо особа чи компанія, що інвестує свої ресурси у виробництво;
- маржинального суспільного чистого, тобто загального результату для всього суспільства, який включає не лише приватну вигоду інвестора, але й усі супутні (побічні) наслідки його діяльності для третіх осіб.

Коли ці два показники не збігаються, виникають екстерналії. Класичним прикладом негативної екстерналії за А. Пігу є забруднення повітря димом із заводських труб – проблема, яка актуальна і сьогодні. Наслідки таких викидів проявляються поза межами самого підприємства, насамперед для суспільства – це впливає на зміну клімату, погіршення якості повітря, зростання ризиків для здоров'я населення тощо. Оскільки у вуглецевих секторах, зокрема в металургійній галузі, приватні витрати підприємства є нижчими за повні суспільні витрати виробництва, ринкова ціна сталі не відображає в собі вартості виробництва для суспільства. Тому автор робить висновок: держава має усувати ці розбіжності за допомогою цілеспрямованого втручання – «екстраординарних заохочень» (субсидій) або «екстраординарних обмежень» (податків). Останній підхід отримав назву «податок Пігу» (Pigovian tax). Теорія вуглецевих екстерналій базується саме на цьому принципі: оскільки викиди CO₂ завдають суспільству шкоди, яка не відображена в ринковій ціні товару (тобто не інтерналізована), держава повинна вживати заходів, щоб змусити забруднювачів платити за цю шкоду, зокрема у вигляді екологічного податку. У цьому

контексті важливим поняттям є соціальна вартість вуглецю, що є розвитком пігуанської логіки інтерналізації зовнішніх ефектів.

Термін «соціальна вартість вуглецю» означає грошову оцінку економічної шкоди, спричиненої викидом однієї додаткової тонни вуглецю в атмосферу. Фундаментальну теоретичну, математичну та емпіричну основу для цього поняття заклав В. Нордгауз, дослідник описував аналогічну за змістом величину під назвою «тіньова ціна CO₂» [15]. Він не лише розрахував цю вартість, оцінивши свій оптимальний «найкращий здогад» орієнтовно в 10 доларів за тонну вуглецю, але й обґрунтував, що саме ця тіньова ціна має стати базою для встановлення єдиного вуглецевого податку задля найефективнішого контролю ринкових екстерналій. Його ключовим методологічним проривом стало переведення проблеми зміни клімату в площину економіки міжчасового вибору: В. Нордгауз розробив спрощену інтегровану модель (поєднавши вуглецевий цикл, економіку та кліматичні впливи), яка через механізм дисконтування дозволила збалансувати витрати поточного покоління на скорочення викидів із тими збитками, яких неминуче зазнають майбутні багатші покоління. Отже, у межах пігуансько-нордгаусівської логіки інтерналізація вуглецевих екстерналій передбачає насамперед державне встановлення ціни на викиди, яка має відображати їхню граничну суспільну шкоду.

Водночас Р. Коуз поставив під сумнів універсальність державного втручання як єдиного способу інтерналізації екстерналій [16]. На відміну від попередніх дослідників, він запропонував фундаментально інший ринковий підхід до вирішення проблеми негативних зовнішніх ефектів. Його ключові позиції можна узагальними наступним чином:

- право на викиди як фактор виробництва. Відтак фактори виробництва слід розглядати не як фізичні об'єкти, а як права на виконання певних дій. З цієї точки зору, право робити щось, що має шкідливий вплив, є таким самим повноцінним фактором виробництва, як земля чи праця;
- перерозподіл прав через ринкові угоди. Якщо право на забруднення або право на чисте повітря розглядається як актив, сторони можуть ним торгувати. Тобто, за умови безперервної роботи ринку (відсутності трансакційних витрат) початковий

юридичний розподіл цих прав не має вирішального значення, і сторони завжди зможуть змінити цей розподіл за допомогою угод на ринку, щоб досягти максимальної загальної вигоди.

Відтак ідея про те, що викиди слід сприймати як права, якими можна і варто торгувати на вільному ринку для досягнення найбільшої економічної ефективності, стала базою для сучасної кліматичної політики. Саме за таким принципом працюють сучасні системи торгівлі викидами, що є прямим практичним втіленням ідей Р. Коуза. Відтак право на емісію набуває форми обмеженого економічного активу, ціна якого формується внаслідок взаємодії попиту й пропозиції на ринку. Таким чином, екологічне обмеження трансформується в економічний стимул до скорочення викидів.

Оскільки металургійна індустрія має високі абсолютні та питомі викиди, навіть помірна ціна дозволу на викиди тонни CO₂-екв. може суттєво впливати на ціну тонни сталі. Варто відзначити і те, що металургійна продукція значною мірою орієнтована на міжнародні ринки, де товаровиробники конкурують за ціною, якістю та стабільністю постачання. Відтак різниця у витратах на екологічне регулювання між юрисдикціями безпосередньо впливає на конкурентоспроможність підприємств і може змінювати напрями торговельних потоків. Одним із інструментів, розроблених для мінімізації таких диспропорцій, став механізм прикордонного вуглецевого коригування (CBAM⁴), який покликаний сприяти вирівнюванню умов конкуренції між продукцією, виробленою в ЄС, та імпортованими товарами з третіх країн.

Розгляд підходів А. Пігу та Р. Коуза, а також сформованих на їхній основі інструментів екологічного регулювання дозволяє пояснити економічну логіку інтерналізації екологічних витрат. Водночас декарбонізація промисловості не зводиться лише до встановлення екологічних податків або системи торгівлі викидами. Вона є частиною значно ширшої зміни моделі економічного розвитку, у межах якої екологічні обмеження, соціальна відповідальність, сталий розвиток та технологічна модернізація розглядаються як взаємопов'язані елементи.

⁴ Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) – кліматично-торговельний інструмент ЄС, що враховує вбудовані викиди вуглецю в імпортованій продукції

Концепція сталого розвитку становить одну з ключових теоретичних основ сучасного аналізу трансформації промисловості. Її значення полягає в тому, що вона змінює саму логіку економічного розвитку: промислове зростання більше не може розглядатися виключно через призму обсягів виробництва, експорту або дохідності. У сучасних умовах воно дедалі більше оцінюється з урахуванням екологічних обмежень, кліматичних ризиків, енергетичної ефективності, вуглецевої інтенсивності продукції та здатності підприємств інтегруватися в низьковуглецеві ланцюги створення вартості.

Еволюція підходів до трактування сталого розвитку формувалася поступово. Першим визначальним етапом став звіт Brundtland, опублікований ООН у 1987 році. Якщо попередні теорії стосувалися конкретних економічних інструментів регулювання викидів, то цей звіт закладає глобальну політичну та філософську основу сучасної екологічної політики. Головна тема звіту – це формулювання та популяризація концепції сталого розвитку. Звіт дає йому класичне визначення – це розвиток, який задовольняє потреби нинішнього покоління, не ставлячи під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти власні потреби [17]. Автори попереджають про небезпеку залежності від викопного палива (яке спричиняє парниковий ефект і зміну клімату), закликають промисловців до ресурсоефективності та зменшення кількості забруднень, наголошують на необхідності глибоких інституційних змін у системі державного управління в контексті екологічної політики. Другим важливим етапом стала Конференція ООН в Ріо-де-Жанейро 1992 року, відома як Саміт Землі [18]. Вона закріпила сталий розвиток уже не лише як науково-політичну ідею, а як практичний напрям міжнародної політики. Серед ключових результатів конференції були Ріо-де-Жанейрська декларація з її 27 універсальними принципами, Порядок денний на XXI століття, Рамкова конвенція ООН про зміну клімату (UNFCCC⁵) та інші документи, що інституціоналізували зв'язок між довкіллям і розвитком. Рамкова конвенція стала першим глобальним кроком до

⁵ United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) – Рамкова конвенція ООН про зміну клімату, ухвалена у 1992 році

вирішення проблеми зміни клімату, чітко підпорядкувавши кліматичну політику цілям сталого розвитку:

- баланс між кліматом та економікою: Кінцева мета Конвенції полягає не лише у стабілізації парникових газів, але й у тому, щоб зробити це в такі терміни, які дозволять екосистемам адаптуватися природним шляхом, не поставлять під загрозу виробництво продовольства та дозволять економічному розвитку тривати у сталий спосіб;
- захист права на розвиток: Конвенція підкреслює, що заходи боротьби зі зміною клімату мають бути повністю інтегровані в національні програми розвитку. Вона визнає легітимні потреби країн, що розвиваються, у досягненні сталого економічного зростання та повного викорінення бідності, зазначаючи, що їхнє енергоспоживання неминуче зростатиме.

Третім етапом став Порядок денний у сфері сталого розвитку до 2030 року, ухвалений Генеральною Асамблеєю ООН у 2015 році [19]. Він став сучасною універсальною рамкою сталого розвитку, яка перевела попередні принципи в систему конкретних цілей і завдань. Документ остаточно закріплює рівноцінність та взаємозв'язок трьох вимірів сталого розвитку: економічного, соціального та екологічного. Відтак еволюція від Порядку денного на XXI століття до Порядку денного на період до 2030 року полягає в тому, що екологічні питання, такі як декарбонізація та збереження ресурсів, більше не розглядаються паралельно з економікою – вони стали основними індикаторами прогресу, інтегрованими у світову стратегію виживання та процвітання. Для промислових підприємств це означає, що вуглецевість, енергоінтенсивність, ресурсоефективність стають факторами довгострокової конкурентоспроможності. Таким чином, Порядок денний на період до 2030 року створив умови для перенесення концепції сталого розвитку у сферу корпоративних стратегій, що безпосередньо веде до ESG-парадигми.

Звіт «Who Cares Wins» 2004 року фактично заклав концептуальні основи та сформував сучасну ESG-парадигму [20]. Автори звіту свідомо відмовилися від використання розмитих на той час термінів, таких як «сталий розвиток» або «корпоративне громадянство», натомість вони цілеспрямовано обрали та закріпили

використання поняття «екологічні, соціальні та управлінські питання» (ecological, social, governmental, ESG), щоб підкреслити, що ці три сфери є невід'ємними складовими оцінки компанії та тісно взаємопов'язані між собою. Фактично ESG діє як практичний інструментарій, який перетворює абстрактні цілі сталого розвитку на конкретні бізнес-метрики. В умовах кліматичної трансформації світової економіки інтеграція ESG у бізнес-модель металургійних підприємств стає питанням довгострокового виживання та конкурентоспроможності, оскільки вона дозволяє завчасно виявляти ризики, знижувати витрати та адаптуватися до нових жорстких умов ринку. Це означає, що для галузей промисловості з вуглецемістким та енергоінтенсивним виробництвом питання декарбонізації стає частиною економічної оцінки бізнесу. Отже кліматична трансформація набуває багатовимірного характеру (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Загальнотеоретичні підходи до кліматичної трансформації економіки

Підхід	Джерело	Ключовий зміст	Значення для дослідження модернізації металургії
Зелений перехід	ОЕСР, Європейський зелений курс	Перехід до сталої, ресурсоефективної економіки	Формує загальну рамку кліматичної трансформації економіки
Декарбонізаційний порядок денний	Паризька угода, COP	Сукупність міжнародних і національних цілей щодо скорочення викидів	Пояснює інституційний тиск щодо зниження вуглецемісткості
Економіка нульових викидів	IPCC	Орієнтація на баланс між викидами парникових газів та їх поглинанням	Визначає стратегічну мету – досягнення кліматичної нейтральності
Зелена промислова політика	Д. Родрік, Т. Альтенбург	Державне стимулювання зеленої модернізації	Обґрунтовує необхідність політики підтримки низьковуглецевої модернізації
Теорія негативних екстерналій	А. Пігу, Р. Коуз	Викиди розглядаються як зовнішні витрати, що не враховані у ринковій ціні	Пояснює економічну логіку вуглецевого ціноутворення (СТВ, екологічний податок, СВМ)
Соціальна вартість вуглецю	В. Нордгауз	Грошова оцінка шкоди від додаткової одиниці викидів парникових газів	Дає основу для оцінювання економічної доцільності скорочення викидів
Концепція сталого розвитку	Звіт Brundtland, UNFCCC	Баланс економічного, соціального та екологічного розвитку	Дозволяє розглядати модернізацію через призму довгострокової стійкості
ESG-парадигма	Звіт «Who Cares Wins»	Інтеграція ESG-чинників у бізнес-модель компаній.	Пов'язує декарбонізацію з інвестиційною привабливістю та конкурентоспроможністю

Джерело: систематизовано на основі [11-20]

Отже, наведені підходи дозволяють розглядати кліматичну трансформацію економіки як комплексний процес, що охоплює стратегічні цілі скорочення викидів, інструменти державного регулювання, економічну оцінку вуглецевих витрат та зміну корпоративних моделей розвитку. Їх поєднання формує теоретичне підґрунтя для подальшого аналізу декарбонізації промислових секторів, у яких вуглецемісткість виробництва безпосередньо впливає на конкурентоспроможність, інвестиційну привабливість і доступ до зовнішніх ринків. У цьому контексті особливого значення набуває не лише теоретичне обґрунтування необхідності скорочення викидів, а й методологічне забезпечення їх кількісного вимірювання та порівняння.

Методологічною основою для визначення місця металургійної промисловості в глобальній системі антропогенних викидів є керівні принципи національних інвентаризацій парникових газів Міжурядової групи експертів зі зміни клімату, згідно з якими оцінки викидів і абсорбції парникових газів поділяються на п'ять базових категорій, серед яких [21]:

- енергетика;
- промислові процеси та використання продукції;
- сільське господарство, лісництво та інше землекористування;
- відходи;
- інше.

Для кожного такого сектора встановлено підкатегорії, коди підкатегорій, що відповідають стандартній класифікації IPCC, оцінювані парникові гази, а також спеціальні вказівки (наприклад, щодо розділення викидів від підкатегорії за основними видами палива тощо). Класифікація джерел глобальних викидів парникових газів здійснюється відповідно до методології IPCC, яка передбачає ієрархічну систему секторів і категорій, кожній з яких присвоєно унікальний код та визначено відповідне означення (табл. 1.3). Така класифікація має важливе методологічне значення, оскільки забезпечує уніфікованість обліку парникових газів та порівнюваність результатів між країнами, секторами економіки в межах визначених часових періодів.

Класифікація джерел глобальних викидів відповідно до IPCC

Категорія	Код IPCC 2006	Означення
Сільське господарство	3A+3C1b+3C2+3C3+3C4+3C5+3C6+3C7+ 5A (лише від с/г діяльності)	Сільськогосподарські ґрунти, спалювання рослинних залишків, кишкова ферментація, поводження з гноєм, непрямі викиди N ₂ O від сільського господарства
Будівлі	1A4+1A5	Маломасштабне непромислове стаціонарне спалювання, наприклад, використання енергії в житлових і комерційних будівлях
Експлуатація палива	1B+5B	Викиди від виробництва, переробки та рафінування палива
Промислове спалювання	1A2	Спалення палива у промислових виробничих процесах
Енергетика	1A1a	Викиди від електричних і теплових установок (як державних, так і приватних)
Процеси	2+5A (лише від не с/г діяльності)	Промислові процеси (наприклад, від виробництва цементу, чавуну та сталі, алюмінію, хімічних речовин, розчинників тощо)
Транспорт	1A3	Мобільне спалювання (автомобільний, залізничний, морський і авіаційний види транспорту)
Відходи	4	Утилізація твердих побутових відходів та очищення стічних вод

Джерело: побудовано автором за даними [21]

Металургійне виробництво охоплює як викиди від промислового спалювання (категорія 1A2), що забезпечують енергетичні потреби процесу, так і процесні викиди (категорія 2C1), які виникають унаслідок хімічних реакцій виробництва. Згідно з керівними принципами IPCC щодо національних інвентаризацій парникових газів, ці процеси мають різну природу і підлягають роздільному обліку. Таке розмежування має принципове значення для дослідження декарбонізації металургійної індустрії, оскільки різні типи викидів потребують різних інструментів скорочення.

За галузевою структурою глобальних викидів парникових газів, близько половини їх загального обсягу у 2023 році припадало на енергетику, промислове спалювання та промислові процеси, що підтверджує вагому роль енергетичного та промислового секторів у їх формуванні (рис. 1.3).

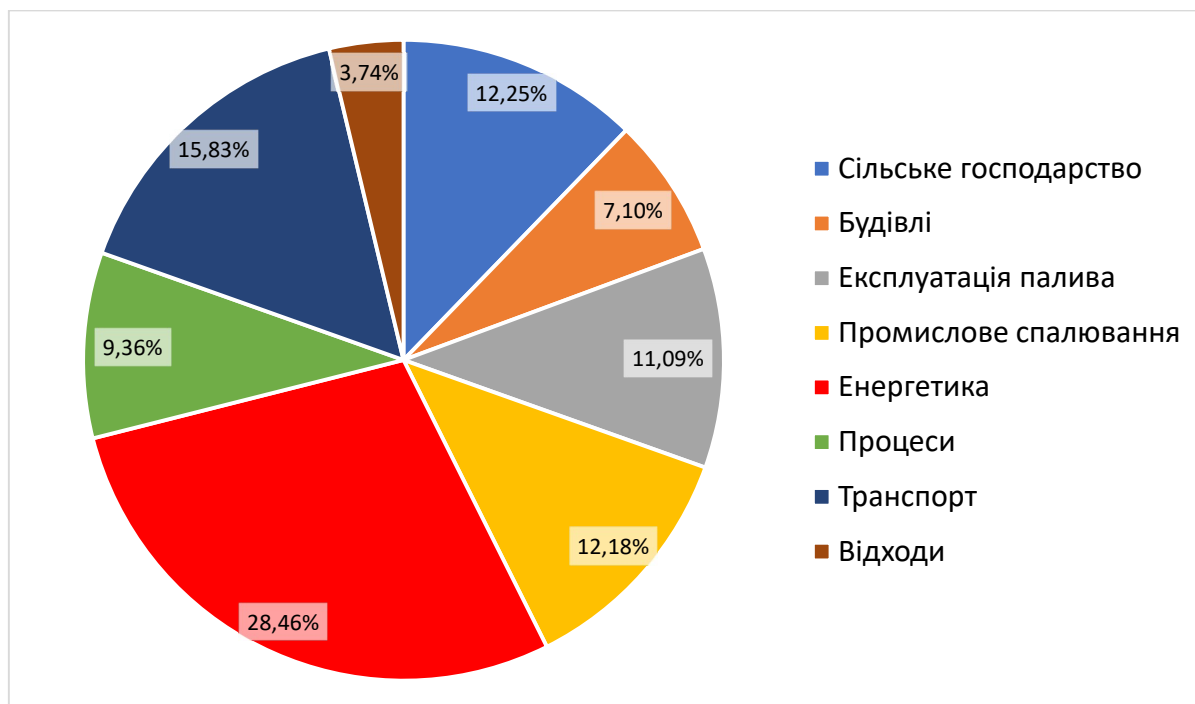


Рисунок 1.3. Галузева структура глобальних викидів парникових газів, 2023 р.

Джерело: побудовано автором за даними [22]

Оскільки ця методологія розроблена для національної звітності, вона може не повністю відображати фактичний рівень викидів окремих галузей промисловості через її узагальнений характер. Наприклад, плавка сталі киснево-конвертерним технологічним маршрутом генерує викиди не лише через використання коксу як відновника, а й унаслідок значного споживання електроенергії та тепла. Оскільки ця енергія часто виробляється на теплових електростанціях, що працюють на викопному паливі, додаткові непрямі викиди CO₂ можуть суттєво підвищувати загальне екологічне навантаження сектору.

Для врахування таких факторів застосовується Протокол про викиди парникових газів (GHG Protocol), що встановлює комплексні глобальні стандартизовані рамки для вимірювання та управління викидами парникових газів від діяльності приватного та державного секторів, ланцюгів створення вартості та дій із зменшення наслідків [23]. Методології IPCC та GHG Protocol мають низку відмінностей (табл. 1.4).

Основні відмінності між IPCC та GHG protocol

Критерій	IPCC	GHG protocol
Рівень аналізу	Національний (країни, регіони)	Корпоративний (підприємства, організації)
Ціль	Оцінка та звітність для міжнародних угод	Управління викидами в господарській діяльності
Класифікація	За секторами економіки	За рівнем контролю над джерелами викидів
Охоплення	Усі викиди на території країни	Лише ті, що пов'язані з діяльністю компанії

Джерело: складено автором на основі [22; 23]

По-перше, підходи спрямовані на різний рівень аналізу: методологія IPCC орієнтована на національний рівень, водночас GHG Protocol сфокусований саме на корпоративному. Різниця є і в цільовому призначенні підходів – в той час як IPCC розробляє єдині форми звітування за міжнародними кліматичними угодами, GHG Protocol дозволяє управляти викидами в межах діяльності підприємства (для внутрішнього контролю, стратегічного планування, ESG-звітності тощо). IPCC передбачає секторний підхід класифікації емісії, що більше відповідає макроекономічній структурі, водночас GHG Protocol ґрунтується на класифікації викидів за джерелами для деталізації впливу на бізнес-процеси. Насамкінець, IPCC враховує всі викиди, що генеруються в межах території держави, а GHG Protocol на тому ж рівні враховує лише ті викиди, які генеруються конкретно компанією. За GHG protocol викиди парникових газів класифікуються залежно від контролю компанії над джерелами цих викидів (рис. 1.4). Основоположним тут є поділ на прямі (Score 1) та непрямі (Score 2 і Score 3) викиди. Прямі викиди формуються безпосередньо у процесі діяльності підприємства та охоплюють, зокрема, викиди від виробничих процесів і роботи обладнання, що відображає найбільш контрольовану частину вуглецевого сліду компанії. Непрямі викиди поділяються на дві складові – викиди, пов'язані з виробництвом енергії, що споживається підприємством, але генерується зовнішніми постачальниками (Score 2), а також більш широкий спектр викидів уздовж ланцюга створення вартості (Score 3).



Рисунок 1.4. Класифікація джерел парникових газів (GHG protocol)

Джерело: побудовано автором на основі [23]

Представлена класифікація демонструє, що сучасний підхід до обліку викидів виходить за межі безпосередньої виробничої діяльності підприємства та охоплює повний життєвий цикл продукції, що є принципово важливим для оцінки вуглецевих екстерналій у межах глобальних ланцюгів створення вартості.

Найбільшого поширення кліматична проблематика набула у чорній металургії, яка генерує близько 7–9 % глобальних антропогенних викидів CO₂. Водночас процеси декарбонізації охоплюють також кольорову металургію, цементну, хімічну та інші енергоінтенсивні галузі промисловості, однак саме виробництво сталі є ключовим об'єктом міжнародного кліматичного регулювання та предметом даного дослідження. Таким чином, визначення місця металургійної індустрії в системі антропогенних викидів парникових газів формує аналітичну основу для розгляду її декарбонізації не лише як екологічної необхідності, а як складного процесу структурної трансформації

виробництва. Однак повне розуміння змісту поняття «декарбонізація» потребує подальшого аналізу та переходу до його теоретичного осмислення як комплексного процесу.

У буквальному значенні декарбонізація означає усунення вуглецю з процесу виробництва. У металургії цей термін стосується зменшення викидів CO_2 при виготовленні металопродукції. Водночас сталь за своїм хімічним складом є сплавом заліза (Fe) з вуглецем (C) у концентрації до 2,14% і може містити додаткові легувальні елементи. Вміст вуглецю визначає ключові характеристики сталі, зокрема її міцність, пластичність, зварюваність та корозійну стійкість, впливаючи на баланс між твердістю матеріалу та його технологічними властивостями. Оскільки саме вуглець надає сталі необхідні фізико-механічні характеристики, повне його усунення є неможливим. З огляду на зазначене, декарбонізація в металургії набуває змісту не хімічного вилучення вуглецю зі складу сталі, а системного зниження вуглецевої інтенсивності виробництва, водночас у науковій літературі та міжнародній практиці сформувалися різні підходи до трактування поняття «декарбонізація».

Міжнародне енергетичне агентство (МЕА) не надає загального визначення цього поняття на інституційному рівні. Водночас декарбонізація проявляється через операційний вимір, тобто через сценарії, технологічні дорожні карти, секторальні політики та стандарти вимірювання. Для МЕА це насамперед процес системного переходу енергетики та енергоінтенсивних секторів до траєкторії нульових викидів через комбінацію технологічних, інфраструктурних і поведінкових змін, що закріплено у звіті Net Zero by 2050 [24]. Для МЕА характерний сильний акцент на технологічно нейтральному, але технічно конкретному характері декарбонізації з переважно техно-системним баченням.

ОЕСР розглядає декарбонізацію не просто як вузьку екологічну проблему, а як масштабну соціально-економічну трансформацію, що потребує узгодження економічних, соціальних, інноваційних та фіскальних політик [25]. Оскільки жоден окремий інструмент не є універсально ефективним, документ наголошує на необхідності застосування широкого набору політик, що спирається на три взаємопов'язані стовпи: ціноутворення на викиди вуглецю, екологічні стандарти й

регулювання, а також доповнювальні політики, тобто заходи, які не спрямовані безпосередньо на скорочення викидів парникових газів, але забезпечують необхідні економічні та соціальні умови для цього переходу, знижуючи супутні витрати. Така дефініція передбачає концептуальну широту, що інтегрує питання справедливості, інституцій, ринку праці та фінансів. Декарбонізація в цьому контексті подається як політична рамка, що дозволяє уникнути надмірного технократичного редукціонізму.

Підхід Всесвітньої асоціації виробників сталі (WorldSteel) є виразно галузевим і визначається комплексною стратегією, що вимагає мобілізації промисловості, урядів, ланцюгів вартості та науки [26]. Виділяються три головні важелі: ефективність технологій і процесів, максимізація доступності та використання брухту, а також впровадження проривних технологій (електрифікація, воднева металургія, уловлення вуглецю тощо). Критично важливими чинниками успішної декарбонізації визначені масштабне фінансування, розвинена інфраструктура, політики стимулювання попиту та сувора гармонізація методологій обліку викидів, яка дозволить об'єктивно визначити низьковуглецеву сталь. Оскільки асоціація є глобальним об'єднанням металургійних компаній, її підхід має виразні ідеологічні межі, а саме зосередженість виключно на технологічній модернізації в умовах очікуваного зростання світового попиту на сталь, повністю залишаючи поза увагою фундаментальні питання економії ресурсів чи свідомого скорочення абсолютного споживання як засобу вирішення кліматичної кризи. Тут декарбонізація виступає передусім як галузева стратегія зниження викидів, а не як частина загальної кліматичної політики.

У парадигмі Світового банку декарбонізація – це глибока макроекономічна та фінансова реформа, яка використовує кліматичні цілі як важіль для модернізації економіки, скасування шкідливих субсидій, наповнення бюджету через вуглецеві податки та перерозподіл цих коштів на користь соціальних програм і розвитку стійкої інфраструктури [27]. Декарбонізація представлена кількома ключовими напрямками, серед яких технологічні, економічні, регуляторні та доповнювальні (заходи із соціального захисту та справедливого переходу). Світовий банк тлумачить декарбонізацію передусім як інструмент подолання бідності, фінансово-політекономічний механізм, що має ліквідувати неефективні субсидії на викопне

паливо, оподаткувати викиди і використати ці нові фінансові ресурси для подолання бідності, уникнення помилок урбанізації та стимулювання економічного зростання. Підхід інституції до трактування сутності декарбонізації металургійної індустрії – це «декарбонізація розвитку», головний акцент якого робиться на ранніх діях для уникнення «вуглецевого замикання» у країнах, що розвиваються.

Для ЄС декарбонізація виражається насамперед у політичному і регуляторному вимірах. Центальною юридичною категорією є не стільки декарбонізація, скільки кліматична нейтральність економіки та суспільства, конкретна ціль, закріплена у Європейському законі про клімат (European Climate Law) [28]. Законом передбачено, що парникові викиди та їх поглинання, які регулюються законодавством ЄС, мають бути збалансовані в межах ЄС не пізніше 2050 року, що означає зменшення викидів до чистого нуля до цієї дати, а після цієї дати ЄС має прагнути до досягнення негативних викидів. Важливо відзначити багаторівневу «парасолькову» архітектуру кліматично-промислової політики ЄС, що складається з стратегічної рамки (European Green Deal), юридично зобов'язуючої кліматичної цілі (European Climate Law), регуляторних механізмів (Fit for 55), промислової політики декарбонізації (Clean Industrial Deal) та інструменту масштабування чистих технологій (Net-Zero Industry Act). Декарбонізація в ЄС набуває характеру нормативно організованої програми конкурентоспроможного промислового перетворення, що вийшла за межі суто екологічного процесу і перетворилася на всеосяжну макроекономічну та індустріальну стратегію.

ІРСС пропонує пряме дефінітивне формулювання поняття декарбонізації як «процесу, за допомогою якого країни, окремі особи чи інші суб'єкти прагнуть досягти існування без викопного вуглецю», що зазвичай стосується скорочення викидів вуглецю в енергетиці, промисловості та транспорті. Це визначення є концептуально важливим, оскільки вказує на процесуальний характер декарбонізації та її первинний фокус саме на викопному паливі. Водночас серед визначень понять ІРСС ключовими стають споріднені, але не тотожні категорії. Наприклад, дефініція кліматичної нейтральності як «стану, за якого людська діяльність не має чистого впливу на кліматичну систему, що вимагає балансування залишкових викидів і поглинань» або

визначення чистого нульового рівня викидів як «суто математичного балансу антропогенних викидів та поглинань за певний період» [29]. IPCC не змішує клімат із політикою чи економікою, а чітко розмежовує ці поняття, надає потужну аналітичну базу для оцінки кліматичних ризиків та моделювання сценаріїв, однак не дає готових інструментів реалізації кліматичних цілей, повністю залишаючи це завдання національним урядам та глобальним інституціям на кшталт ОЕСР і Світового банку.

Різноманітність інституційних трактувань свідчить про багатовимірний характер декарбонізації. Для уточнення змістових відмінностей між зазначеними теоретичними підходами доцільно здійснити їх систематизацію (табл. 1.5).

Таблиця 1.5

Підходи до трактування сутності декарбонізації металургійної індустрії

Підхід	Організації	Сутність підходу	Основний акцент
Енергетичний	МЕА	Декарбонізація як зміна структури енергоспоживання та перехід до низьковуглецевих джерел енергії	Енергетичний перехід, сценарії нульових викидів, технологічні та поведінкові зміни
Інституційний	ОЕСР	Декарбонізація як широка економічна трансформація, що потребує узгодження комплексу політик	Економічні стимули, інституційні реформи, справедливий перехід, макроекономічна ефективність
Галузево-технологічний	Всесвітня асоціація виробників сталі	Декарбонізація як зниження вуглецевої інтенсивності виробництва через зміну технологічних маршрутів	Технологічна модернізація, брут, проривні технології, облік викидів
Кліматично орієнтований розвиток	Світовий банк	Декарбонізація як стратегія соціально-економічного розвитку	Фіскальна реформа, оподаткування викидів, подолання бідності, справедливий перехід
Нормативно-регуляторний	ЄС	Декарбонізація як юридично закріплена ціль кліматичної нейтральності, що досягається через багаторівневу систему політик	Кліматична нейтральність, промислова політика, конкурентоспроможність, зелений перехід
Кліматичний	IPCC	Декарбонізація як процес зменшення залежності країн, суб'єктів господарювання та суспільства від викопного вуглецю.	Наукова точність, дефініції, сценарії, викопний вуглець, кліматичні ризики

Джерело: узагальнено автором на основі [24-29]

Отже, систематизація підходів свідчить, що поняття «декарбонізація» не має єдиного універсального трактування, а набуває різного змісту залежно від інституційного рівня та цілей аналізу. Відтак її доцільно розглядати не лише як процес скорочення викидів CO₂, а як багатовимірну категорію, що не може бути зведена виключно до зміни виробничих технологій або переходу на низьковуглецеву енергію. З урахуванням наведеного, а також специфіки металургійного виробництва, доцільно запропонувати таке авторське визначення: **декарбонізація металургійної індустрії** є комплексним процесом технологічної, енергетичної, інституційної та економічної трансформації металургійного ланцюга створення вартості, спрямованим на скорочення прямих і непрямих викидів парникових газів, зниження питомої вуглецевої інтенсивності виробництва, забезпечення довгострокової конкурентоспроможності галузі в контексті досягнення кліматичної нейтральності з урахуванням принципів справедливого переходу.

1.2. Концептуальні моделі екологічної модернізації металургійної індустрії

У попередньому підрозділі декарбонізацію металургійної індустрії було розкрито як багатовимірний комплексний процес. В межах цього підрозділу перейдемо від категоріального аналізу декарбонізації до розгляду теоретичних концепцій і моделей, які пояснюють, яким чином кліматичні обмеження стимулюють технологічне оновлення металургійної індустрії.

Кліматичні обмеження у сучасній глобальній економіці поступово перетворилися з периферійного екологічного чинника у центр інституційного розвитку індустріальних суспільств, ставши ключовим фактором їхньої трансформації. У теоретичному вимірі таку трансформацію доцільно пояснювати через **концепцію екологічної модернізації**, яка дає змогу розглядати екологічні обмеження не лише як зовнішній тиск на промисловість, а як джерело інноваційного імпульсу. В межах концепції екологічні вимоги трактуються не як обмеження

економічного зростання або додаткова стаття витрат, а як стимул до технологічної модернізації, ресурсо- та енергоефективності, удосконалення виробничих процесів. Її значення для декарбонізації металургійної індустрії полягає в тому, що вона дозволяє поєднати екологічну мету скорочення викидів із економічною логікою модернізації виробництва, підвищення конкурентоспроможності та технологічного розвитку.

Важливе місце у формуванні цієї концепції належить Й. Губеру, який пов'язував екологічну модернізацію з ідеями промислової екології, технологічної раціоналізації та переосмислення промислового метаболізму [30]. В його розумінні економіка та екологія не взаємовиключні сфери, а такі, що мають бути інтегровані в єдиний процес розвитку індустріального суспільства. Для досягнення такої інтеграції Й. Губером пропонується два взаємопов'язані механізми:

- екологізація економіки – трансформація індустріальної системи шляхом впровадження «розумніших», нових технологій, що дозволяють відокремити економічне зростання від збільшення споживання ресурсів та обсягів викидів;
- економізація екології – надання природі статусу повноцінного фактора виробництва, використання економічних концепцій та ринкових механізмів для захисту довкілля.

Й. Губер наголошує, що вихід з екологічної кризи лежить через подальшу модернізацію або «суперіндустріалізацію», де масштабне впровадження інноваційних технологій дозволить перетворити «брудну і потворну індустріальну гусеницю» на «екологічного метелика». Відтак капіталістична логіка накопичення та модернізації виробництва може успішно функціонувати в межах екологічних обмежень, перетворюючи ці обмеження на стимул для технологічного оновлення та підвищення ресурсоефективності підприємств. Для металургійної індустрії такий підхід є особливо значущим, оскільки галузь характеризується високою енергоінтенсивністю та складними виробничими ланцюгами.

Інший важливий напрям розвитку концепції екологічної модернізації пов'язаний із працями А. Мола [31]. Відійшовши від суто технологічного детермінізму Й. Губера, він запровадив інституційний аналіз, розробивши модель тріадних мереж. Ця модель спеціально створена для вивчення того, як екологічна модернізація трансформує взаємодію в трьох вимірах:

- політичні мережі: взаємодія між державою та промисловістю (екологічна політика та регулювання);
- економічні мережі: горизонтальні та вертикальні зв'язки між бізнесом, постачальниками, споживачами та фінансовими ринками;
- суспільні мережі: взаємодія промисловості з громадянським суспільством, наукою та екологічними рухами.

У підході А. Мола екологічна модернізація розглядається не як просте посилення зовнішнього регуляторного контролю над промисловими підприємствами, а як процес поступової інтеграції екологічних критеріїв у саму логіку виробництва та управління. На відміну від командно-адміністративної моделі екологічної політики, заснованої переважно на примусі зверху, екологічна модернізація передбачає, що підприємства починають враховувати екологічні вимоги в тому числі через ринкові стимули. Для металургійної індустрії такий підхід дозволяє розглянути декарбонізацію не як окремий набір технічних заходів, а як процес інституційно вбудованої модернізації, що охоплює зміну технологічних маршрутів, інвестиційних моделей, стандартів звітності, взаємодії з регуляторами та вимог споживачів до вуглецевого сліду продукції.

Спільний внесок А. Мола та Г. Спааргарена полягає в тому, що вони розширили екологічну модернізацію до рівня теорії соціальних змін. У їхньому трактуванні модернізація екологічних відносин не обмежується впровадженням нових технологій, а передбачає зміну інституційних структур, моделей виробництва і споживання, механізмів управління та способів раціоналізації взаємодії суспільства з природним середовищем [32]. Це положення є принципово важливим для аналізу декарбонізації металургії, оскільки скорочення викидів у цій галузі неможливо забезпечити лише заміною одного технологічного елемента іншим. Воно потребує одночасної трансформації енергетичної бази, сировинної структури, регуляторних стимулів, фінансових інструментів і ринкового попиту на низьковуглецеву металопродукцію.

Окремим внеском Г. Спааргарена у розширенні теорії екологічної модернізації є глибокий соціологічний вимір [33]. Він наголошує, що екологічна криза є соціальною, а не лише фізичною чи технологічною проблемою. Його підхід важливий

тим, що він показує взаємозалежність технологічних, інституційних і соціальних змін: екологічна модернізація відбувається не лише на рівні підприємств або державної політики, а й через зміну практик споживання, суспільних очікувань, стандартів відповідальності та попиту на екологічно кращі товари. Г. Спааргарен підкреслює ключову роль «громадянина-споживача» та його щоденних звичок у стимулюванні екологічних змін. Це має особливе значення в контексті декарбонізації металургійної індустрії, оскільки попит на низьковуглецеву сталь формується не лише під впливом регуляторних механізмів або корпоративних стратегій, а і від суспільного запиту на зниження вуглецевого сліду кінцевої продукції.

Однією з найбільш впливових сучасних концепцій, що пояснюють взаємозв'язок між екологічною політикою та економічною ефективністю, є гіпотеза Портера (Porter Hypothesis), запропонована М. Портером та К. Ван дер Лінде у 1995 р. [34]. На відміну від традиційного підходу, згідно з яким екологічне регулювання розглядається як додатковий фактор витрат та обмеження конкурентоспроможності підприємств, гіпотеза Портера стверджує, що належним чином розроблені екологічні норми здатні стимулювати інновації та формувати нові джерела конкурентних переваг.

Основна ідея концепції полягає в тому, що регуляторний тиск змушує підприємства шукати більш ефективні технологічні та організаційні рішення, які не лише забезпечують дотримання екологічних вимог, але й сприяють підвищенню продуктивності використання ресурсів, зниженню виробничих витрат і зміцненню ринкових позицій. У загальному вигляді механізм дії гіпотези Портера може бути представлений у вигляді логічної послідовності (рис. 1.5).

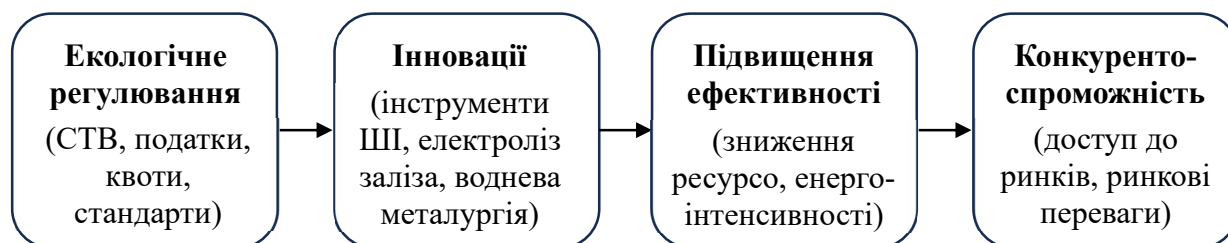


Рисунок 1.5. Механізм дії гіпотези Портера

Джерело: складено автором на основі [34]

Гіпотеза Портера не розглядається як однорідна концепція, оскільки вплив екологічного регулювання на інноваційну активність і конкурентоспроможність підприємств може проявлятися з різною інтенсивністю. У науковій літературі поширені три основні версії гіпотези Портера, запропоновані А. Джаффе та К. Палмер (табл. 1.6).

Таблиця 1.6

Основні версії гіпотези Портера

Версія гіпотези	Зміст
Слабка (Weak Porter Hypothesis)	Екологічне регулювання стимулює інноваційну активність підприємств
Сильна (Strong Porter Hypothesis)	Інновації компенсують витрати на дотримання екологічних вимог та підвищують конкурентоспроможність
Вузька (Narrow Porter Hypothesis)	Найбільший ефект досягається за умов гнучких ринкових механізмів регулювання (ETS, вуглецеве ціноутворення тощо)

Джерело: складено автором на основі [35]

З позицій даної концепції декарбонізація металургійної індустрії не повинна розглядатися виключно як витратний процес. Навпаки, впровадження низьковуглецевих технологій здатне створювати довгострокові конкурентні переваги за рахунок підвищення ресурсоефективності, зниження енергоінтенсивності виробництва, доступу до нових ринкових сегментів та відповідності вимогам міжнародного кліматичного регулювання.

Особливої актуальності положення гіпотези Портера набувають у металургійній галузі в умовах реалізації Європейського зеленого курсу, запровадження механізму CBAM та посилення ESG-вимог до виробників сталі. За таких умов конкурентоспроможність галузі дедалі більше визначається не лише традиційними факторами – доступом до сировини, енергоресурсів або масштабом виробництва, – але й рівнем технологічної модернізації, вуглецевою ефективністю продукції та здатністю підприємств адаптуватися до нових екологічних стандартів.

У контексті досягнення поставленої мети дослідження гіпотеза Портера є важливою теоретичною основою аналізу взаємозв'язку між процесами декарбонізації та конкурентоспроможністю металургійної індустрії. Саме ця концепція дозволяє обґрунтувати положення про те, що екологічна трансформація галузі може виступати

не лише вимогою міжнародної кліматичної політики, а й фактором формування нових конкурентних переваг у глобальній економіці.

Подальший розвиток ідей екологічної модернізації та гіпотези Портера знайшов відображення у концепції зеленої конкурентоспроможності (Green Competitiveness), яка сформувалася на межі теорій міжнародної конкурентоспроможності, сталого розвитку та зеленої економіки (рис. 1.6). На відміну від традиційних підходів, відповідно до яких конкурентоспроможність галузі визначається насамперед виробничими витратами, продуктивністю праці, доступом до ресурсів або ефектом масштабу, концепція зеленої конкурентоспроможності виходить із того, що в умовах кліматичної трансформації глобальної економіки екологічні характеристики продукції та виробничих процесів стають самостійним джерелом конкурентних переваг.

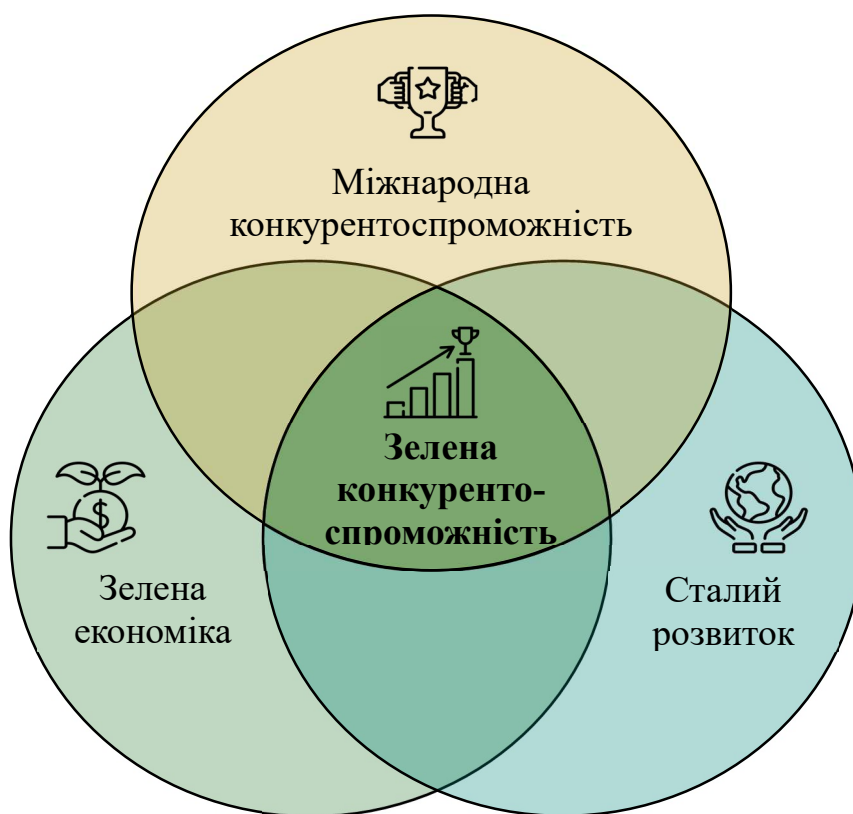


Рисунок 1.6. Концептуальна модель зеленої конкурентоспроможності

Джерело: узагальнено автором на основі [34;36]

Згідно з даною концепцією, здатність підприємств та галузей адаптуватися до екологічних вимог, впроваджувати низьковуглецеві технології та скорочувати вуглецевий слід продукції поступово перетворюється на один із ключових факторів

їхньої конкурентоспроможності на міжнародних ринках. Таким чином, екологічна ефективність розглядається не як додаткове навантаження на бізнес, а як важливий елемент формування довгострокової економічної стійкості та ринкової привабливості.

У сучасних умовах розвиток зеленої конкурентоспроможності значною мірою визначається посиленням міжнародного кліматичного регулювання, впровадженням механізмів вуглецевого ціноутворення та зростанням попиту на низьковуглецеву продукцію. Особливо важливе значення для металургійної індустрії мають такі явища, як CBAM, розвиток ринку зеленої сталі (Green Steel) та формування зеленого преміуму на низьковуглецеву продукцію (Green Premium).

У межах концепції зеленої конкурентоспроможності конкурентні переваги металургійної індустрії формуються через декілька взаємопов'язаних механізмів:

- зниження регуляторних ризиків, пов'язаних із впровадженням кліматичних вимог;
- забезпечення доступу до ринків із високими екологічними стандартами;
- підвищення інвестиційної привабливості підприємств;
- зростання попиту на низьковуглецеву продукцію з боку споживачів та промислових корпорацій;
- можливість отримання додаткової цінової премії за продукцію з низьким вуглецевим слідом.

Концептуально причинно-наслідковий зв'язок між декарбонізацією та конкурентоспроможністю металургійної індустрії зображено на рис. 1.7.



Рисунок 1.7. Концептуальна модель впливу декарбонізації на конкурентоспроможність металургійної індустрії

Джерело: узагальнено автором на основі [34;36]

Особливого значення дана концепція набуває для металургійної індустрії, оскільки металопродукція є одним із найбільш вуглецемістких промислових товарів. В умовах впровадження СВМ та зростання попиту на низьковуглецеві матеріали саме рівень декарбонізації виробництва дедалі більше визначатиме можливості підприємств інтегруватися до глобальних ланцюгів створення вартості та зберігати конкурентні позиції на міжнародних ринках.

Для цілей даного дослідження концепція зеленої конкурентоспроможності є важливою теоретичною основою оцінювання впливу декарбонізації на міжнародну конкурентоспроможність металургійної індустрії. Вона дозволяє обґрунтувати положення про те, що в умовах глобальної кліматичної трансформації рівень конкурентоспроможності галузі все більше визначатиметься не лише виробничими та ціновими параметрами, але й показниками вуглецевої ефективності, технологічної модернізації та відповідності вимогам низьковуглецевого розвитку.

Важливим напрямом розвитку сучасних теорій інноваційного розвитку є концепція інноваційних екосистем, яка сформувалася на основі досліджень мережевої взаємодії підприємств, наукових установ, державних інституцій та інших учасників інноваційного процесу. На відміну від традиційних моделей інновацій, що розглядають підприємство як основного суб'єкта технологічних змін, концепція інноваційних екосистем виходить із того, що створення та впровадження інновацій є результатом взаємодії багатьох взаємопов'язаних акторів у межах єдиного економічного простору.

Суттєвий внесок у розвиток даної концепції зробили Дж. Мур, який запропонував поняття бізнес-екосистем, а також Р. Еднер та Р. Капур, які розвинули підходи до аналізу створення цінності в межах інноваційних мереж [37-40]. Згідно з даною концепцією, інновації виникають не ізольовано на рівні окремого підприємства, а в результаті кооперації між виробниками, постачальниками, дослідницькими центрами, університетами, фінансовими інститутами та державними органами.

У контексті декарбонізації металургійної індустрії значення інноваційних екосистем суттєво зростає, оскільки впровадження низьковуглецевих технологій

потребує значних інвестицій, доступу до нових знань, розвитку інфраструктури та координації великої кількості учасників. Реалізація таких технологій, як воднева металургія, виробництво зеленої сталі, уловлювання та зберігання вуглецю або розвиток циркулярних виробничих моделей, виходить за межі можливостей окремих підприємств і потребує формування складних мереж співпраці.

Відповідно до концепції інноваційних екосистем, конкурентоспроможність галузі дедалі більше визначається не лише внутрішніми ресурсами підприємств, а й їхньою здатністю інтегруватися до інноваційних мереж, міжнародних партнерств та міжгалузевих коопераційних структур. Саме тому важливими інструментами декарбонізації металургії стають водневі кластери, промислові альянси, науково-виробничі консорціуми та міжнародні технологічні партнерства.

У практиці ЄС розвиток інноваційних екосистем реалізується через створення водневих долин, діяльність промислових альянсів у сфері чистого водню, формування транскордонних інноваційних платформ та реалізацію спільних проєктів декарбонізації енергоінтенсивних галузей. Такі механізми забезпечують концентрацію фінансових ресурсів, технологічних компетенцій та інфраструктурних можливостей, необхідних для прискорення низьковуглецевої трансформації промисловості. Концептуально вплив інноваційних екосистем на декарбонізацію металургійної індустрії може бути представлений у вигляді ланцюга (рис. 1.8).

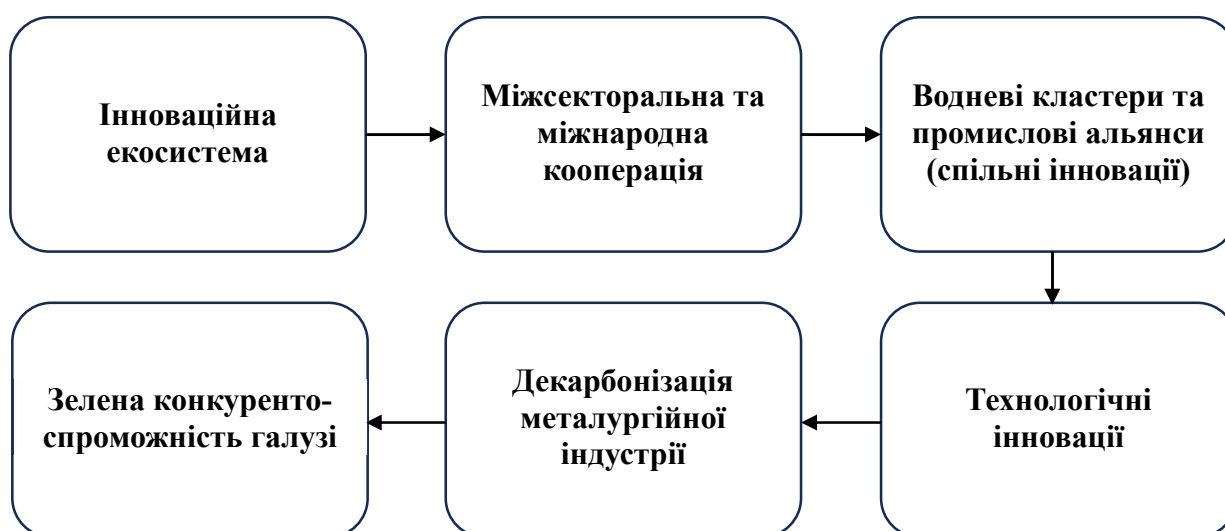


Рисунок 1.8. Вплив інноваційних екосистем на декарбонізацію металургійної індустрії

Джерело: узагальнено автором на основі [37-40]

Особливістю сучасної декарбонізації металургійної індустрії є те, що її реалізація потребує одночасних змін у кількох взаємопов'язаних секторах економіки. На відміну від попередніх хвиль технологічної модернізації, перехід до низьковуглецевого виробництва сталі залежить не лише від інновацій у самій металургії, але й від розвитку відновлюваної енергетики, водневої інфраструктури, транспортно-логістичних систем, цифрових платформ управління та фінансових механізмів підтримки зелених інвестицій. Для металургійної індустрії України дана концепція має особливе значення в контексті майбутньої інтеграції до європейських низьковуглецевих виробничих мереж.

У зв'язку з цим декарбонізація металургійної індустрії дедалі частіше розглядається як результат функціонування мережових інноваційних екосистем, у межах яких відбувається координація діяльності підприємств різних галузей, науково-дослідних установ, державних органів та міжнародних організацій. Саме така мережева взаємодія забезпечує концентрацію ресурсів, прискорення технологічного трансферу та зниження ризиків реалізації масштабних інноваційних проєктів.

Таким чином, концепція інноваційних екосистем створює теоретичне підґрунтя для обґрунтування ролі водневих кластерів, промислових альянсів та міжнародної кооперації у забезпеченні декарбонізації та довгострокової конкурентоспроможності металургійної індустрії.

Теорія технологічних переходів є одним із ключових підходів для пояснення довгострокових структурних змін у промислових системах. Її основна ідея полягає в тому, що технологія не існує автономно: вона вбудована у ширший соціотехнічний порядок. Ф. Гілз займає місце одного з провідних систематизаторів цієї теорії. У своїй ранній класичній праці 2002 року він використовує термін «технологічні переходи», проте одразу ж наповнює його широким соціотехнічним змістом: технологічні переходи передбачають не лише зміни в технології, але й зміни у практиках користувачів, регулюванні, промислових мережах, інфраструктурі та символічному значенні чи культурі [41]. Пізніше Ф. Гілз перейде до терміну «соціотехнічні переходи», що трактуватиме як нелінійні процеси, що виникають внаслідок взаємодії на трьох аналітичних рівнях в рамках багаторівневої перспективи [42]:

- соціотехнічний ландшафт: екзогенне середовище, яке включає макроекономічні тенденції, глибокі культурні патерни, демографічні зміни та макрополітичні процеси. Ландшафт змінюється повільно і створює зовнішній тиск на існуючий режим;
- соціотехнічний режим: усталені практики та правила, які стабілізують існуючі системи та роблять їх настільки стабільними, що їх дуже важко замінити чимось принципово новим;
- нішеві інновації: середовище, де нішеві актори працюють над радикальними інноваціями, які суттєво відхиляються від існуючих режимів (R&D лабораторії, субсидовані демонстраційні проєкти тощо). Вони захищають радикальні новинки від жорсткого ринкового відбору, оскільки спочатку такі інновації мають низьку продуктивність та високу вартість.

Важливою особливістю багаторівневої перспективи Ф. Гілза є відмова від лінійного пояснення технологічного переходу. Натомість він розглядає соціотехнічний перехід як процес циркулярної причинності, у межах якого кожен з рівнів не діє ізольовано, а одночасно впливає один на одного. Ландшафтні зрушення (кліматичні, економічні, енергетичні тощо) створюють тиск на існуючий режим, послаблюючи його стабільність і формуючи внутрішні напруження. У свою чергу, дестабілізований режим відкриває «вікна можливостей» для нішевих інновацій, які до цього залишалися обмеженими через домінування усталених технологій, інфраструктури, ринків і правил. Нішеві інновації впливають на режим лише тоді, коли всередині них накопичується достатній імпульс розвитку: відбувається навчання, формуються мережі акторів, стабілізуються очікування, з'являються домінуючі технологічні рішення та первинні ринки. Якщо такий внутрішній розвиток ніш збігається з напруженнями в режимі та сприятливими змінами на рівні ландшафту, виникає можливість прориву інновації.

У контексті декарбонізації металургійної індустрії це означає, що перехід від одних технологічних маршрутів виробництва до інших можливий не лише завдяки технологічній готовності цих рішень. Він потребує одночасного посилення кліматичного та ринкового тиску на традиційні вуглецемісткі виробництва, формування економічно життєздатних ніш низьковуглецевих технологій, розвитку

енергетичної та сировинної інфраструктури, а також зміни регуляторних стимулів і попиту на «зелену» сталь.

У своїй статті 2007 року Ф. Гілз та Й. Схот пропонують типологію шляхів соціотехнічного переходу, виходячи з часової послідовності та характеру взаємодії між трьома аналітичними рівнями багаторівневої перспективи (табл. 1.7).

Таблиця 1.7

Типологія шляхів соціотехнічного переходу

Тип переходу	Умови виникнення	Характер взаємодії між нішами та режимом	Основний результат
Трансформація	Помірний ландшафтний тиск, нішеві інновації ще недостатньо розвинені для витіснення чинного режиму	Зовнішній тиск змушує акторів режиму змінювати напрям розвитку. Нішеві розробки не можуть витіснити режим, але їхні ідеї та практики запозичуються акторами режиму	Поступова модифікація чинного режиму без його радикального заміщення
Реконфігурація	Тиск ландшафту від помірного до сильного, нішеві інновації вже достатньо розвинені	Ніші мають симбіотичний характер. Нові технології переймаються акторами режиму для вирішення локальних проблем, не змінюючи базову архітектуру	Накопичення нових елементів з часом призводить до перебудови та масштабної реконфігурації
Технологічне заміщення	Тиск ландшафту – сильний шок, нішеві інновації вже є зрілими, стабільними та накопичили внутрішній імпульс	Нішеві інновації мають конкурентний характер. Користуючись «вікном можливостей» через дестабілізацію режиму, вони вступають у пряму ринкову боротьбу зі старими технологіями	Нова технологічна траєкторія повністю витісняє домінантний режим, ширша інфраструктурна та інституційна перебудова
Розузгодження та повторне узгодження	Тиск ландшафту – раптові, масштабні «лавиноподібні» зміни; Готовність ніш – чіткої інновацій-замінника ще немає	Старий режим швидко втрачає стабільність, актори втрачають до нього довіру. Утворений вакуум заповнюється кількома незрілими нішами, які тривалий час конкурують між собою	Після періоду невизначеності одна з альтернатив стабілізується, формує нові правила, ринки й інфраструктуру та стає основою нового режиму.

Джерело: складено автором на основі [43]

Наведена типологія демонструє, що декарбонізація металургійної індустрії не є лінійним процесом, а може відбуватися за різними сценаріями. Залежно від інтенсивності зовнішнього тиску, ступеня стійкості чинного режиму, рівня зрілості

альтернативних інновацій, ресурсних та інституційних передумов перехід може відбуватися через поступову трансформацію, реконфігурацію, технологічне заміщення або формування нового режиму після періоду системного розузгодження. Такий підхід дозволяє аналізувати декарбонізацію не лише як зміну технологічної бази виробництва, а як перебудову ширшої системи взаємопов'язаних технологічних, економічних, інституційних та інфраструктурних елементів.

Важливе місце серед сучасних технологічних концепцій модернізації промисловості займає концепція Індустрії 4.0 (Industry 4.0), яка передбачає інтеграцію цифрових технологій, автоматизації, штучного інтелекту та кіберфізичних систем у виробничі процеси [44]. На відміну від попередніх етапів промислового розвитку, Індустрія 4.0 забезпечує перехід від автоматизації окремих виробничих операцій до створення інтелектуальних виробничих екосистем, здатних здійснювати безперервний моніторинг, аналіз та оптимізацію технологічних процесів у режимі реального часу. У контексті модернізації металургійної індустрії цифровізація виступає одним із ключових інструментів декарбонізації, оскільки сприяє підвищенню енергоефективності виробництва, скороченню матеріальних втрат, оптимізації використання сировини та зменшенню питомих викидів парникових газів. Практична реалізація концепції Індустрії 4.0 у металургії охоплює використання цифрових двійників (Digital Twin), інтелектуальних виробництв (Smart Factory), технологій штучного інтелекту для управління енергоспоживанням, систем прогнозного технічного обслуговування (Predictive Maintenance), моніторингу викидів у режимі реального часу та цифрових паспортів продукції (Digital Product Passport). Таким чином, концепція Індустрії 4.0 доповнює теорію технологічних переходів та концепцію екологічної модернізації, формуючи технологічний напрям сучасних підходів до модернізації металургійної індустрії в умовах глобальної кліматичної трансформації.

Розглянуті теоретичні концепції формують концептуальну основу модернізації металургійної індустрії в умовах глобальної декарбонізації. Водночас вони потребують подальшої конкретизації на рівні виробничих процесів, тобто тих технологічних маршрутів та технологій, через які фактично здійснюється або може

здійснюватися скорочення вуглецевої інтенсивності виробництва сталі, оскільки саме специфіка виробництва визначає обсяги генерованої емісії парникових газів. У сучасній металургії співіснують різні способи виробництва сталі, що відрізняються як за сировинною базою, так і за технологією (рис. 1.9).

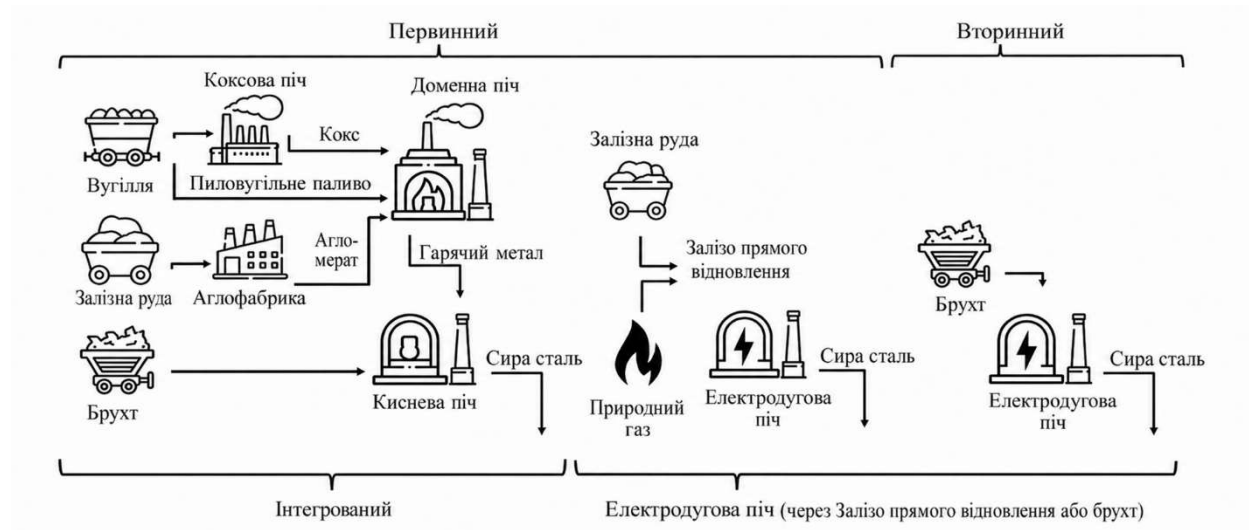


Рисунок 1.9. Основні технологічні маршрути виробництва сталі

Джерело: [45, с. 7]

Найбільш поширені способи виробництва сталі доцільно класифікувати за двома взаємопов'язаними, але не тотожними ознаками: за походженням сировини та за технологічним маршрутом. За сировиною умовно виокремлюють первинне, що базується на використанні залізрудної сировини з її попереднім відновленням до чавуну або заліза прямого відновлення (DRI), та вторинне, основною сировиною для якого виступає металобрухт. За технологічним маршрутом виробництва розрізняють інтегрований маршрут доменна піч – кисневий конвертер (BF-BOF) та маршрути із використанням електродугової печі (EAF), сировиною для яких може слугувати залізо прямого відновлення (DRI-EAF), металобрухт (scrap-EAF) або їх поєднання. Енергетичні та екологічні показники існуючих сталеплавильних технологій суттєво відрізняються залежно від технологічного маршруту та структури сировини (табл. 1.8).

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	1,6-2,0
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: [46, с. 17]

Найбільш енергоінтенсивним та вуглецемістким є традиційний маршрут доменна піч – мартенівська піч (BF-ONF), що був започаткований ще в середині XIX століття та на сьогодні практично не експлуатується. Киснево-конвертерний спосіб, що набув розповсюдження у 70-х роках XX століття, має частково нижчі показники як енергоспоживання, так і емісії CO₂. Проміжний варіант, що включає в себе як традиційну металургійну складову у вигляді доменної печі, так і більш екологічне електросталеплавильне виробництво у вигляді дугової печі, характеризується ще нижчими енергетичними витратами та викидами. Використання металізованої сировини у поєднанні з дуговими печами характеризується відносно вищими витратами енергії, однак забезпечує нижчий рівень емісії. Найнижчими показниками витрат енергії та викидів CO₂ характеризуються технологічні маршрути електросталеплавильного виробництва, основною сировиною яких є металобрухт.

Основні вектори декарбонізації металургійного виробництва доцільно класифікувати за характером їхнього впливу на джерела викидів парникових газів. Спираючись на методологію GHG Protocol, це прямі викиди виробничого процесу (Scope 1), непрямі викиди від використання енергії (Scope 2), непрямі викиди, передані в рамках ланцюга створення вартості (Scope 3).

До зменшення емісії прямих парникових викидів (Scope 1) автором віднесено:

- уловлювання, зберігання та / або використання вуглецю (CCUS⁶);
- екологічна оптимізація доменної печі;
- виробництво DRI з можливістю використання «зеленого» водню як відновника;
- електроліз заліза.

CCUS передбачає уловлювання CO₂ із великих стаціонарних джерел, таких як електростанції або промислові підприємства, що використовують викопне паливо або біомасу. Якщо уловлений CO₂ не використовується на місці, він стискається і транспортується до місця застосування, наприклад, на підприємства хімічної промисловості або ізолюється за допомогою закачування у глибокі геологічні формації, такі як виснажені нафтові та газові родовища або соляні водоносні горизонти [47]. Відповідно до даних МЕА, вартість застосування CCUS може відрізнитись залежно від джерела викидів та галузі. В той час як пряме вловлювання з повітря коштує найдорожче на рівні 134-342 USD/т CO₂-екв, вартість технології вловлювання з повітря при виробництві етанолу коштує 15-25 USD/т CO₂-екв, а для виробництва чавуну та сталі такий показник орієнтовно складає 40-100 USD/т CO₂-екв [48]. За даними Всесвітньої асоціації виробників сталі у 2024 році середня інтенсивність викидів CO₂ за найбільш поширеним у світі технологічним маршрутом BF-BOF склала 2,34 т/т сталі [49]. Це означатиме, що технологія CCUS може потенційно збільшити вартість конвертерної сталі на 93-234 USD/т. Очікується, що подальший розвиток технології та її масштабування сприятимуть зниженню витрат і підвищенню економічної доцільності її впровадження. За даними аналітичного центру Global CCS Institute на 2024 рік в експлуатації перебуває лише одна установка з уловлювання вуглецю на металургійному заводі – це об'єкт Al Reyadah на підприємстві Emirates Steel Industries. У Північній Америці та Азійсько-Тихоокеанському регіоні знаходяться в розробці ще шість подібних проєктів у секторі виробництва чавуну та сталі [50, с. 21].

Для екологічної оптимізації доменної печі можуть бути використані технології Blue Blast Furnace, що вирізняються відносно низькими капітальними витратами та

⁶ Carbon Capture, Utilisation and Storage (CCUS) – комплекс технологій уловлювання, використання та зберігання CO₂ з метою скорочення викидів парникових газів у промисловості

здатністю оперативно знизити викиди CO_2 приблизно на 15%. Основна особливість цієї технології полягає у генерації синтез-газу та його впорскуванні в нижню частину шахти доменної печі через новий кільцевий повітропровід. Синтез-газ, що складається переважно з чадного газу (CO) та водню (H_2), виконує функцію відновника, частково заміщуючи кокс у процесі відновлення залізорудної шихти. Розвиваючи концепцію Blue Blast Furnace, група SMS розробляє Paul Wurth EASyMelt – електрично підтримуваний плавильний агрегат на основі синтез-газу. Ця технологія є альтернативою технологічного маршруту DRI-EAF та водночас виступає комплементарною ланкою, яка дозволяє збалансувати співвідношення між доступністю залізної руди та зростаючим попитом на «зелену» сталь [51].

Виробництво металізованої сировини, а саме DRI або його гарячебрикетованої форми (HBI), на сьогодні найбільше представлене такими технологічними процесами як Midrex та Energiron [46, с. 22]. У своєму традиційному процесі вони використовують природний газ для формування відновлювальної газової суміші, а отримане DRI переважно застосовують у електродугових печах для виплавки сталі. Це дозволяє зменшити вуглецемісткість виробництва у порівнянні з маршрутом BF-BOF, однак не забезпечує повної декарбонізації через збереження використання викопного природного газу.

Для зменшення емісії CO_2 доцільно заміщення природного газу в технологічному процесі «зеленим» воднем. Одним із найбільш показових прикладів практичної апробації водневої металургії є проєкт Hybrit, що реалізується виробником сталі компанією SSAB, гірничодобувною компанією LKAB і енергетичною компанією Vattenfall у Швеції. Проєкт спрямований на декарбонізацію всього ланцюжка створення вартості сталі, включаючи видобуток залізної руди, а також будівництво пілотного заводу для зберігання водню. За даними Hybrit, процес виробництва сталі за цією технологією створює мінімальні викиди CO_2 , що становлять менше ніж 0,05 т CO_2 -екв/т сталі, що є суттєво нижчим порівняно з традиційним виробництвом [52]. Це суттєво нижче у порівнянні з маршрутом BF-BOF, однак масштабування такого виробництва залежить від економічної доступності «зеленого» водню, розвитку відновлюваної енергетики та значних інвестицій у нову промислову інфраструктуру.

Технології електролізу заліза є одним із перспективних напрямів радикального зниження вуглецемісткості металургійного виробництва, оскільки потенційно дозволяють отримувати первинне залізо без використання викопного палива. Важливою умовою для цього є використання низьковуглецевої енергії. Технологічний процес виробництва передбачає електроліз розплавлених оксидів заліза, що проводять на постійному струмі з виділенням кисню на аноді та рідкого заліза на катоді [46, с. 32]. Важливо відзначити, що дана технологія наразі перебуває на стадії розробки, і її широке впровадження потребує подальших досліджень та вдосконалення. Корпорація ArcelorMittal в 2023 році задекларувала плани будівництва першого в світі заводу Volteron, що використовуватиме технологію низькотемпературного електролізу заліза, з метою запуску повноцінного виробництва у 2027 році [53].

До зменшення емісії непрямих парникових викидів від використання енергії (Score 2) автором віднесено:

- енергоефективність та збільшення частки електроенергії з ВДЕ;
- цифровізація та штучний інтелект.

Відповідно до даних ОЕСР, на виробництво чавуну і сталі припадає 8% від всіх глобальних викидів енергетичного сектору [54]. Відтак використання електрометалургійних технологій без декарбонізації енергетичного сектору саме по собі не гарантує низьковуглецевого характеру виробництва. Для декарбонізації металургійної індустрії важливим є не лише скорочення прямих питомих викидів, а й перехід до споживання низьковуглецевої енергії, що може бути реалізовано через різні моделі. Однією з таких моделей є забезпечення власної генерації ВДЕ (СЕС, ВЕС тощо), що дасть змогу підвищити рівень енергетичної автономності і зменшити залежність від зовнішніх джерел енергопостачання. Іншим важливим інструментом можуть стати довгострокові договори із зовнішніми постачальниками електроенергії з відновлюваних джерел, що дозволить забезпечити доступ до низьковуглецевої електроенергії без обов'язкового будівництва власної генерації. Перспективним напрямом є й інтеграція ВДЕ з розподільчими електромережами, системами

накопичення енергії та гібридними енергетичними рішеннями, а також енергетичні коопераційні проєкти.

Провідні виробники стали в усьому світі все більше використовують штучний інтелект і цифрові технології для підвищення ресурсоефективності та зменшення емісії CO₂. Зокрема, China Baowu Group запровадила власну платформу штучного інтелекту, орієнтовану на оптимізацію виробничих процесів, розподіл ресурсів, зниження енергоспоживання та вуглецевих викидів [55]. Nippon Steel застосовує бездротові IoT-датчики й цифрові двійники для моніторингу виробничих майданчиків у режимі реального часу, раннього виявлення аномалій і прогнозування зносу обладнання [56]. У 2021 році доменна піч №2 на заводі Pohang Works компанії POSCO була відзначена Всесвітнім економічним форумом за використання системи керування доменною піччю на основі штучного інтелекту. POSCO оцифрувала багаторічний досвід операторів і застосувала глибоке машинне навчання, створивши по суті «доменну піч із штучним інтелектом», яка здатна самостійно коригувати параметри роботи. Ця система дозволила збільшити виробництво гарячого металу на 240 тонн на добу без додаткових витрат енергоресурсів [57]. Подібні ініціативи на основі штучного інтелекту використовуються також ArcelorMittal та JSW Steel [58; 59].

Подальший розвиток таких підходів спостерігається у впровадженні сторонніх спеціалізованих цифрових рішень, орієнтованих на оптимізацію виробничих процесів у металургії. Окремий напрям формують спеціалізовані цифрові рішення сторонніх постачальників, зокрема Fero Labs, які використовуються для оптимізації роботи металургійних підприємств у режимі реального часу, ефективнішого використання сировини й енергії та зниження виробничих витрат. Так, на потужностях Gerdau у штаті Вірджинія впровадження таких рішень дало змогу скоротити витрати на сировину приблизно на 3 USD/т та зменшити відхилення якості продукції на 15% [60]. Отже, цифровізація та інструменти штучного інтелекту можуть стати важливим операційним механізмом підвищення ресурсної й енергетичної ефективності, що опосередковано сприяє зниженню вуглецевої інтенсивності галузі.

До зменшення емісії непрямих викидів, переданих в рамках ланцюга створення вартості (Score 3), автором віднесено таке:

- стимулювання заготівлі та переробки металобрухту, рециклінг;
- раціональне використання сталі;

Переробка та циркулярна економіка критично необхідні металургійному сектору для досягнення вуглецевої нейтральності, адже електросталеплавильні технологічні маршрути з використанням металобрухту є найменш енергоінтенсивними та найбільш екологічними, а також мають високий ступінь комерціалізації. За прогнозами ОЕСР використання металобрухту у виробництві сталі має зрости до 45-50% до 2050 року для досягнення цілей Паризької угоди. Деякі країни вважають металобрухт стратегічним ресурсом і обмежують його експорт тарифним або нетарифним регулюванням. Два суттєві постачальники металобрухту, як-от Китай і росія, мають значні експортні обмеження металобрухту, водночас країни ОЕСР таких обмежень наразі майже не використовують. Формально понад половину світових експортних обмежень металобрухту запроваджують країни Африки, але їхня частка в глобальному експорті брухту поки незначна [61].

Металургійна переробна промисловість є важливим чинником як для циркулярної економіки, так і для кліматичної політики, оскільки сприяє збереженню первинних ресурсів, енергії та зменшенню викидів вуглецю. Європейська конфедерація переробної промисловості наводить такі переваги рециклінгу [62]:

- зменшення обсягів захоронення металевих відходів на звалищах, що не лише призводить до втрати цінної сировини, а й може негативно впливати на навколишнє середовище (наприклад, через вимивання шкідливих речовин у водойми);
- заощадження до 20 разів більше енергії порівняно з її витратами на видобуток металів із руди при збереженні якості матеріалу, що безпосередньо впливає на вартість повторної обробки цих металів для виготовлення кінцевої продукції;
- зниження не тільки емісії парникових газів порівняно з їх первинним виробництвом (тобто видобутком), а також супутнього впливу на водні ресурси та ґрунти. Використання переробленого металу замість природних руд скорочує забруднення повітря на 80%, забруднення води – на 76%, а споживання води – на 40%.

Підвищення доступності металобрухту та нарощування обсягів його переробки є одним із ключових напрямів формування сталого ланцюга постачання. Для цього

доцільно розвивати співпрацю з товаровиробниками металовмісної продукції щодо оптимізації конструкції виробів і впровадження принципів екодизайну. Такий підхід передбачає проєктування металевих конструкцій із урахуванням можливості їх легкого демонтажу, сортування та повторного використання. Практичними інструментами можуть бути зменшення частки складних сплавів, мінімізація змішаних матеріалів, що ускладнюють переробку, а також ширше використання матеріалів із високою придатністю до рециклінгу. Металовмісна продукція має створюватися з урахуванням її подальшого життєвого циклу, а виробники й споживачі повинні мати належні стимули для збирання, постачання та повторної переробки металевої сировини.

Таким чином, теоретичні концепції, розглянуті у підрозділі, формують багаторівневу методологічну основу дослідження модернізації металургійної індустрії. Для цілей подальшого дослідження ці концепції було систематизовано, конкретизовано на рівні практичних напрямів модернізації в умовах глобальної декарбонізації (табл. 1.9). Систематизація здійснювалася за логікою переходу від загальнотеоретичних концепцій до конкретних напрямів їх реалізації у металургійному секторі. Це дало змогу виокремити ті концептуальні положення, які безпосередньо пояснюють технологічне оновлення, зміну конкурентних умов, формування зелених ланцюгів створення вартості та інституційне забезпечення декарбонізації галузі.

Таблиця 1.9

Систематизація теоретичних концепцій модернізації металургійної індустрії в умовах глобальної декарбонізації

Теоретична концепція	Представники	Основні положення	Значення для дослідження модернізації металургійної індустрії
Екологічна модернізація	Й. Губер, А. Мол, Г. Спааргарен	Екологічні обмеження стимулюють технологічне оновлення виробництва та структурну трансформацію економіки	Теоретичне обґрунтування декарбонізації металургійної індустрії через технологічну, енергетичну та виробничу модернізацію

Теоретична концепція	Представники	Основні положення	Значення для дослідження модернізації металургійної індустрії
Гіпотеза Портера	М. Портер, К. ван дер Лінде	Екологічне регулювання стимулює інновації, які можуть підвищувати конкурентоспроможність підприємств та галузей	Пояснює взаємозв'язок між декарбонізацією, інноваціями та конкурентоспроможністю металургійної індустрії
Теорія технологічних переходів	Ф. Гілз, Й. Схот	Перехід до нової технологічної парадигми відбувається через комплексну зміну соціотехнічних режимів	Пояснює трансформацію металургійного виробництва від BF-BOF до EAF, DRI-H ₂ та інших низьковуглецевих технологій
Концепція Індустрії 4.0	Х. Кагерман, В. Вальстер, Й. Хельбіг	Цифровізація виробничих процесів, інтеграція кіберфізичних систем, Інтернету речей, штучного інтелекту та аналітики великих даних у промислове виробництво.	Обґрунтовує цифрову модернізацію металургійної індустрії як передумову підвищення ресурсної та енергетичної ефективності, скорочення вуглецевої інтенсивності виробництва, впровадження систем моніторингу викидів і формування зеленої конкурентоспроможності галузі
Концепція зеленої конкурентоспроможності	М. Портер, К. ван дер Лінде, ОЕСР	Екологічна ефективність і низьковуглецеве виробництво стають джерелом конкурентних переваг	Обґрунтовує вплив декарбонізації на міжнародну конкурентоспроможність металургійної індустрії, розвиток зеленого преміуму, зеленої сталі
Концепція інноваційних екосистем	Дж. Мур, Р. Еднер, Р. Капур	Інновації формуються внаслідок взаємодії мережі взаємопов'язаних учасників та спільного створення цінності	Пояснює роль водневих кластерів, промислових альянсів та міжнародної кооперації у процесах декарбонізації металургії

Джерело: систематизовано автором на основі [30-44]

Проведена систематизація теоретичних підходів дозволяє виділити три взаємопов'язані напрями осмислення модернізації металургійної індустрії в умовах глобальної декарбонізації.

1. Технологічний – охоплює концепцію екологічної модернізації, теорію технологічних переходів та концепцію Індустрії 4.0, які пояснюють переорієнтацію технологічних маршрутів на низьковуглецеві технології, цифровізацію виробничих процесів, підвищення ресурсної й енергетичної ефективності та впровадження

інтелектуальних виробничих систем як основи декарбонізації металургійної індустрії.

2. Конкурентний – представлений гіпотезою Портера та концепцією зеленої конкурентоспроможності, що дають змогу розкрити зв'язок між екологічним регулюванням, інноваціями, зниженням вуглецевої інтенсивності та формуванням нових конкурентних переваг на світових ринках сталі.

3. Мережевий – пов'язаний із концепціями інноваційних екосистем та глобальних ланцюгів створення вартості, які акцентують увагу на ролі промислових альянсів, водневих кластерів, міжнародної науково-технологічної кооперації, взаємодії держави, бізнесу й інституцій розвитку, а також інтеграції металургійних підприємств у глобальні виробничі мережі та механізмах трансферу доданої вартості й вбудованих викидів вуглецю.

Отже, сукупність розглянутих концепцій формує теоретико-методологічну основу дослідження модернізації металургійної індустрії в умовах кліматичної трансформації світової економіки. Їх поєднання дозволяє розглядати декарбонізацію металургії не лише як процес технологічного оновлення, а як комплексну трансформацію технологічних маршрутів, енергетичної бази, інфраструктури та механізмів міжнародної конкурентоспроможності галузі.

Особливу роль у цій системі відіграє концепція зеленої конкурентоспроможності, яка виконує зв'язувальну функцію між різними вимірами модернізації. Вона дає змогу обґрунтувати, що в умовах глобальної декарбонізації конкурентні позиції металургійної індустрії дедалі більше визначаються не лише масштабами виробництва, собівартістю чи доступом до сировини, а й здатністю виробників знижувати вуглецеву інтенсивність продукції, підтверджувати її екологічні характеристики, відповідати кліматичним вимогам міжнародних ринків і створювати додану вартість у сегменті низьковуглецевої сталі. Відтак зелена конкурентоспроможність виступає ключовою аналітичною категорією для подальшого дослідження модернізації металургійної індустрії, оскільки поєднує екологічну ефективність, інноваційність, технологічне оновлення та довгострокову ринкову стійкість галузі.

1.3. Методологічні підходи до оцінки декарбонізації світового металургійного сектору

Інституційно-регуляторне середовище декарбонізації металургійної індустрії доцільно розглядати як багаторівневу систему глобального кліматичного регулювання, у межах якої міжнародні угоди, регіональні політики, галузеві мережі, торговельні механізми, стандарти звітності та інвестиційні критерії поступово перетворюють екологічні параметри сталі на один із ключових складових її міжнародної конкурентоспроможності.

Базовою інституційною рамкою глобальної кліматичної політики є Рамкова конвенція ООН про зміну клімату. Конвенція чітко формулює принцип «спільної, але диференційованої відповідальності», згідно з яким усі країни мають долучатися до протидії зміні клімату, але розвинуті країни повинні відігравати головну роль та брати на себе конкретні зобов'язання щодо обмеження викидів в усіх відповідних секторах, включаючи енергетику, транспорт і промисловість [63]. Значення конвенції для декарбонізації металургійної індустрії полягає не лише у створенні міжнародного переговорного майданчика, а й у формуванні загальної логіки кліматичної відповідальності держав, у межах якої скорочення викидів парникових газів поступово перетворюється на обов'язковий елемент соціально-економічного розвитку.

В рамках UNFCCC сторонами кожного року проводяться конференції для ухвалення рішень, необхідних для її ефективного здійснення. Саме в межах COP були ухвалені ключові міжнародні кліматичні домовленості, зокрема Кіотський протокол 1997 року та Паризька угода 2015 року. Якщо Кіотський протокол започаткував практику кількісних зобов'язань щодо скорочення викидів для окремих груп країн, то Паризька угода сформувала більш універсальну модель, де «всі Сторони здійснюватимуть амбітні зусилля». Метою цього глобального міжнародного договору визначено «стримання зростання глобальної середньої температури значно нижче 2°C понад доіндустріальні рівні і докладання зусиль з метою обмеження зростання

температури до 1,5°C», а його модель базується на національно визначених внесках, що містять зобов'язання по скороченню і обмеженню викидів та інші кліматичні дії [64]. Паризька угода є не прямим регулятором процесу декарбонізації металургійного сектору, а джерелом політичного та нормативного імпульсу для трансформації промислових секторів.

Поряд із глобальною кліматичною архітектурою важливе значення має інституційна система Світової організації торгівлі (СОТ), яка не формує власного кліматичного мандату, однак визначає правові межі застосування торговельних, екологічних і захисних заходів. Світова організація торгівлі відповідно до тексту Марракеської угоди, має чотири цілі, серед яких «прагнення захистити й зберегти навколишнє середовище та поліпшити засоби для досягнення цього в такий спосіб, який є сумісним з їхніми відповідними потребами та інтересами на різних рівнях економічного розвитку» [65]. Згідно з правилами СОТ члени організації можуть вживати пов'язані з торгівлею заходи, спрямовані на захист навколишнього середовища, за умови виконання ряду умов, щоб уникнути зловживання такими заходами в протекціоністських цілях. У контексті металургійної індустрії це має особливе значення, оскільки правила СОТ впливають на доступ продукції до зовнішніх ринків, допустимість кліматично обґрунтованих торговельних вимог та можливості держав щодо захисту національних товаровиробників.

У межах СОТ існує три види торговельного захисту: антидемпінгові, компенсаційні та спеціальні захисні заходи. Водночас Угода СОТ про субсидії та компенсаційні заходи у первинній редакції передбачала категорію субсидій, що не давали підстав для вжиття заходів. Відповідно до підпункту «с» пункту 8.2 статті 8 субсидіями, що не дають підстави для ужиття заходів, вважаються сприяння у прискореній адаптації наявних потужностей до нових вимог щодо охорони довколишнього середовища, які вводяться відповідно до закону та (або) нормативного акту і проявляються у більших обмеженнях і фінансових витратах фірм, за умови, що така допомога [66]:

- 1) є єдиноразовим заходом і не повторюється;
- 2) обмежена до 20 % від витрат на адаптацію;

- 3) не покриває витрат на заміну і експлуатацію устаткування, на яке надається допомога, оскільки такі витрати повинні цілком нести самі компанії;
- 4) прямо прив'язана до планованого фірмою зменшення забруднення довкілля і є пропорційною йому, а також не покриває економії на виробничих витратах, якої може бути досягнуто таким чином;
- 5) надається всім фірмам, які можуть пристосувати нове устаткування та (або) виробничі процеси.

Водночас слід враховувати, що положення статті 8 Угоди про субсидії та компенсаційні заходи мали тимчасовий характер, тому на сьогодні в СОТ такі екологічні субсидії не можуть автоматично розглядатися як такі, що не дають підстав для вжиття заходів.

Питання охорони навколишнього середовища може за своєю сутністю призводити до певних обмежень у сфері торгівлі, що своєю чергою здатне зачіпати права інших членів Світової організації торгівлі. Водночас стаття XX ГАТТ 1994 дозволяє країнам вживати заходи задля захисту довкілля, однак такі заходи не повинні впроваджуватись у спосіб, що становить собою свавільну або невиправдану дискримінацію. Іншими словами, застосування таких заходів є допустимим за умови, що вони не використовуються як прихований засіб обмеження міжнародної торгівлі або дискримінації інших країн-учасниць СОТ. Згідно зі статтею XX ГАТТ 1994 ніщо в цій Угоді не повинно тлумачитися таким чином, щоб перешкоджати введенню або застосуванню будь-якою стороною заходів: «b) необхідних для захисту життя чи здоров'я людей, тварин та рослин; g) що стосуються збереження природних ресурсів, які вичерпуються, якщо такі заходи застосовуються разом з обмеженням внутрішнього виробництва чи споживання» [67].

Таким чином, декарбонізація металургійної індустрії є капіталомістким процесом і в більшості країн здійснюватиметься лише за умов державної підтримки. В рамках СОТ за певних умов така підтримка може бути кваліфікована як надання несправедливих конкурентних переваг, що викривлює умови на світових ринках. Для металургійної галузі це означає, що державна підтримка декарбонізаційних трансформацій є правомірною лише тоді, коли не перетворюється на інструмент

протекціонізму під кліматичним прикриттям, а відповідає правилам справедливої конкуренції та недискримінації.

У цьому контексті важливого значення набуває СВАМ, логіка функціонування якого безпосередньо пов'язана з функціонуванням СТВ ЄС (EU ETS⁷). У межах цієї системи регулятор визначає не фіксовану ціну викидів, а їхній граничний обсяг, після чого дозволи на викиди розподіляються або продаються підприємствам. Подальше ціноутворення формується через ринкову торгівлю такими дозволами: підприємства з вищими викидами купують додаткові дозволи, тоді як підприємства, які скоротили емісію, можуть продавати невикористані дозволи. У такий спосіб СТВ ЄС створює економічний стимул до зменшення викидів і водночас забезпечує дотримання загального екологічного обмеження.

Для металургійної індустрії ця логіка має особливе значення, оскільки металургійні компанії в ЄС несуть витрати, пов'язані з вуглецевим регулюванням, тоді як імпортована продукція з третіх країн без еквівалентного регулювання може отримувати цінову перевагу через відсутність або нижчий рівень інтерналізації вуглецевих екстерналій. Це створює ризик «витоку вуглецю», коли виробництво або споживання зміщується на користь продукції з вищими викидами, але нижчими регуляторними витратами.

Саме тому СВАМ, який поширюється на низку вуглецемістких товарів, зокрема залізо і сталь, цемент, алюміній, добрива, електроенергію та водень, виступає зовнішнім доповненням до СТВ ЄС. Основна ідея цього механізму полягає у вирівнюванні умов конкуренції між європейськими виробниками, які сплачують за викиди в межах СТВ ЄС, та іноземними постачальниками, які можуть працювати в юрисдикціях із менш жорстким кліматичним регулюванням. Імпорттери товарів, на які поширюється СВАМ, повинні декларувати вбудовані у продукцію викиди та подавати відповідну кількість СВАМ-сертифікатів, вартість яких пов'язана з ціною дозволів у системі СТВ ЄС. Якщо під час виробництва імпортованих товарів у країні походження

⁷ European Union Emissions Trading System (EU ETS) – система торгівлі викидами ЄС, заснована на ринковому механізмі купівлі-продажу квот на викиди парникових газів

вже було сплачено вуглецевий платіж, відповідна сума може бути врахована при визначенні зобов'язань у межах СВАМ.

Водночас СВАМ не є ізольованим інструментом ЄС, оскільки його запровадження стимулює треті країни до перегляду власної кліматичної та торговельної політики. Одна група країн розглядає або готує аналоги (Велика Британія, Канада, Австралія, Тайвань і Південна Корея), друга адаптує свої внутрішні інструменти кліматичної політики (Японія, Туреччина, В'єтнам, Сербія), а третя критикує або оскаржує (Індія, Китай, росія, Бразилія).

Отже, визначено міждержавний та наднаціональний рівні кліматичного регулювання. Водночас практична реалізація кліматичних вимог у металургійній індустрії значною мірою залежить і від галузевого рівня координації, представленого професійними асоціаціями та об'єднаннями. Міжнародні мережі металургійного сектору формуються навколо ключових виробників, серед яких Китай забезпечує понад половину світового виробництва, а разом з іншими провідними виробниками, такими як Індія, ЄС, США, Японія, Південна Корея, росія та Туреччина, він формує основу глобального сталеливарного сектору, що у 2024 р становило 86% світового виробництва [49]. У процесі аналізу було здійснено групування основних галузевих організацій, що представляють виробників сталі (табл. 1.10). До наведеної класифікації не включено категорію «інші» (1,696 млн т) через складнощі з визначенням регіону та походження. Водночас у класифікацію увійшли такі країни:

- Азія та Океанія: Китай, Індія, Японія, Південна Корея, В'єтнам, Тайвань, Індонезія, Малайзія, Бангладеш, Австралія, Пакистан, Таїланд, Філіппіни, Північна Корея, Нова Зеландія, Сінгапур, М'янма, Шрі-Ланка;
- ЄС: Німеччина, Італія, Іспанія, Франція, Австрія, Польща, Бельгія, Нідерланди, Словаччина, Швеція, Фінляндія, Чехія, Португалія, Люксембург, Румунія, Греція, Словенія, Болгарія, Угорщина, Хорватія;
- Північна Америка: США, Мексика, Канада, Гватемала, Куба, Сальвадор;
- СНД: росія, Казахстан, Білорусь, Узбекистан, Молдова, Азербайджан;
- Близький Схід: Іран, Саудівська Аравія, Об'єднані Арабські Емірати, Оман, Ірак, Бахрейн, Катар, Кувейт, Ізраїль, Йорданія, Ємен;

- Інша Європа (не ЄС): Туреччина, Україна, Велика Британія, Сербія, Швейцарія, Норвегія, Боснія і Герцеговина, Македонія, Грузія, Чорногорія;
- Південна Америка: Бразилія, Аргентина, Перу, Колумбія, Чилі, Еквадор, Уругвай, Венесуела, Парагвай;
- Африка: Єгипет, Південна Африка, Алжир, Марокко, Лівія, Нігерія, Кенія, Гана, Ангола, Танзанія, Туніс.

Таблиця 1.10

Мережевізація виробників сталі у світі

Група	Вир-во сталі, млн т (2024)	Регіональні організації	Національні організації (країни з вир-вом сирової сталі більше 5 млн т на рік)
Азія та Океанія	1391,064	South East Asia Iron and Steel Institute	China Iron and Steel Association (Китай); Indian Steel Association (Індія); The Japan Iron and Steel Federation (Японія); Korea Iron and Steel Association (Південна Корея); Vietnam Steel Association (В'єтнам); Taiwan Steel and Iron Industries Association (Тайвань); Indonesian Iron and Steel Industry Association (Індонезія); Malaysian Iron and Steel Industry Federation (Малайзія); Bangladesh Steel Manufacturers Association (Бангладеш); Australian Steel Institute (Австралія); Pakistan Association of Large Steel Producers (Пакистан)
ЄС	129,876	EUROFER	Wirtschaftsvereinigung Stahl, Stahlinstitut VDEh (Німеччина); Federacciai, Associazione Italiana Metallurgia (Італія); UNESID, Asociación de Empresas de la Industria Siderúrgica (Іспанія); Alliance des Minerais Minéraux et Métaux, UIMM (Франція); Fachverband Bergwerke und Stahl, Industriellenvereinigung Stahl (Австрія); HIPH (Польща); Groupement de la Sidérurgie asbl (Бельгія)
Північна Америка	106,103	Asociación Latinoamericana del Acero	American Iron and Steel Institute (США); Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero (Мексика); Canadian Steel Producers Association (Канада)
СНД	79,265	-	Асоціація «Російська сталь» (росія)
Близький Схід	54,840	Arab Iron & Steel Union	Iranian Steel Producers Association (Іран); National Committee for Steel Industry (Саудівська Аравія)
Інша Європа (не ЄС)	52,709	EUROFER	Turkish Steel Producers Association (Туреччина); Укрметалургпром (Україна); UK Steel (Велика Британія)
Південна Америка	41,909	Asociación Latinoamericana del Acero	Instituto Aço Brasil (Бразилія)
Африка	26,425	Arab Iron & Steel Union	Egyptian Steel Association (Єгипет)

Джерело: складено автором на основі власного аналізу та [69]

Всесвітня асоціація виробників сталі є найбільшим та найвпливовішим міжнародним об'єднанням сталеливарних компаній. Організація була створена у 1967 році під назвою «Міжнародний інститут чавуну та сталі» і спочатку об'єднувала лише 18 компаній-засновників. Сьогодні члени асоціації забезпечують приблизно 85% світового виробництва сталі [68]. До основних завдань асоціації належить забезпечення координації та глобального лідерства сталеливарної галузі у ключових стратегічних напрямках, особливо у сфері економічної, екологічної та соціальної стійкості. Організація також здійснює порівняльний аналіз та реалізує міжнародні ініціативи, спрямовані на покращення екологічних стандартів, впровадження сучасних технологій, підвищення безпеки та розвиток людського потенціалу в сталеливарній індустрії.

WorldSteel регулярно оприлюднює статистичні дані щодо виробництва сталі та з 2008 року реалізує Програму збору даних про кліматичні дії. У рамках цієї програми компанії надають інформацію про емісію CO₂ на рівні виробничих ділянок або всього підприємства. Учасники отримують звіт, що містить середні показники викидів за певним технологічним маршрутом та їх діапазон, що дає змогу підприємствам порівнювати власні результати з галузевими стандартами та найкращими практиками, а також визначати напрямки для покращення ефективності.

Окрім цього, WorldSteel активно співпрацює з міжнародними організаціями, зокрема має статус акредитованого спостерігача при Рамковій конвенції ООН про зміну клімату. Асоціація сприяє поширенню кліматичних ініціатив серед своїх учасників та інших зацікавлених сторін, організовує форуми й конференції для підвищення обізнаності та активно підтримує перехід сталеливарних підприємств до кліматично нейтрального виробництва.

The South East Asia Iron and Steel Institute (SEAISI), заснований у 1971 році за підтримки Економічної комісії ООН для Азії та Далекого Сходу, є компанією з обмеженою відповідальністю, зареєстрованою в Сінгапурі [70]. Його місія – розвиток металургійної промисловості у регіоні Південно-Східної Азії через передачу технологій із таких країн, як Японія, Корея та Тайвань. SEAISI проводить щорічні міжнародні конференції, виставки та випускає статистичні щорічники разом із

щомісячним виданням ASEAN Iron & Steel Journal. Інститут співпрацює з різноманітними провідними постачальниками сталі, матеріалів та обладнання по всьому світу. Його діяльність спрямована на підтримку екологічної стійкості, покращення технологій та операцій у сфері металургії. Крім того, до складу SE AISI входять компанії та організації не лише з Південно-Східної Азії, але й з країн, таких як Німеччина, Австрія, Велика Британія, США тощо.

EUROFER, заснована у 1976 році, представляє значну частку сталеливарної промисловості Європи, об'єднуючи великі міжнародні корпорації, менших регіональних виробників і національні федерації галузі. До складу асоціації також входять шість учасників із країн за межами основного складу ЄС, таких як Туреччина, Велика Британія та Україна. Організація активно підтримує екологічну стійкість у металургії, співпрацюючи з політиками задля створення нормативів, які гармонійно поєднують екологічні амбіції з конкурентними можливостями галузі. EUROFER також сприяє технологічним інноваціям, спрямованим на зниження викидів вуглецю, підвищення енергоефективності та досягнення вуглецевої нейтральності шляхом застосування сучасних технологій та відновлюваних джерел енергії [71].

The Arab Iron and Steel Union (AISU), заснований у 1972 році, став першою арабською організацією, що спеціалізується на сталеливарній галузі. Основні завдання союзу спрямовані на розвиток виробництва сталі в арабських країнах. До складу AISU входять багатопрофільні компанії, пов'язані з металургією, з різних арабських держав. Одним із ключових пріоритетів союзу є співпраця з міжнародними та регіональними організаціями, що працюють у сфері металургії. У контексті екологічної діяльності генеральний секретар доктор Камель Джуді на саміті арабських виробників сталі 2023 року закликав металургійні компанії регіону впроваджувати сучасні технології та інновації для поліпшення продукції, підвищення конкурентоспроможності та освоєння нових ринків з урахуванням екологічних обмежень. [72].

Asociación Latinoamericana del Acero (Alacero) об'єднує понад 60 виробничих і дотичних до галузі компаній, які спільно виробляють 65 млн т сталі щороку, що становить близько 95% від загального обсягу виробництва сталі у регіоні. Alacero

представляє сталеливарну промисловість Латинської Америки, маючи на меті популяризацію сталі як оптимального матеріалу для різноманітних застосувань, а також акцентування уваги на екологічних аспектах галузі. Завдання організації включають зміцнення ланцюгів доданої вартості у сталеливарному секторі, підтримку чесної конкуренції та впровадження найкращих стандартів промислової безпеки. До партнерів Alasego входять не лише підприємства Південної Америки, але й компанії з інших регіонів, зокрема з США, Мексики, Німеччини, Італії, Японії, Іспанії та інших країн [73].

На території СНД відсутня регіональна організація, яка б представляла інтереси виробників сталі. Проте у 1992 році було створено «Міжнародний союз металургів», який об'єднував інженерів, науковців, фахівців та організаторів виробництва й соціальної сфери металургійної та гірничорудної промисловості. До складу організації входили колективи понад 200 підприємств і установ з росії та 15 інших країн. Однак у 2011 році союз припинив свою діяльність. У 2022 році через санкції, запроваджені проти росії у відповідь на агресію проти України, статус членства найбільшої галузевої асоціації регіону «російська сталь» і російських металургійних компаній (таких як ЄВРАЗ, Новоліпецький і Магнітогорський металургійні комбінати, Северсталь тощо) у WorldSteel змінився з активного на пасивний [74].

Координація може відіграти ключову роль у швидкому здійсненні зеленого переходу. Деякі країни вже запровадили цілі щодо досягнення нульових викидів у своїй сталеливарній промисловості, однак такі цілі повинні супроводжуватися чіткими дорожніми картами щодо мобілізації необхідних ресурсів для впровадження низьковуглецевих технологій виробництва сталі. Тісна співпраця між урядами та компаніями є необхідною умовою успішної декарбонізації сталеливарної галузі. Як демонструють політичні приклади, низка країн вже реалізувала та чітко окреслила державні інвестиційні програми, які передбачають певні умови для прискорення декарбонізації промисловості, одночасно підтримуючи здорові ринкові та торговельні практики. Декарбонізація сталеливарної промисловості вимагає значних капіталовкладень та ресурсів, тому виключно власних технічних та економічних можливостей компаній для цього недостатньо [54, с. 30].

Кліматичне регулювання поступово змінює не лише внутрішні умови виробництва сталі, а й правила її участі в міжнародній торгівлі. За цих умов екологічна складова перетворюється на важливий параметр конкурентоспроможності товаровиробників, доступу до зовнішніх ринків та інтеграції у глобальні ланцюги створення вартості. Саме тому подальший аналіз доцільно спрямувати на розгляд металургійної індустрії в системі глобальних ланцюгів створення вартості.

Однією з найбільш впливових концепцій сучасної міжнародної економіки є теорія глобальних ланцюгів створення вартості (Global Value Chains, GVC), яка пояснює механізми міжнародної фрагментації виробництва та розподілу доданої вартості між країнами. Значний внесок у розвиток даної концепції зробили Г. Гереффі, Дж. Гамфрі та Т. Стерджен, які досліджували механізми міжнародної фрагментації виробництва, структуру управління глобальними виробничими мережами та процеси створення доданої вартості в умовах глобалізації [75; 76; 77].

Згідно з концепцією GVC, виробництво сучасної продукції дедалі частіше здійснюється в межах міжнародних мереж, де окремі етапи створення вартості локалізуються в різних країнах залежно від рівня витрат, доступності ресурсів, технологічних компетенцій та регуляторного середовища. У результаті конкурентоспроможність галузей визначається не лише ефективністю окремих підприємств, але й їхньою позицією в глобальних виробничих мережах.

Для металургійної індустрії глобальні ланцюги створення вартості мають особливе значення, оскільки сталь виступає базовим проміжним продуктом для автомобілебудування, машинобудування, будівництва, енергетики та інших галузей. Відповідно, екологічні характеристики металургійного виробництва дедалі більше впливають на конкурентоспроможність кінцевої продукції в межах усього ланцюга створення вартості.

Витік вуглецю як наслідок асиметрії кліматичного регулювання. У процесі посилення кліматичної політики важливого значення набуває проблема витоку вуглецю. Під терміном «витік вуглецю» розуміють переміщення виробництва з країн із жорстким екологічним регулюванням до країн із менш суворими кліматичними вимогами, що призводить до збереження або навіть збільшення глобальних викидів

парникових газів. Для металургійної індустрії ризики витоку вуглецю є особливо високими через значну енергоінтенсивність та капіталомісткість виробництва сталі. Саме необхідність мінімізації витоку вуглецю стала однією з ключових причин запровадження механізму CBAM у Європейському Союзі.

Подальший розвиток концепції глобальних ланцюгів створення вартості призвів до формування підходу, заснованого на оцінюванні вбудованих (інкорпорованих) викидів вуглецю. На відміну від традиційного підходу, який враховує викиди лише на території країни-виробника, концепція вбудованих викидів вуглецю передбачає оцінювання повного вуглецевого сліду продукції з урахуванням усіх етапів виробництва та міжнародного переміщення товарів у межах глобальних ланцюгів створення вартості. У цьому випадку відповідальність за викиди розглядається не лише з боку виробника, але й з боку кінцевого споживача продукції. Для металургійної індустрії це означає, що вуглецевий слід сталі дедалі частіше оцінюється не за країною походження, а за обсягом викидів, накопичених протягом усього виробничого циклу.

В умовах глобальної кліматичної трансформації концепція GVC набуває нового змісту. Якщо раніше основним критерієм інтеграції до глобальних ланцюгів створення вартості були витрати виробництва та продуктивність, то сьогодні дедалі більшого значення набувають показники вуглецевої ефективності, екологічної відповідальності та відповідності міжнародним кліматичним стандартам. У результаті формується новий тип глобальних виробничих мереж – низьковуглецеві (зелені) глобальні ланцюги створення вартості (Green GVC), у межах яких конкурентоспроможність учасників визначається не лише економічними параметрами, але й рівнем декарбонізації виробництва. Для металургійної індустрії України дана концепція має особливе значення, оскільки дозволяє пояснити вплив механізму CBAM, вимог до вуглецевого сліду продукції та процесів декарбонізації на перспективи інтеграції українських металургійних підприємств до європейських та глобальних ланцюгів створення вартості. Узагальнення розглянутих концепцій дозволяє виокремити їхнє методологічне значення для дослідження декарбонізації металургійної індустрії (табл. 1.11).

Теоретичні концепції оцінювання декарбонізації металургійної індустрії

Концепція	Автори та інституційні джерела	Ключова ідея	Роль в оцінюванні декарбонізації металургії
Глобальні ланцюги створення вартості (GVC)	Г. Гереффі, Дж. Гамфрі, Т. Стерджен	Додана вартість формується в межах міжнародно фрагментованих виробничих мереж	Пояснює вплив декарбонізації на позиціонування металургійної індустрії у глобальних ланцюгах створення вартості
Витік вуглецю	ОЕСР, СТВ ЄС	Жорстке кліматичне регулювання може спричинити переміщення виробництва до країн із нижчими екологічними стандартами	Обґрунтовує необхідність СВМ та оцінювання ризиків втрати конкурентоспроможності
Вбудовані викиди вуглецю	GHG Protocol	Викиди повинні враховуватися по всьому ланцюгу створення вартості	Формує методологічну основу оцінювання вуглецевого сліду металургійної продукції

Джерело: складено автором на основі власного аналізу та [75-77]

Аналізуючи роль металургії у глобальній економічній системі, маємо констатувати, що вона є ключовою у глобальних ланцюгах створення вартості. Металургійна індустрія виконує функцію базової галузі, що забезпечує матеріальну основу для розвитку широкого галузевого спектра світового господарства у цілому. Її специфіка полягає у високому рівні інтегрованості як на початкових стадіях виробництва, пов'язаних із видобутком і первинною переробкою сировини, так і на проміжних етапах, котрі охоплюють виробництво чавуну, сталі та металопродукату.

Функціонування металургії у структурі глобальних ланцюгів створення вартості зумовлює формування значного обсягу так званих «вбудованих» викидів вуглецю, які трансферуються до наступних стадій виробництва та втілюються у кінцевій продукції різних галузей. Зокрема, викиди, що генеруються на етапі виробництва сталі, опосередковано включаються у вартість та екологічний слід продукції машинобудування, будівництва, транспортної інфраструктури та енергетики. У цьому контексті показовими є оцінки ОЕСР, згідно з якими у 2015 році близько 8,8 Гт CO₂ (приблизно 27% світових викидів від спалювання палива) було пов'язано з міжнародною торгівлею, тобто фактично відображало обсяг «вбудованих»

викидів у проданих товарах [78]. При цьому значна частка таких викидів припадала на енергоінтенсивні промислові сектори, зокрема виробництво основних металів і металевих виробів (16,1%), яке входить до числа найбільших джерел викидів, вбудованих в експорт, поряд із хімічною промисловістю та виробництвом неметалевої мінеральної продукції (18,2%) і машинобудуванням та суміжними галузями. Таким чином, справедливим буде висновок, що металургійна індустрія є одним із ключових джерел формування вуглецевих екстерналій у глобальній економіці.

Економічна природа таких екстерналій полягає у розриві між приватними витратами виробників металопродукції та суспільними витратами, пов'язаними з негативними наслідками викидів парникових газів. У більшості випадків ці витрати не враховуються у ринковій ціні продукції, що, у свою чергу, призводить до системного недооцінювання екологічного навантаження металургійної індустрії та створює передумови для неефективного розподілу ресурсів у глобальному масштабі.

Водночас процеси глобалізації виробництва сприяють просторовому перерозподілу вуглецевих викидів у межах глобальних ланцюгів створення вартості. Переміщення енергоінтенсивних та вуглецемістких металургійних виробництв до країн із менш жорстким екологічним регулюванням (або його повною відсутністю) обумовлює ефект «вуглецевого витоку», за якого зниження викидів у розвинених країнах супроводжується їх зростанням у країнах, що розвиваються. Як результат, виникає ускладнення в досягненні глобальних кліматичних цілей та підвищення значення координації міжнародної кліматичної політики.

Таким чином, металургійна індустрія виконує подвійну функцію у глобальній економіці: з одного боку, вона є необхідною передумовою функціонування більшості виробничих систем, а з іншого – одним із найбільш вуглецево інтенсивних секторів, що генерує значні негативні екстерналії. Це визначає необхідність трансформації її ролі у глобальних ланцюгах створення вартості на засадах декарбонізації та підвищення екологічної ефективності виробництва. Формування вбудованих викидів у глобальному ланцюзі створення вартості металургійної індустрії ілюструє трансфер вуглецевих викидів від первинних стадій виробництва до кінцевих секторів споживання (рис. 1.10).

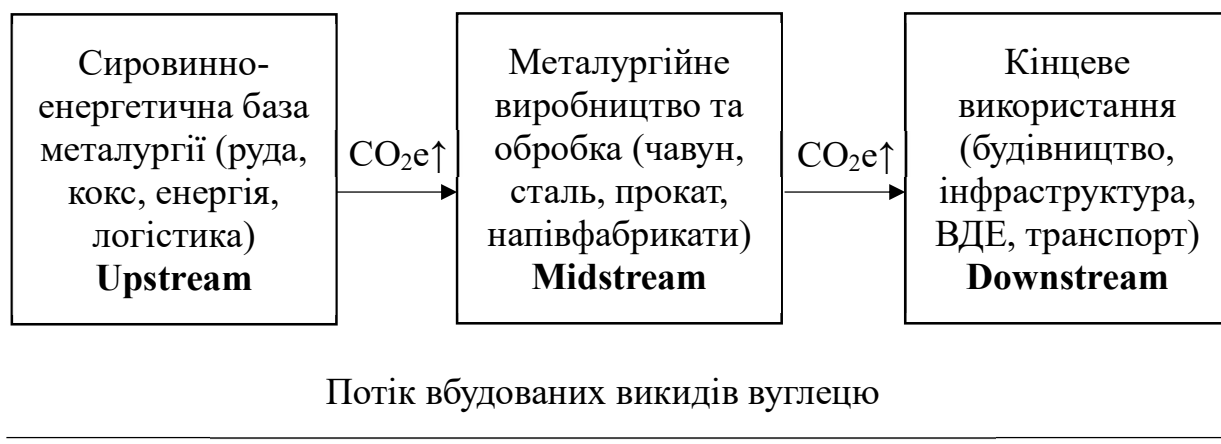


Рисунок 1.10. Схема формування вбудованих викидів у глобальному ланцюзі створення вартості

Джерело: складено автором на основі власного аналізу

Схема відображає послідовний рух матеріальних і енергетичних потоків через три ключові стадії: upstream (сировинно-енергетична база металургії), midstream (металургійне виробництво та обробка) і downstream (кінцеве використання). Ключовим елементом схеми є потік вбудованих викидів вуглецю, що ілюструє перенесення вуглецевих викидів уздовж ланцюга створення вартості. Відтак викиди, сформовані на попередніх стадіях виробництва, «вбудовуються» у металопродукцію та фактично переносяться далі по ланцюгу створення вартості до кінцевого використання. Схема демонструє, що вуглецеве навантаження не обмежується окремими етапами виробництва, а має кумулятивний характер і розподіляється між різними учасниками глобальної економіки, що підкреслює важливість врахування вуглецевих екстерналій у вигляді вбудованих викидів у контексті глобальної економіки, а також необхідність комплексного підходу до декарбонізації.

Для оцінки ролі металургійної індустрії у формуванні вуглецевих екстерналій у глобальних ланцюгах створення вартості запропоновано індекс вбудованих викидів, який дозволяє кількісно оцінити обсяг викидів парникових газів, імпліцитно перенесених у кінцеву продукцію через металургійну складову. На відміну від існуючих підходів, що фокусуються переважно на прямій вуглецевій інтенсивності виробництва, запропонований індекс враховує структуру доданої вартості та

міжгалузеві зв'язки у глобальних ланцюгах. Індекс вбудованих викидів пропонується визначити за формулою:

$$EEI = \sum_{i=1}^n (CI_i \times VA_i) \quad (1.1)$$

де *EEI* (Embodied Emissions Index) – індекс вбудованих викидів у продукції;

CI_i – вуглецева інтенсивність виробництва металу на *i*-й стадії (кг CO₂-екв. / USD створеної сектором доданої вартості);

VA_i – частка металургійної складової у доданій вартості кінцевого продукту;

i – стадії ланцюга (сировина → сталь → прокат → кінцевий продукт).

Важливо відзначити, що в той час як металургійна індустрія є значним джерелом викидів парникових газів, вона одночасно є стратегічною основою для побудови низьковуглецевої економіки, оскільки металургійна продукція є базовим матеріалом для всіх сфер промисловості. Наприклад, для виробництва «зеленої» сталі металургійні комбінати потребують «зеленої» електроенергії, отриманої з відновлювальних джерел енергії (вітер, сонце, гідроенергія тощо). Водночас сама інфраструктура відновлюваної енергетики також значною мірою залежить від металургійної продукції. За даними ArcelorMittal, кожен новий МВт сонячної енергії потребує від 35 до 45 тонн сталі, а кожен новий МВт вітрової енергії – від 120 до 180 тонн сталі [79].

Аналогічна ситуація спостерігається в автомобілебудуванні. Масове використання електромобілів замість транспортних засобів, оснащених двигунами внутрішнього згоряння, сприяє скороченню викидів, пов'язаних зі спалюванням палива у двигунах внутрішнього згоряння цих авто. Водночас оцінка реального екологічного ефекту такого переходу потребує врахування матеріаломісткості виробництва.

Відповідно до звіту ArcelorMittal, і автомобіль із двигуном внутрішнього згоряння, і акумуляторний електромобіль мають сталемісткість на рівні близько 750 кг на один транспортний засіб [80]. Водночас за даними WorldSteel автомобіль в середньому містить 900 кг сталі [81]. Це свідчить про те, що саме по собі збільшення частки електромобілів, навіть за умови використання у їх виробництві компонентів із «зеленої» сталі, не гарантує пропорційного зниження загального рівня викидів. Якщо

електроенергія, що використовується для заряджання таких транспортних засобів, виробляється з викопних видів палива, відбувається лише перенесення джерела викидів з транспортного сектору до енергетики.

За таких умов скорочення викидів від експлуатації автомобілів може супроводжуватися зростанням викидів у процесі генерації електроенергії, що істотно знижує загальну ефективність такої трансформації в умовах глобальних кліматичних викликів. Отже, з одного боку, сталь виступає як фактор формування кліматичних ризиків, а з іншого боку, сталь є невід’ємною матеріальною основою низьковуглецевого переходу (рис. 1.11).

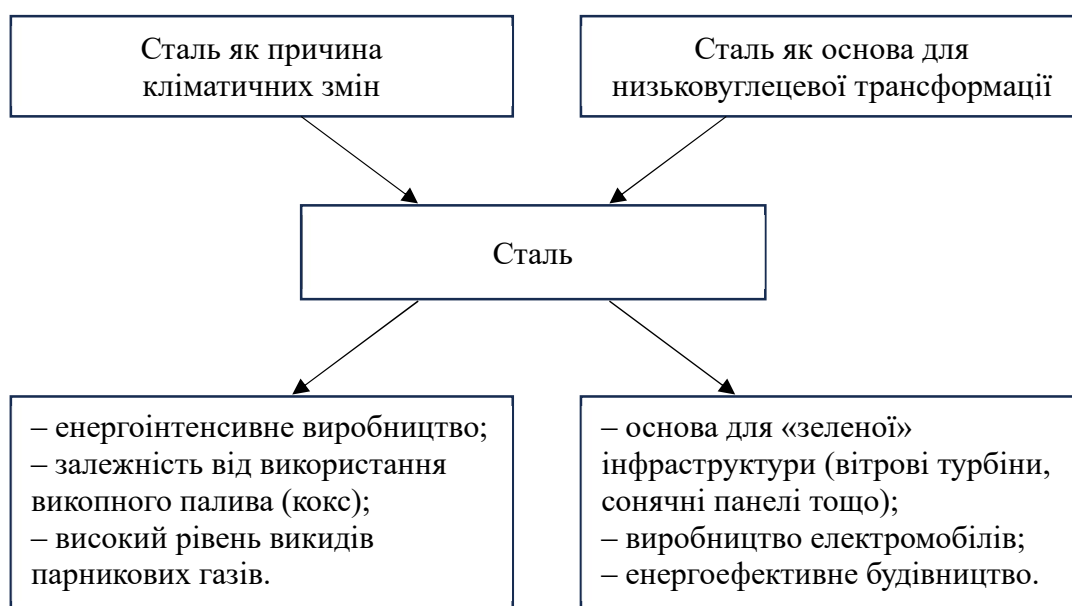


Рисунок 1.11. Дуалізм сталі в контексті кліматичних змін

Джерело: узагальнено на основі авторського аналізу

Центральне положення сталі у схемі підкреслює її системоутворюючу роль у глобальних ланцюгах створення вартості, де вона виступає як базовий проміжний продукт, що поєднує виробничі та інфраструктурні процеси. Відтак представлена на рисунку модель демонструє, що металургія характеризується структурним дуалізмом: з одного боку, вона є джерелом викидів, а з іншого – інструментом їх скорочення. Це створює необхідність пошуку балансу між скороченням викидів у виробництві сталі та забезпеченням зростаючого попиту на неї в умовах кліматичної трансформації економіки.

У науковій та прикладній літературі декарбонізація металургійної індустрії оцінюється не через один універсальний показник, а за допомогою різних методологічних підходів, кожен із яких акцентує увагу на окремому вимірі трансформації галузі. Відтак декарбонізацію металургійної індустрії доцільно розглядати як багатовимірний процес, для оцінювання якого використовуються кілька методологічних підходів. Їх систематизація дає змогу уникнути звуження аналізу та врахувати всі аспекти трансформації (табл. 1.12)

Таблиця 1.12

Методичні підходи до оцінювання декарбонізації металургійної індустрії

Назва підходу	Основний об'єкт оцінювання	Ключові показники	Переваги	Обмеження
Емісійний	Рівень прямих і непрямих викидів парникових газів	Абсолютні та питомі викиди парникових газів	Дає змогу безпосередньо оцінити кліматичний результат декарбонізації та порівнювати динаміку викидів	Не пояснює, за рахунок яких змін досягнуто скорочення викидів; результати залежать від меж обліку
Технологічний	Зміна технологічної структури виробництва, перехід до низьковуглецевих маршрутів	Частка BF-BOF, scrap-EAF, DRI-EAF; використання водню, брукхту, CCUS; рівень технологічної готовності рішень	Дозволяє оцінити глибину структурної модернізації галузі та потенціал майбутнього скорочення викидів	Наявність низьковуглецевої технології не гарантує низького вуглецевого сліду без чистої енергії, зеленого водню, якісної сировини
Енергетичний	Енергоінтенсивність виробництва та структура споживання енергії	ГДж/т сталі; МВт·год/т сталі; частка ВДЕ; споживання газу, вугілля, електроенергії та водню; енергоефективність	Дає змогу оцінити, наскільки декарбонізація пов'язана з енергоефективністю, електрифікацією та переходом до чистіших джерел енергії.	Низька енергоінтенсивність не завжди означає низькі викиди, якщо енергетичний баланс і надалі базується на використанні викопного палива
Фінансовий	Вартість і фінансова здійсненність декарбонізації	CAPEX; OPEX; собівартість сталі; вартість скорочення 1 т CO ₂ ; ціна вуглецю; зелений преміум; потреба в інвестиціях	Дозволяє оцінити економічну доцільність декарбонізації та можливість масштабування технологій	Результати залежать від припущень щодо цін на енергію, водень, CO ₂ , капітал і сировину

Назва підходу	Основний об'єкт оцінювання	Ключові показники	Переваги	Обмеження
Підхід життєвого циклу	Вуглецевий та екологічний слід продукту протягом його життєвого циклу	Вуглецевий слід продукту; викиди від сировини, енергії, транспорту, виробництва та переробки	Дозволяє оцінити повний вуглецевий слід продукції та уникнути перенесення викидів між ланками ланцюга вартості	Потребує значного обсягу якісних даних; результати залежать від методики розрахунку
Інституційний	Відповідність кліматичним цілям, стандартам звітності та регуляторним вимогам	Наявність кліматичної стратегії; цілі зі скорочення викидів; ESG-звітність; сертифікація; незалежна верифікація	Дає змогу оцінити не лише фактичні результати, а й якість управління декарбонізацією, наявність довгострокових цілей, прозорість звітності та готовність до кліматичного регулювання.	Може більше відображати якість управління й розкриття інформації, ніж реальний рівень скорочення викидів.

Джерело: узагальнено автором на основі [23; 24; 82-86]

Проведений аналіз сучасних теоретичних концепцій (табл. 1.11) та методичних підходів (табл. 1.12) до оцінювання декарбонізації металургійної індустрії свідчить, що оцінювання процесів декарбонізації металургійної індустрії є складним міждисциплінарним завданням, яке потребує врахування не лише екологічних результатів, але й технологічних, енергетичних, фінансових, інституційних та зовнішньоекономічних аспектів розвитку галузі. Водночас кожен із них фокусується лише на окремих характеристиках процесу низьковуглецевої трансформації та не забезпечує комплексного відображення взаємозв'язків між різними складовими декарбонізації металургійної індустрії.

У зв'язку з цим доцільним є використання інтегрованого підходу, який дозволяє поєднати результати різних методологічних напрямів у межах єдиної системи оцінювання декарбонізаційної стійкості галузі. Узагальнення теоретичних положень, сучасних концепцій декарбонізації та існуючих підходів до оцінювання дозволяє

припустити, що комплексна оцінка декарбонізаційної стійкості металургійної індустрії повинна враховувати шість взаємопов'язаних груп факторів (табл. 1.13).

Таблиця 1.13

Концептуальні групи факторів оцінювання декарбонізаційної стійкості металургійної індустрії

Група факторів	Зміст групи
Виробничо-технологічні	Рівень технологічної модернізації виробництва, впровадження низьковуглецевих технологій, інноваційна активність
Енергетичні	Структура енергоспоживання, енергоефективність виробництва, використання відновлюваних джерел енергії
Емісійно-кліматичні	Вуглецева інтенсивність виробництва, обсяги викидів парникових газів, динаміка декарбонізації
Зовнішньоекономічні	Інтеграція до глобальних ланцюгів створення вартості, експортна конкурентоспроможність, вплив СВМ
Інституційно-регуляторні	Кліматична політика, механізми вуглецевого регулювання, ESG-вимоги та міжнародні стандарти
Фінансово-інвестиційні	Інвестиційне забезпечення декарбонізації, доступ до зеленого фінансування, інноваційно-інвестиційна активність

Джерело: узагальнено автором на основі власного аналізу

Запропоновані групи факторів не слід розглядати як остаточну систему детермінантів декарбонізації металургійної індустрії. На даному етапі дослідження вони виконують функцію концептуальної основи подальшого аналізу. Їх емпірична перевірка, уточнення та систематизація здійснюватимуться у Розділі 2 на основі аналізу глобальних тенденцій розвитку металургійної індустрії та особливостей її кліматичної трансформації.

У сучасних дослідженнях процеси декарбонізації найчастіше оцінюються через окремі показники викидів, енергоефективності або технологічної модернізації. Водночас такий підхід не дозволяє комплексно оцінити здатність галузі адаптуватися до кліматичних викликів, забезпечувати довгострокове скорочення вуглецевої інтенсивності виробництва та зберігати конкурентоспроможність в умовах посилення екологічних вимог.

У зв'язку з цим доцільним є використання категорії декарбонізаційної стійкості металургійної індустрії, під якою у даному дослідженні пропонується розуміти здатність галузі забезпечувати довгострокове скорочення вуглецевої інтенсивності виробництва на основі технологічної модернізації, енергетичної трансформації та

інституційної адаптації без втрати економічної ефективності та міжнародної конкурентоспроможності. Узагальнення теоретико-методологічних засад декарбонізації дозволило сформувати концептуально-методологічну рамку оцінювання декарбонізаційної стійкості металургійної індустрії (рис. 1.12).

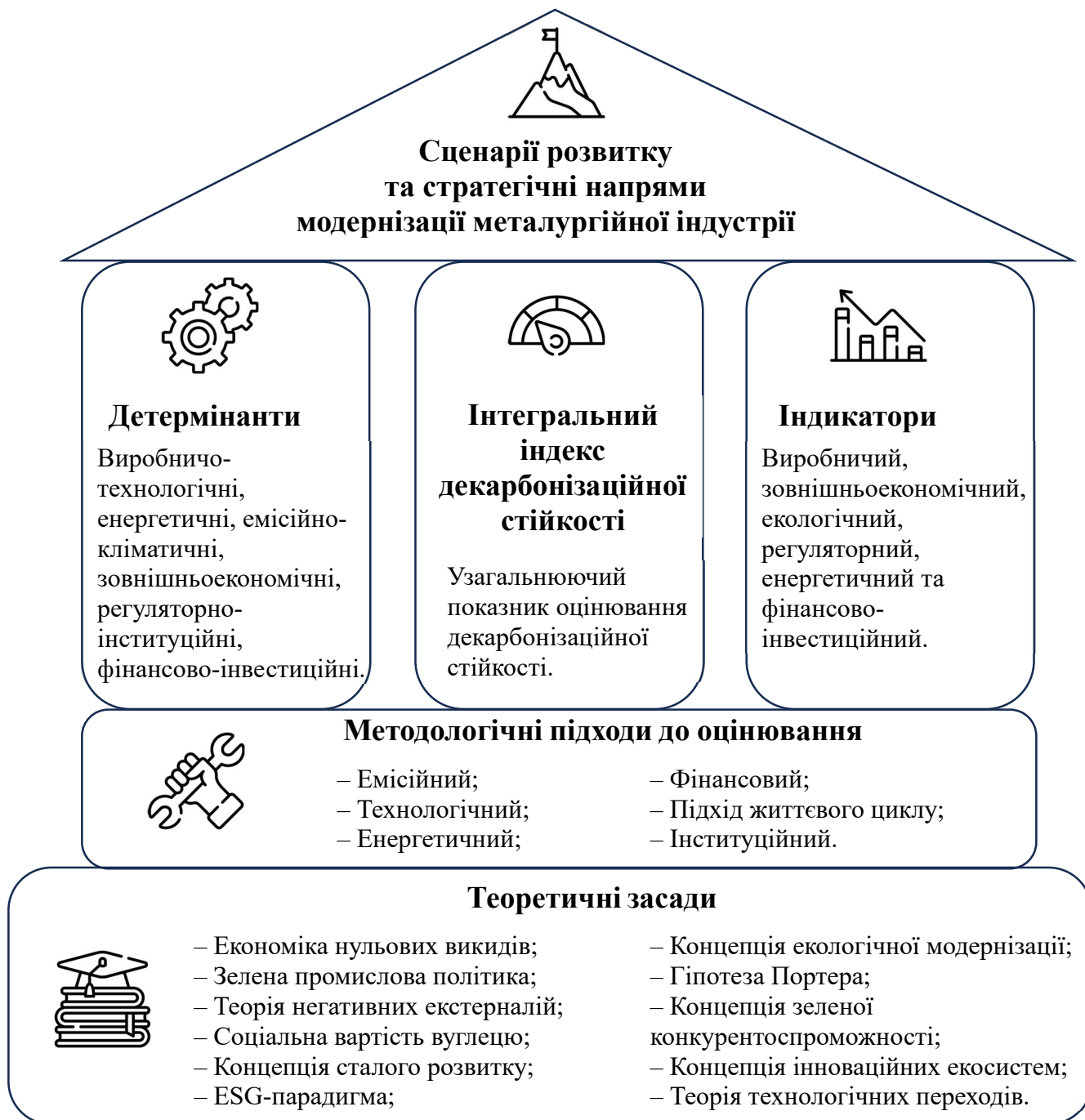


Рисунок 1.12. Концептуально-методологічна рамка оцінювання декарбонізаційної стійкості металургійної індустрії

Джерело: побудовано на основі власного аналізу

Запропонована концептуально-методологічна основа оцінювання декарбонізаційної стійкості металургійної індустрії базується на поєднанні теоретичних концепцій декарбонізації, сучасних методологічних підходів та комплексного врахування виробничо-технологічних, енергетичних, емісійно-кліматичних, зовнішньоекономічних, інституційно-регуляторних і фінансово-інвестиційних факторів розвитку галузі.

Висновки до розділу 1

1. Доведено, що глобальні кліматичні зміни вийшли за межі суто екологічного порядку денного і трансформувалися у ключовий системний ризик для світової економіки. На основі кореляційного аналізу підтверджено антропогенний характер зміни клімату. Встановлено сильний лінійний зв'язок між зростанням середньої глобальної температури поверхні Землі та збільшенням обсягів викидів парникових газів від спалювання викопного палива і промислових процесів.

2. Обґрунтовано теоретичні засади формування кліматичної політики крізь призму теорії негативних екстерналій і необхідності інтерналізації зовнішніх ефектів. Виявлено наступний логічний ланцюг екологізації економіки: промислові викиди генерують негативні вуглецеві екстерналії, що збільшує некомпенсовані суспільні витрати; це зумовлює потребу в жорсткому кліматичному регулюванні, що, у свою чергу, виступає головним стимулом для промислової декарбонізації.

3. Виявлено основні відмінності між методологіями обліку парникових газів IPCC та GHG Protocol. Встановлено, що методологія IPCC орієнтована на національний (макроекономічний) рівень для виконання зобов'язань за міжнародними кліматичними угодами та базується на секторній класифікації емісії. Натомість GHG Protocol сфокусований на корпоративному рівні управління викидами та класифікує їх за ступенем контролю підприємства над джерелами емісії (Score 1, Score 2 і Score 3), що дозволяє охопити повний життєвий цикл металопродукції.

4. Систематизовано інституційні підходи провідних міжнародних організацій (МЕА, ОЕСР, Світового банку, ЄС, ІРСС) до трактування поняття «декарбонізація». Встановлено, що дане поняття не має єдиного універсального визначення, а набуває різного змісту (енергетичного, інституційного, галузево-технологічного чи нормативно-регуляторного) залежно від цілей аналізу. Спираючись на це, розроблено авторське трактування декарбонізації металургійної індустрії як комплексного процесу технологічної, енергетичної, інституційної та економічної трансформації ланцюгів створення вартості, що спрямований на зниження питомої вуглецевої інтенсивності виробництва без втрати довгострокової конкурентоспроможності в умовах кліматичного переходу.

5. На основі систематизації теоретичних підходів виокремлено три взаємопов'язані напрями осмислення модернізації металургійної індустрії в умовах глобальної декарбонізації. Доведено, що технологічний напрям (на базі концепції екологічної модернізації та теорії технологічних переходів) пояснює переорієнтацію маршрутів на низьковуглецеві технології; конкурентний напрям (крізь призму гіпотези Портера та концепції зеленої конкурентоспроможності) розкриває механізм перетворення екологічних обмежень на нові ринкові переваги; а мережевий напрям (на основі концепції інноваційних екосистем) обґрунтовує критичну роль промислових альянсів і міжнародної кооперації. Визначено, що синергія цих напрямів формує цілісну теоретико-методологічну основу дослідження і дозволяє трактувати декарбонізацію не як вузький процес технологічного оновлення, а як комплексну трансформацію технологічних маршрутів, енергетичної бази, інфраструктури та самих механізмів міжнародної конкурентоспроможності галузі.

6. Проаналізовано інституційно-регуляторне забезпечення глобальної кліматичної політики та виявлено суперечність між нормами вільної міжнародної торгівлі й імперативами екологічної безпеки. На основі аналізу механізмів СОТ доведено, що капіталомістка декарбонізація металургійної індустрії має ризик бути кваліфікованою як надання несправедливих конкурентних переваг. Обґрунтовано, що кліматично мотивовані обмеження та державні субсидії на екологічну модернізацію є правомірними в системі координат СОТ винятково за умови, що вони слугують

реальному захисту довкілля і не перетворюються на інструмент прихованого «зеленого» протекціонізму та дискримінації іноземних товаровиробників на світових ринках.

7. Систематизовано теоретичні концепції оцінювання декарбонізації металургійної індустрії в системі світового господарства. Доведено, що ключову методологічну роль у цьому процесі відіграє поєднання концепції глобальних ланцюгів створення вартості, концепції мінімізації «витоку вуглецю» та підходу на основі оцінювання вбудованих викидів вуглецю. Обґрунтовано, що в умовах кліматичних обмежень формується новий тип міжнародних виробничих мереж — зелені глобальні ланцюги створення вартості (Green GVC). На цій теоретичній основі запропоновано авторський індекс вбудованих викидів, який, на відміну від існуючих підходів, дозволяє кількісно оцінити обсяг викидів парникових газів, імпліцитно перенесених у кінцеву продукцію через металургійну складову вздовж усього ланцюга створення вартості.

8. Обґрунтовано комплексний підхід до оцінювання кліматичної трансформації галузі шляхом введення у науковий обіг неологічної категорії «декарбонізаційна стійкість металургійної індустрії». Її сутність визначено як здатність галузі забезпечувати довгострокове скорочення вуглецевої інтенсивності виробництва на основі технологічної модернізації, енергетичної трансформації та інституційної адаптації без втрати економічної ефективності та міжнародної конкурентоспроможності.

Основні результати розділу опубліковано в наукових працях автора [87; 88; 89; 90; 91].

РОЗДІЛ 2

ГЛОБАЛЬНІ ДЕТЕРМІНАНТИ МОДЕРНІЗАЦІЇ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ІНДУСТРІЇ В УМОВАХ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОГО ПЕРЕХОДУ

2.1. Сучасні тренди трансформації глобального металургійного сектору

Процеси «озеленення» світової економіки охоплюють усі її сфери включаючи металургійний сектор, що зумовлює необхідність його сталої модернізації. Визначення сучасних трендів трансформації глобального металургійного сектору є необхідним етапом дослідження, оскільки саме тренди формують нову логіку розвитку галузі в умовах низьковуглецевого переходу. Одним із базових трендів розвитку світової металургії є довгострокове зростання масштабів виробництва. Протягом періоду 1950-2025 років світове виробництво сталі збільшилось майже у 10 разів з 189 млн тонн до 1 849 млн тонн, зазнаючи незначних скорочень в періоди економічних криз (рис. 2.1).

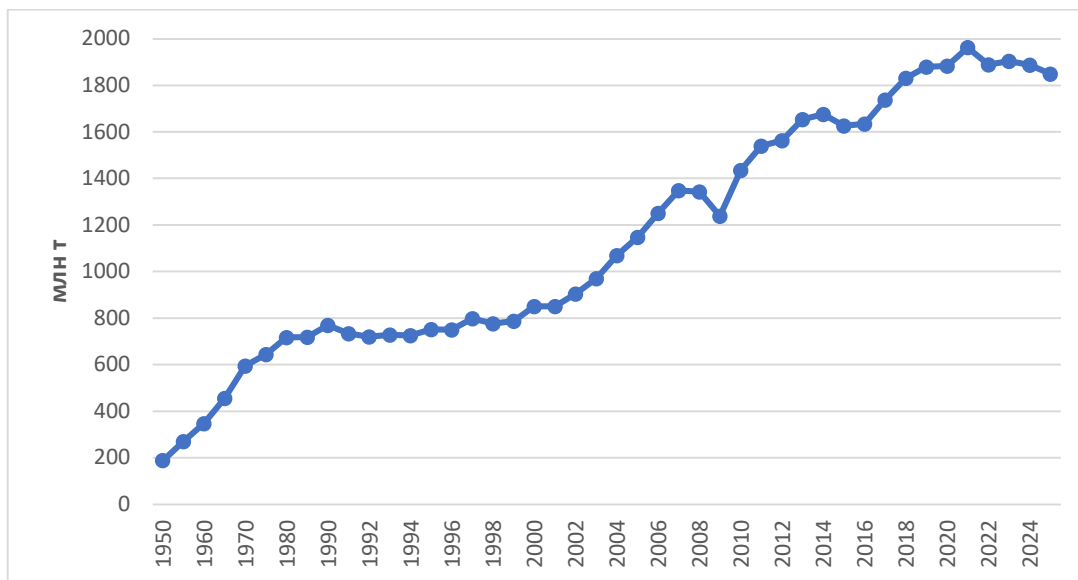


Рисунок 2.1. Динаміка виплавки сталі у світі 1950-2025 рр.

Джерело: складено автором на основі [49; 92]

Найбільший обсяг світового виробництва було зафіксовано у 2021 році (1 963 млн т), що супроводжувався відновленням попиту на сталь з боку металоспоживаючих секторів після пандемії коронавірусної хвороби (COVID-19). Однак подальші чотири роки відзначились падінням обсягів виробництва, зокрема через уповільнення світового попиту та наслідки повномасштабної агресії росії проти України для світових ринків.

Визначення глобальних трендів трансформації металургійної індустрії доречно розпочати з аналізу структури виробництва сталі у світі. Варто відзначити, що світове виробництво сталі розподілене вкрай нерівномірно (рис. 2.2).

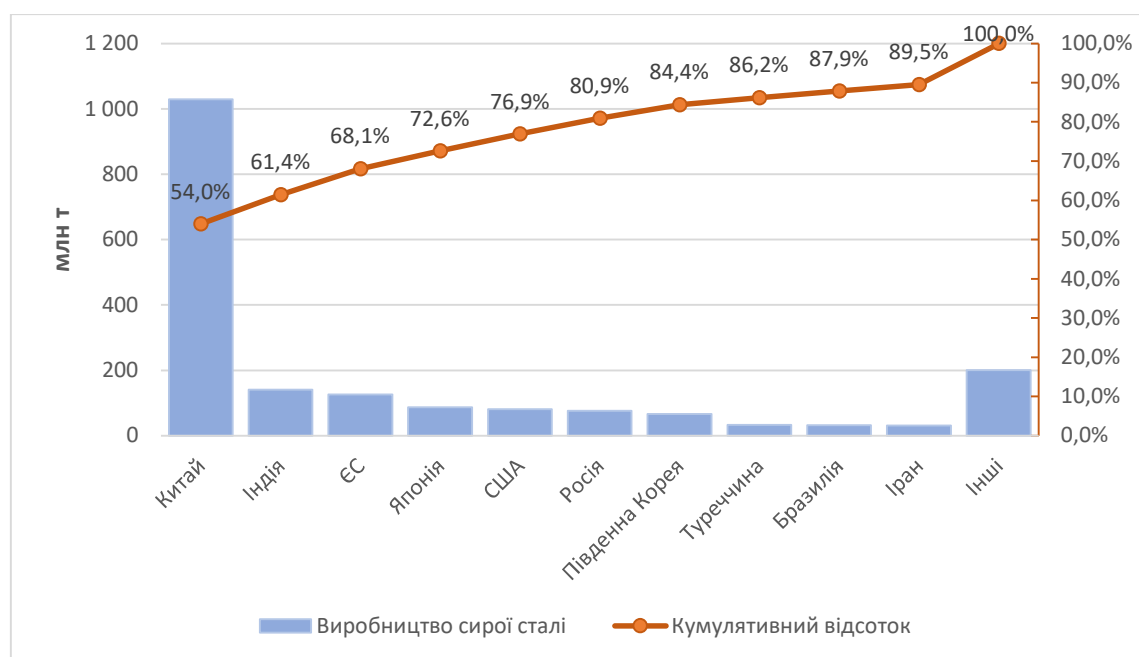


Рисунок 2.2. Виробництво сирої сталі у 2023 р.

Джерело: побудовано автором за даними Додатку А

Китай є найбільшим виробником сталі у світі, виплавивши у 2023 році 1 028,86 млн т сталі або 54% світового виробництва. Сукупно Китай, Індія, Європейський Союз, Японія, США та росія виготовили 1 540,31 млн т сталі, що становить 80,9% світового обсягу виробництва. Майже 90% всієї світової сталі, або 1 703,77 млн т, було вироблено Китаєм, Індією, країнами ЄС, росією, Південною Кореєю, Туреччиною, Бразилією та Іраном. Медіанне значення серед виробників сталі за 2023 рік становить 1,315 млн т сирої сталі на рік.

Окрім динаміки абсолютних обсягів виробництва сталі, важливе значення має аналіз просторової концентрації світової металургійної індустрії. Це зумовлено тим, що модернізація металургійного сектору значною мірою залежить не лише від загальносвітових технологічних трендів, а й від політики, інвестиційних можливостей та виробничої структури провідних країн-виробників. Для кількісної оцінки рівня концентрації світового виробництва сталі доцільно використати індекс концентрації, який відображає сукупну частку п'яти найбільших країн-виробників у загальному обсязі світового виробництва сталі за формулою:

$$CR5_t = \frac{\sum_{i=1}^5 Q_{i,t}}{Q_{world,t}} \times 100 \quad (2.1)$$

де $CR5_t$ – індекс концентрації світового виробництва сталі у році t ;

$Q_{i,t}$ – обсяг виробництва сталі i -ї країни, що входить до п'ятірки найбільших виробників у році t ;

$Q_{world,t}$ – загальний обсяг світового виробництва сталі у році t .

Для поглибленої оцінки рівня країнової концентрації світового виробництва сталі доцільно використати індекс Герфіндаля–Гіршмана, який, на відміну від індексу концентрації, враховує не лише частку найбільших виробників, а й загальний розподіл виробництва між усіма країнами:

$$HHI_t = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_{i,t}}{Q_{world,t}} \times 100 \right)^2 \quad (2.2)$$

де HHI_t – індекс Герфіндаля–Гіршмана для світового виробництва сталі у році t ;

$Q_{i,t}$ – обсяг виробництва сталі i -ї країни, що входить до п'ятірки найбільших виробників у році t ;

$Q_{world,t}$ – загальний обсяг світового виробництва сталі у році t ;

n – кількість країн, включених до розрахунку.

На основі наведених методичних підходів здійснено розрахунок рівня країново-регіональної концентрації світового виробництва сталі у 2023 р. Для цього використано дані щодо обсягів виробництва сталі п'ятьма найбільшими виробниками – Китаєм, Індією, ЄС, Японією та США. Результати розрахунку свідчать про високий рівень країново-регіональної концентрації глобальної металургійної індустрії (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Розрахунок індексів концентрації світового виробництва сталі у 2023 р.

Виробник	Обсяг виробництва сталі, млн т	Частка у світовому виробництві, %	Квадрат частки
Китай	1 028,86	54,04	2 919,97
Індія	140,762	7,39	54,66
ЄС	126,268	6,63	43,98
Японія	87,001	4,57	20,88
США	81,385	4,27	18,27
Разом CR5	1 464,276	76,91	3 057,76
Весь світ	1,904,00	100,00	—

Джерело: розраховано автором за даними Додатку А

Як свідчать результати розрахунку, у 2023 р. на п'ять найбільших виробників припадало 76,91% світового виробництва сталі. Це підтверджує високий рівень країново-регіональної концентрації глобальної металургійної індустрії. Визначальну роль у цій структурі відіграє Китай, частка якого становила 54,04% світового виробництва сталі. Часткове значення індексу Герфіндаля–Гіршмана для п'яти провідних виробників становило 3057,76, що додатково засвідчує структурну нерівномірність розподілу виробництва сталі у світовій економіці.

Технологічна структура виробництва сталі у статистиці Всесвітньої асоціації виробників сталі відображена через призму процесу виробництва, серед яких: киснево-конвертерне виробництво, електросталеплавильне виробництво та інші способи виробництва сталі. З огляду на це, подальший аналіз доцільно спрямувати на визначення країн, які формують основний обсяг виробництва в межах кожного технологічного процесу. Для цього використано діаграми Парето, що дозволяють оцінити рівень концентрації виробництва в країні відносно загальносвітового за відповідним технологічним процесом.

Кисневі конвертери залишаються домінуючою технологією у світовому виробництві сталі. У 2023 році світове виробництво конвертерної сталі склало 1 355,11 млн т або 71,2% загального обсягу її виплавки у 2023 р. (рис. 2.3).

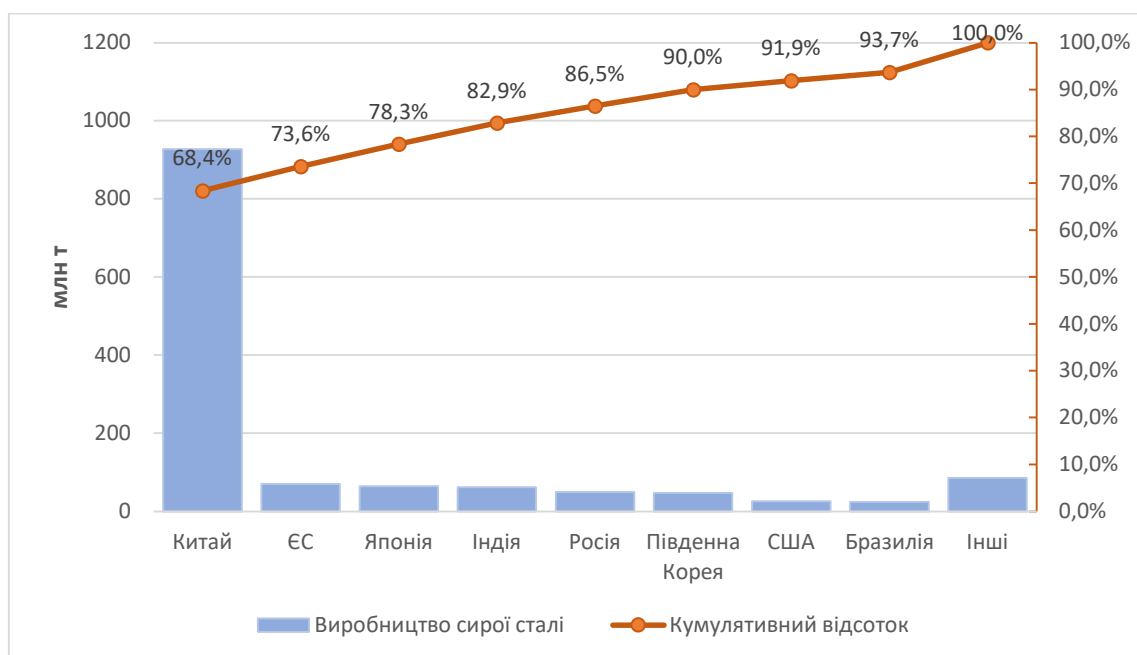


Рисунок 2.3. Виробництво сталі у кисневих конвертерах у 2023 р.

Джерело: побудовано автором за даними Додатку А

Китай є беззаперечним лідером у виробництві сталі в кисневих конвертерах, на його частку припадає приблизно 68,4% світового обсягу. Загалом, 93,7% сталі, виробленої за цією технологією, припадає на Китай, Європейський Союз, Японію, Індію, росію, Південну Корею, США та Бразилію. Частка всіх інших країн разом становить лише 6,3%.

Така концентрація киснево-конвертерного виробництва свідчить про збереження домінування традиційних вуглецемістких технологічних маршрутів у країнах із найбільшими масштабами виробництва. Насамперед це пов'язано з орієнтацією великих виробників на використання залізної руди, інтегровану структуру металургійних комбінатів та історично сформовану виробничу базу.

Після аналізу структури киснево-конвертерного виробництва, розподіленого по світу, доцільно перейти до розгляду електросталеплавильного способу, який є другим за масштабами технологічним процесом виплавки сталі у світі. Електросталеплавильне виробництво у 2023 році склало 540,14 млн т або 28,4% від загальносвітового (рис. 2.4).

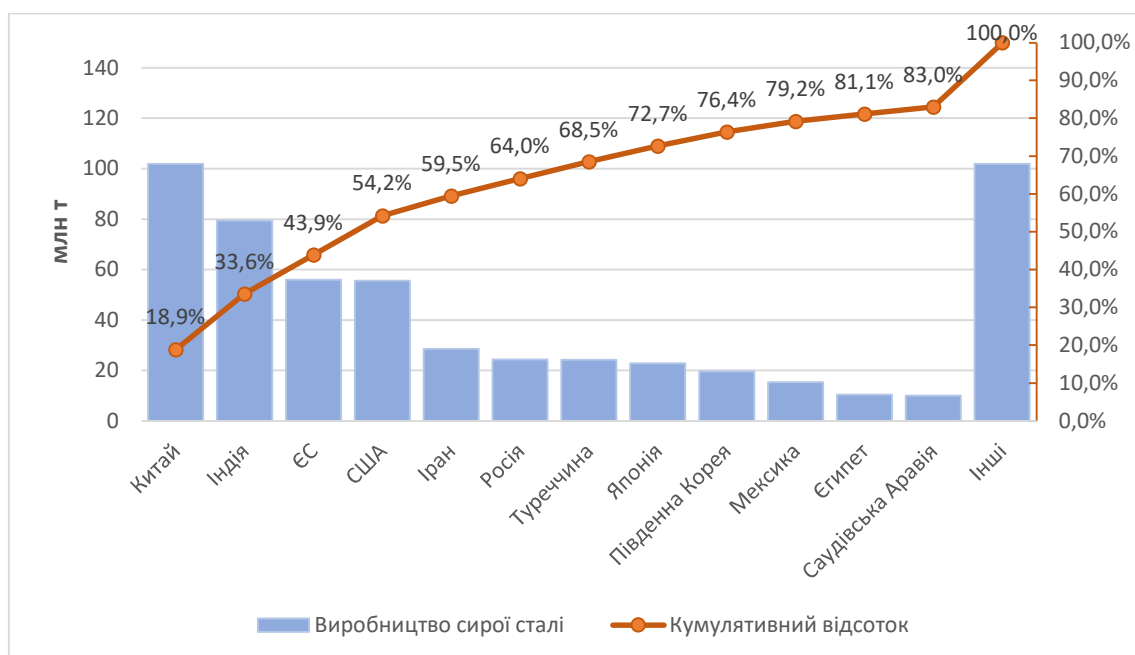


Рисунок 2.4. Електросталеплавильне виробництво у 2023 р.

Джерело: побудовано автором за даними Додатку А

Виробництво сталі в електросталеплавильних печах має більш рівномірний географічний розподіл порівняно з киснево-конвертерним. Лідером також залишається Китай, частка якого становить лише 18,9% від загального обсягу, але це вже значно менший внесок у світове виробництво, ніж у сегменті виробництва сталі в кисневих конвертерах. Великими виробниками є Індія (14,7%), Європейський Союз (10,3%) та США (10,3%). До першої десятки також входять Іран, росія, Туреччина, Японія, Південна Корея та Мексика, які забезпечують 79,2% світового виробництва сталі у електропечах. Частка всіх інших країн становить 17%, що свідчить про значно вищу диверсифікацію географічного виробництва.

Більш рівномірний розподіл електросталеплавильного виробництва пояснюється тим, що цей технологічний маршрут є гнучкішим порівняно з інтегрованим доменно-конвертерним виробництвом і може функціонувати як на основі металобрухту, так і з використанням металізованої сировини.

Виробництво сталі іншими способами у 2023 році склало лише 8,83 млн т сталі або 0,5% від загальносвітового виробництва (рис. 2.5). Згідно з методологією WorldSteel, категорія «інші» включає всі методи, що не відносяться до кисневих конвертерів та електродугових печей.

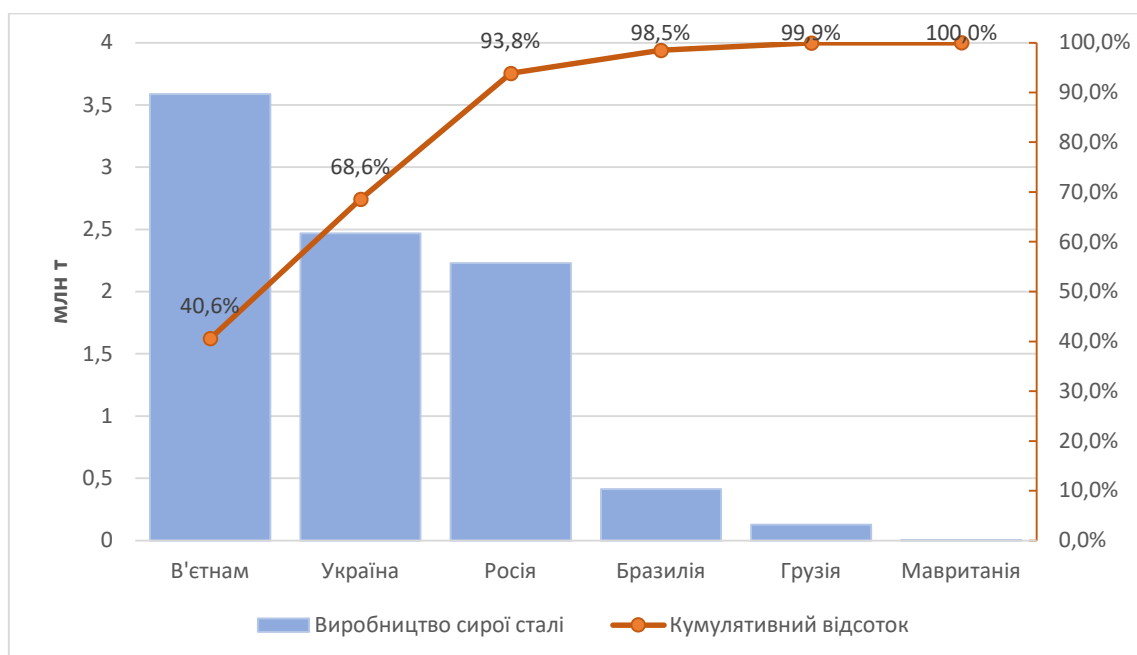


Рисунок 2.5. Виробництво сталі іншими способами у 2023 р.

Джерело: побудовано автором за даними Додатку А

Дана категорія включає перш за все виробництво у мартенівських печах, а також може включати менш поширені або перехідні технології. Розподіл та значення цих методів різняться залежно від країни, часто відображаючи рівень промислової модернізації, доступність сировини та наявність малих виробників. Україна залишається однією з небагатьох країн, де мартенівські печі все ще використовуються – зокрема на підприємстві «Запоріжсталь», тоді як більшість держав уже вивели їх з експлуатації як морально застарілі, неенергоефективні та неекологічні.

З метою візуалізації позиціонування товаровиробників світового металургійного сектору у просторі декарбонізаційної конкуренції доцільно побудувати карту стратегічних конкурентів. На відміну від традиційного ранжування за обсягами виробництва, така карта дозволяє одночасно врахувати і масштаби виробництва, і ступінь технологічної готовності до екологічної модернізації. Вісь Х відображає частку країни або регіону у світовому виробництві сталі, вісь Y – частку електросталеплавильного виробництва у структурі виплавки сталі, а розмір бульбашки відповідає абсолютному обсягу виробництва сталі у 2023 р. Використання частки EAF як аналітичного параметра зумовлене тим, що електросталеплавильний маршрут є важливим елементом низьковуглецевої модернізації металургії, особливо

за умови використання брухту, DRI та низьковуглецевої електроенергії. Водночас цей показник не слід ототожнювати з повним рівнем декарбонізації виробництва, оскільки фактична вуглецемісткість сталі залежить також від структури енергобалансу, сировини, енергоефективності тощо. У межах цього дослідження частка EAF використовується як індикатор технологічної структури та потенційної готовності металургійної індустрії до низьковуглецевої трансформації. Побудована карта стратегічних конкурентів свідчить про суттєву асиметрію позиціонування основних товаровиробників світового металургійного сектору (рис. 2.6).

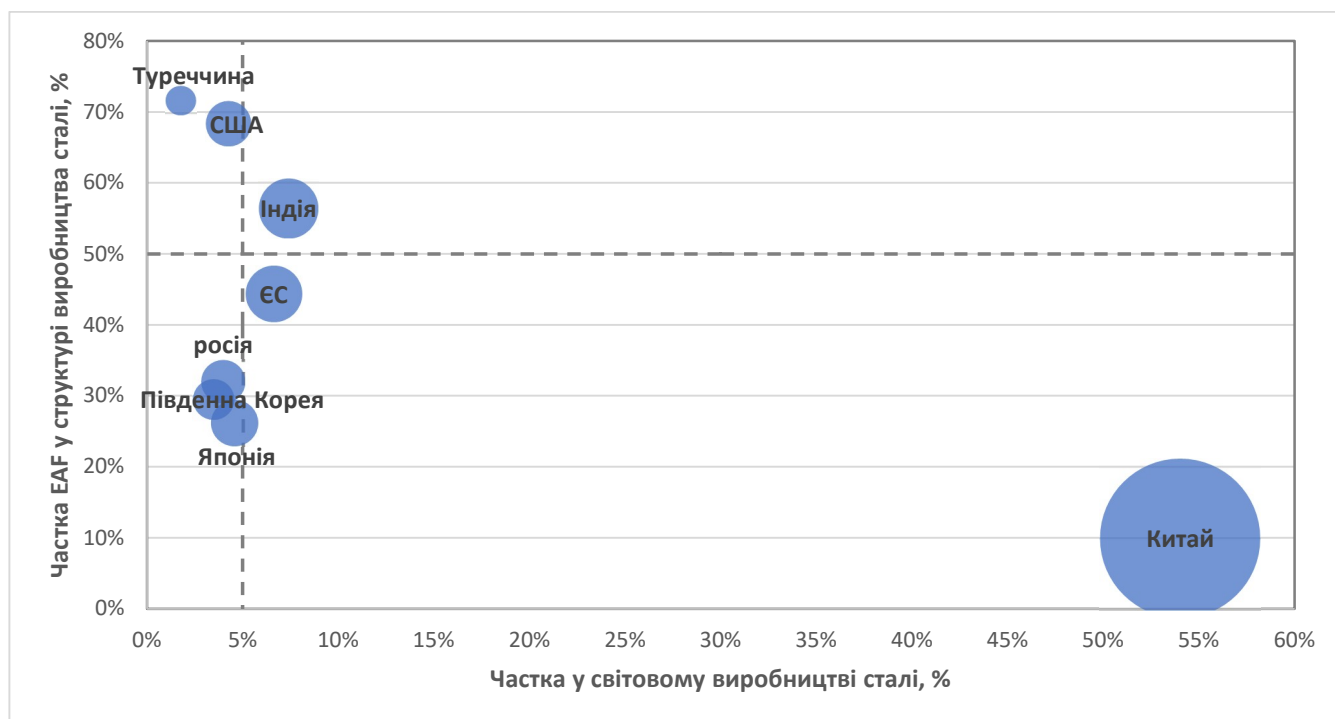


Рисунок 2.6. Карта стратегічних конкурентів

Примітка: розмір бульбашки відповідає обсягу виробництва сталі у 2023 р.; вертикальна пунктирна лінія відображає межу 5% світового виробництва сталі, горизонтальна – межу 50% частки EAF у структурі виробництва
Джерело: побудовано автором за даними Додатку А

Відповідно до побудованої карти стратегічних конкурентів доцільно провести групування за чотирма категоріями залежно від поєднання їхньої ринкової ваги у світовому виробництві та технологічної готовності до декарбонізації, індикатором якої у межах цього аналізу виступає частка EAF.

До першої групи належать виробники з високою часткою у світовому виробництві сталі та високою часткою електросталеплавильного виробництва. Вони

формують групу лідерів зеленої конкурентоспроможності, оскільки поєднують значну ринкову вагу з більш сприятливою технологічною структурою виробництва.

Другу групу становлять масштабні традиційні виробники, які мають високу частку у світовому виробництві сталі, однак характеризуються нижчою часткою ЕАФ. Така позиція властива насамперед Китаю та свідчить про значну роль традиційних технологічних маршрутів у структурі виробництва, що зумовлює масштабні виклики для модернізації.

Третя група охоплює електromеталургійно орієнтованих конкурентів, для яких характерна відносно менша частка у світовому виробництві сталі, але висока частка ЕАФ. До цієї групи належать, зокрема, Туреччина та США, які демонструють вищу поширеність електросталеплавильного маршруту та кращі передумови адаптації до низьковуглецевого переходу.

Четверту групу формують виробники з низькою часткою у світовому виробництві сталі та низькою часткою ЕАФ. Карта стратегічних конкурентів свідчить, що Україна наразі перебуває у групі виробників із низькою міжнародною конкурентною позицією та обмеженим рівнем декарбонізації виробництва. Водночас досвід Туреччини та США демонструє можливість поєднання низьковуглецевої трансформації з посиленням конкурентних позицій на світовому ринку сталі, що формує орієнтири для подальшої модернізації української металургійної індустрії.

Подальший аналіз доцільно зосередити на міжнародній торгівлі напівфабрикатами та готовою сталевою продукцією, оскільки вона відображає роль окремих країн у глобальних ланцюгах постачання металургійної продукції. Діаграма демонструє значну концентрацію світових експортних обсягів напівфабрикатів та готової сталевої продукції за 2023 рік серед обмеженої кількості країн (рис. 2.7).

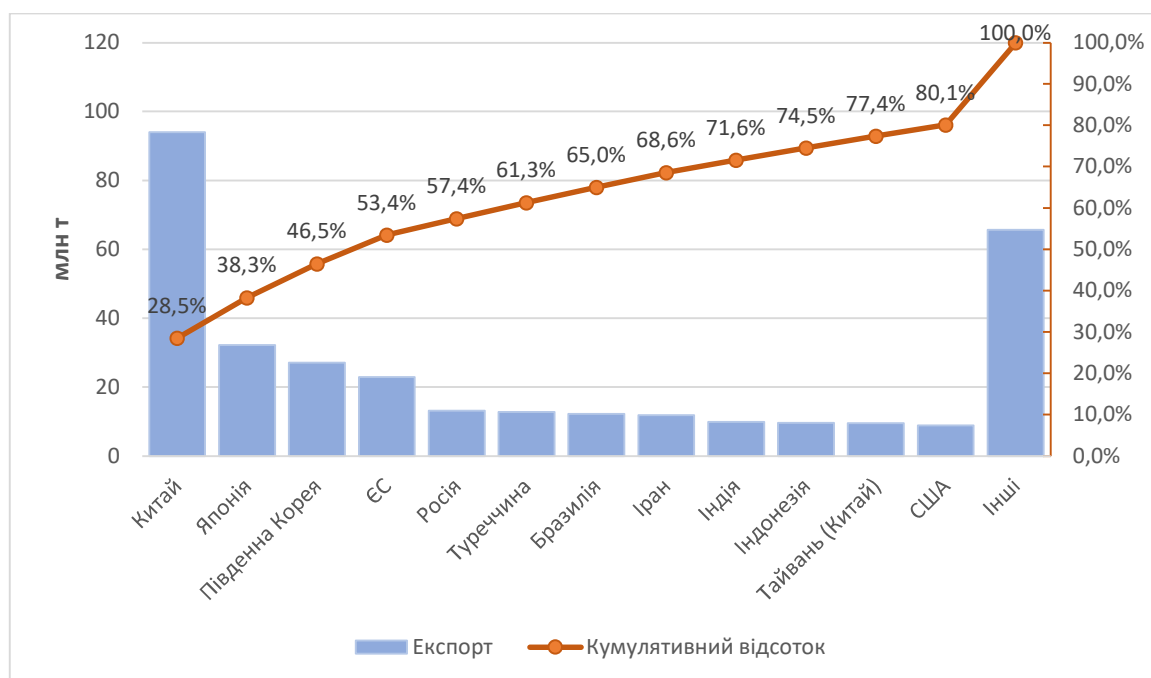


Рисунок 2.7. Експорт напівфабрикатів та готової сталевих продукції у 2023 р.

Джерело: побудовано автором на основі [92]

Абсолютним лідером є Китай, на який припадає 28,5% загального експорту. Це свідчить про провідну роль країни у глобальному постачанні сталевих продукції, що зумовлено найбільшими у світі виробничими потужностями та активною зовнішньоекономічною політикою. За Китаєм слідують Японія, Південна Корея та Європейський Союз, які разом із Китаєм забезпечують понад половину світового експорту сталі. Варто відзначити, що для ЄС показник у 22,582 млн т експорту у діаграмі не включає торгівлю всередині блоку, адже з її урахуванням показник би склав 120,843 млн т. Сукупний внесок дванадцяти провідних експортерів становить приблизно 80%, що свідчить про високу концентрацію ринку. Така ситуація формує певну залежність імпортерів від обмеженого кола постачальників і робить світовий ринок сталі вразливим до геополітичних змін або торговельних обмежень. Водночас решта країн хоч і не мають великої частки в індивідуальному розрізі, сукупно забезпечують близько 20% експорту, що вказує на значну роль середніх і дрібних гравців у підтримці глобальної торгової рівноваги. Структура світового експорту сталі у 2023 році характеризується як висококонцентрована, із домінуванням кількох країн, насамперед з Азійського регіону.

Структура імпорту дає змогу визначити основні ринки збуту продукції та оцінити масштаби попиту з боку держав, у яких внутрішнє виробництво повністю не покриває потреби споживання (рис. 2.8.).

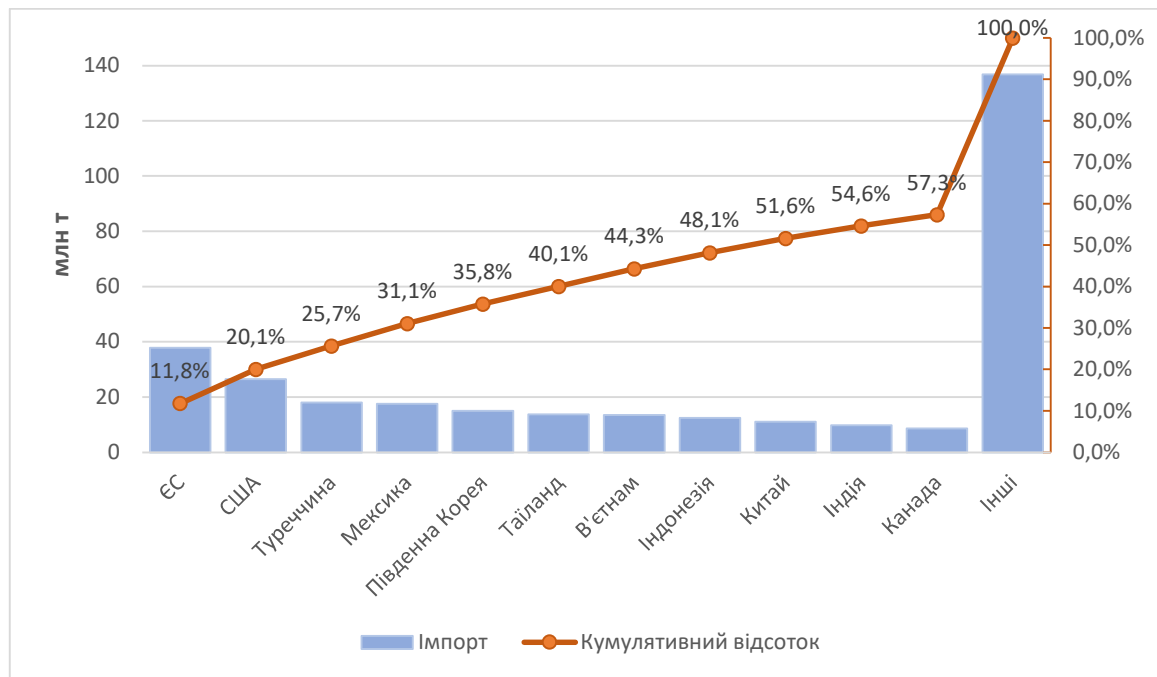


Рисунок 2.8. Експорт напівфабрикатів та готової сталевих продукції у 2023 р.

Джерело: побудовано автором на основі [92]

Найбільшим імпортером сталі є Європейський Союз, на який припадає 11,8% від загального обсягу світового імпорту. Слід зазначити, що показник у 37,822 млн т імпорту не охоплює торгівлю всередині блоку, а з урахуванням внутрішньорегіональної торгівлі складав би 132,355 млн т. Далі йдуть США, Туреччина, Мексика та Південна Корея, які разом із ЄС формують першу п'ятірку ключових імпортерів і забезпечують понад 35% сукупного обсягу імпорту. Кумулятивна крива показує, що 10 провідних гравців на ринку забезпечують майже 60% всього світового імпорту сталі, що свідчить про високу концентрацію попиту серед обмеженої кількості держав. Водночас цей показник є нижчим порівняно з аналогічним рівнем концентрації на стороні експорту.

Найбільші обсяги імпорту характерні для розвинених країн з активним машинобудуванням, автомобільною промисловістю та великими інвестиціями в інфраструктуру, тобто в основні індустрії, що формують попит на сталь. Зокрема, Індія, Китай та країни Південно-Східної Азії (Таїланд, В'єтнам, Індонезія) також

входять до переліку основних імпортерів, що підкреслює їхню роль як регіональних промислових центрів із високим внутрішнім споживанням сталі. Тоді як частка решти країн у глобальному імпорті складає понад 42%, що свідчить про велику кількість дрібніших імпортерів, кожен з яких має невелику індивідуальну частку, але разом вони відіграють помітну роль у формуванні глобального попиту. Така структура імпорту вказує на те, що світовий ринок сталі, попри провідну роль декількох ключових гравців, має широку географічну базу споживання, що робить його стійкішим до регіональних криз, але він все одно залишається чутливим до змін у міжнародній торгівлі.

Така особливість світового ринку сталі проявляється не лише у масштабах виробництва й споживання, а й у конфігурації міжнародних торговельних потоків. Структура нетто-експорту сталі у 2023 р. також засвідчує значну концентрацію експортного потенціалу в обмеженій групі країн (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Провідні нетто-експортери напівфабрикатів та готової сталевих продукції у світі за 2023 рік (млн т)

№	Країна	Експорт	Імпорт	Нетто експорт
1	Китай	94,00	11,035	82,965
2	Японія	32,157	5,834	26,323
3	Південна Корея	27,044	15,024	12,020
4	росія	13,140	1,230	11,910
5	Іран	11,855	1,702	10,153
6	Бразилія	12,216	4,976	7,240
7	Оман	5,915	2,065	3,850
8	Єгипет	4,154	1,519	2,635
9	Україна	3,432	1,236	2,196
10	Тайвань, Китай	9,470	7,508	1,962

Джерело: побудовано автором на основі [92]

Китай, як найбільший виробник сталі у світі, водночас є й лідером за обсягами чистого експорту. Позитивне сальдо зовнішньої торгівлі також демонструють інші великі виробники – Японія, Південна Корея, росія, Іран і Бразилія.

До десятки найбільших нетто-експортерів входять також Оман, Єгипет, Україна та Тайвань, кожен з яких має власні структурні причини такого статусу. Їх об'єднує

те, що обсяги виробництва сталі в цих країнах суттєво перевищують внутрішнє споживання, однак конкретні фактори, що забезпечують позитивне торговельне сальдо, є різними й зумовлені особливостями економічного розвитку, попиту, інвестиційної політики та логістичних можливостей.

Якщо нетто-експорт відображає позиції країн як ключових постачальників металопродукції на світовий ринок, то структура нетто-імпорту дає змогу виявити держави, для яких зовнішні поставки мають визначальне значення у забезпеченні внутрішнього попиту (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

**Провідні нетто-імпортери напівфабрикатів та готової сталевих продукції у світі
за 2023 рік (млн т)**

№	Країна	Імпорт	Експорт	Нетто імпорт
1	США	26,425	8,872	17,553
2	ЄС	37,822	22,852	14,970
3	Мексика	17,495	3,139	14,356
4	Таїланд	13,651	1,603	12,048
5	Філіппіни	6,962	0,071	6,891
6	В'єтнам	13,467	8,129	5,338
7	Туреччина	17,951	12,715	5,236
8	ОАЕ	7,170	2,400	4,770
9	Ірак	4,445	0,065	4,380
10	Ізраїль	3,510	0,005	3,505

Джерело: побудовано автором на основі [92]

США та ЄС входять до п'ятірки найбільших виробників сталі, водночас є найбільшими імпортерами сталі. Варто відзначити, що в даній статистиці показник ЄС не включає внутрішню торгівлю всередині блоку. США та ЄС – це приклади економік із великим попитом, високою вартістю внутрішнього виробництва та відносною орієнтацією на якісну або нішеву продукцію. Вони здатні виробляти сталь у великих обсягах, але структура попиту та економіка виробництва роблять імпорт більш ефективним або вигідним для частини потреб. Тому, попри обсяги виробництва, ці регіони є структурно залежними від імпорту сталі.

Мексика, Таїланд, Філіппіни, В'єтнам, Туреччина, ОАЕ, Ірак та Ізраїль також входять до десятки найбільших нетто-імпортерів сталі. Попри різний рівень

економічного розвитку, ці країни об'єднує структурна залежність від імпорту сталевих продукції. Така ситуація зумовлена поєднанням кількох факторів: високим внутрішнім попитом за умов обмеженого власного виробництва, відсутністю або нестачею сировинної бази, сприятливими умовами для імпорту (як правило, через географічне розташування або торговельні зв'язки), а також економічною недоцільністю створення додаткових металургійних потужностей на загальнонаціональному рівні.

Також проаналізуємо міжнародну торгівлю залізною рудою та сталевим брухтом, оскільки ці види сировини є стратегічно важливими для виробництва сталі. Зокрема, сталевий брухт має значний потенціал для декарбонізації галузі, адже його використання у виплавці через електросталеплавильні потужності є менш енергоінтенсивним і супроводжується значно нижчими викидами парникових газів порівняно з традиційним виробництвом із залізної руди. Крім того, міжнародна торгівля брухтом та високоякісною рудою прямо впливає на доступність низьковуглецевих технологій у різних регіонах світу. Світова торгівля залізною рудою у 2023 р. характеризувалася високою концентрацією експорту в обмеженій групі ресурсно забезпечених країн (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Провідні експортери залізної руди у світі за 2023 рік

№	Країна	Експорт, млн т
1	Австралія	898,459
2	Бразилія	407,970
3	Південна Африка	59,424
4	Канада	58,250
5	Індія	43,818
6	ЄС	22,273
7	Китай	21,481
8	Малайзія	20,211
9	Україна	17,749
10	Іран	17,571

Джерело: побудовано автором на основі [92]

Австралія не є провідним виробником сталі (у 2023 р. виробництво склало лише 5,459 млн т), але є найбільшим експортером, перш за все через географічну близькість

до ключових ринків (Китай, Японія, Південна Корея), а також високорозвинену гірничодобувну інфраструктуру та найбільші у світі поклади високоякісної залізної руди [93].

Бразилія, Південна Африка, Канада та Індія володіють значними покладами залізної руди та мають розвинену портову інфраструктуру, що сприяє активному експорту. ЄС сам по собі не є великим експортером, проте така країна як Швеція вирізняється як головний видобувник залізної руди в союзі. Китай має розвинений внутрішній видобуток і обмежений експорт, здебільшого з віддалених або надлишкових родовищ. Малайзія здійснює невеликий обсяг експорту, що переважно складається з переробленої або реекспортованої руди, зокрема з Індонезії.

Україна володіє значними покладами залізної руди, особливо в Криворізькому басейні, а основними напрямками експорту є країни ЄС, Туреччина та Китай. Важливу роль відіграють збагачувальні потужності, хоча їхня діяльність зазнала значних ускладнень через війну. Іран також має суттєві запаси, і експортує руду переважно до Китаю та інших країн Азії. Проте обсяги експорту з Ірану обмежені запровадженими санкціями та інфраструктурними труднощами. Світовий імпорт залізної руди значною мірою зосереджений у країнах із великими обсягами сталеплавильного виробництва (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Провідні імпортери залізної руди у світі за 2023 рік

№	Країна	Імпорт, млн т
1	Китай	1 180,329
2	Японія	102,218
3	ЄС	72,962
4	Південна Корея	68,507
5	Малайзія	20,906
6	Тайвань, Китай	19,374
7	Бахрейн	13,645
8	Індонезія	11,393
9	Туреччина	8,886
10	Канада	8,238

Джерело: побудовано автором на основі [92]

Китай – абсолютний лідер по імпорту залізної руди у світі, що викликано масштабними обсягами виробництва сталі. Також такі значні показники свідчать про сильну залежність китайської металургії від імпортової руди, а також про брак якісної руди всередині країни. Японія, Південна Корея і Тайвань мають обмежені власні ресурси, але потужну сталеву промисловість. Високий імпорт свідчить про індустріалізовану економіку, орієнтовану на експорт металопродукції та машин. Всі троє входять до найбільших експортерів сталі у світі.

ЄС імпортує залізну руду переважно до Німеччини, Італії та Нідерландів. Це свідчить про те, що видобуток у межах ЄС (наприклад, у Швеції) не покриває потреб великих металургійних комбінатів. Малайзія, Бахрейн, Індонезія виконують подвійну функцію: частково використовують імпортовану руду для власного виробництва сталі та для переробки, збагачення та подальшого реекспорту.

Туреччина має розвинений сталеливарний сектор, але брак власних ресурсів. Що стосується Канади, хоча країна є експортером залізної руди, вона також імпортує її. Можливо, для локального переробного виробництва в окремих регіонах або для спеціалізованих сортів руди. Провідні позиції у світовому експорті сталевих брухту займають країни та регіони з розвинутою промисловою базою, значними обсягами накопиченого металофонду та налагодженою інфраструктурою заготівлі (табл. 2.6).

Таблиця 2.6

Провідні експортери сталевих брухту у світі за 2023 рік

№	Країна	Експорт, млн т
1	ЄС	19,218
2	США	16,264
3	Велика Британія	7,220
4	Японія	6,927
5	Канада	4,770
6	Австралія	2,120
7	ОАЕ	1,630
8	Бразилія	1,068
9	Гонконг, Китай	1,042
10	Мексика	0,964

Джерело: побудовано автором на основі [92]

У 2023 році лідерами з експорту сталевих брухтів стали ЄС, США та Велика Британія, що зумовлено розвинутою інфраструктурою збору відходів. Значні обсяги експорту з Японії, Канади та Австралії відображають не лише надлишок брухту, а й стабільний попит на вторинну сировину з боку країн Азії. Водночас участь таких гравців, як ОАЕ, Бразилія та Гонконг, свідчить про зростаючу роль реекспорту та транзитної торгівлі у глобальному ланцюгу поставок брухту.

Імпорт сталевих брухтів значною мірою залежить від масштабів електросталеплавильного виробництва та доступності брухту всередині країни, що зумовлює формування значної імпоротної залежності у тих державах, де розвиток електросталеплавильних потужностей випереджає внутрішні можливості забезпечення вторинною сировиною (табл. 2.7).

Таблиця 2.7

Провідні імпортери сталевих брухтів у світі за 2023 рік

№	Країна	Імпорт, млн т
1	Туреччина	18,775
2	Індія	11,76
3	В'єтнам	5,334
4	США	5,097
5	Бангладеш	4,19
6	ЄС	3,874
7	Південна Корея	3,794
8	Тайвань, Китай	3,407
9	Мексика	2,761
10	Пакистан	2,502

Джерело: побудовано автором на основі [92]

У 2023 році Туреччина зберегла позицію найбільшого імпортера сталевих брухтів у світі, імпортувавши близько 18,775 млн т. Такий показник зумовлений структурою виробництва, адже більше 70% виробництва сконцентровано на електродугових печах, що потребують великої кількості брухту як сировини. Індія посіла друге місце, що відображає зусилля країни щодо розвитку циркулярної економіки та зменшення залежності від залізної руди. В'єтнам імпортував 5,334 млн т брухту, що свідчить про зростаючі потреби в сировині для задоволення внутрішнього попиту на сталь. США, хоча й є одним із найбільших експортерів брухту, також

імпортували 5,1 млн т, що вказує на специфічні потреби в певних видах брухту для внутрішнього виробництва. Інші гравці, такі як Бангладеш, ЄС, Південна Корея, Тайвань, Мексика та Пакистан, також продемонстрували значні обсяги імпорту, що підкреслює глобальну тенденцію до збільшення використання вторинної сировини у галузі.

Підсумовуючи аналіз глобальної технологічної структури виробництва, торгівлі металопродукцією та металургійною сировиною, можна визначити, що ефективна системна трансформація галузі здійснюватиметься шляхом поєднання кліматичних обмежень, запровадження технологічних інновацій, зміни структури попиту, посилення регуляторного тиску та перебудови міжнародних ланцюгів створення вартості. Це зумовить не лише технологічну модернізацію виробничих потужностей, а зміну логіки самого функціонування галузі, у межах якої відповідність кліматичним стандартам перетвориться на ключові параметри формування її міжнародної зеленої конкурентоспроможності. У цьому контексті результати проведеного аналізу дозволяють виокремити наступні сучасні тренди трансформації глобального металургійного сектору.

1. Технологічний перехід від BF-BOF. Домінуючий на сьогодні технологічний маршрут BF-BOF дедалі більше втрачатиме статус безальтернативної технологічної основи галузі. Його висока залежність від викопного палива, висока вуглецемісткість та енергоінтенсивність процесів робить цей маршрут особливо вразливим в умовах посилення екологічних вимог до вуглецевого сліду продукції. На цьому тлі електросталеплавильні маршрути, технології прямого відновлення заліза за допомогою зеленого водню та електроліз заліза формують альтернативну траєкторію низьковуглецевого розвитку металургійної індустрії. З позицій концепції технологічних переходів цей процес можна інтерпретувати як поступове послаблення традиційного технологічного маршруту BF-BOF під впливом нішевих інновацій (воднева металургія, електроліз заліза), які спочатку розвиваються в обмежених сегментах, але згодом здатні змінити домінуючу виробничу конфігурацію галузі. Тут проявляється і концепція екологічної модернізації, згідно з якою подолання екологічної кризи досягається не гальмуванням промисловості, а її

«суперіндустріалізацією» та впровадженням інновацій, що розривають зв'язок між економічним зростанням та викидами.

2. Зростання ролі вторинної сировини. Другим важливим трендом є підвищення значення металобрухту як стратегічного ресурсу низьковуглецевого переходу. Більш широке використання вторинної сировини є найбільш практично доступним способом зменшити викиди вуглецю, оскільки дає змогу зменшити потребу у первинному видобутку залізної руди, скоротити споживання енергії та обмежити викиди, пов'язані з попередніми стадіями ланцюга створення вартості. У теоретичному вимірі цей тренд демонструє посилення циркулярної складової екологічної модернізації. Акценти в галузі зміщуються з лінійної моделі, заснованої на видобутку первинної сировини, її переробці та подальшому споживанні, до більш замкненої циркулярної, у якій сталь є матеріалом із високим потенціалом повторного використання. Зростання ролі брухту комплексно трансформує економіку галузі: вторинна сировина набуває значення конкурентного ресурсу, доступ до якого знижуватиме рівень вбудованих викидів вуглецю, що зменшить регуляторне екологічне фінансове навантаження на виробників.

3. Формування ринку зеленої сталі. Становлення ринку зеленої сталі як нового ринкового сегменту повністю узгоджується з концепцією зеленої конкурентоспроможності: екологічні характеристики виробництва можуть бути не лише регуляторним обмеженням, а й джерелом нових конкурентних переваг. Якщо раніше конкуренція між виробниками могла визначатись ціною, якістю або надійністю постачань, то в умовах низьковуглецевого переходу екологічні характеристики продукції набувають ключового ринкового значення. Вбудовані викиди вуглецю у металопродукції поступово стають обмеженням, що впливає на доступ до ринків та можливість укладання довгострокових контрактів. Водночас екологічні характеристики можуть бути не лише обмеженням, а й джерелом нових конкурентних переваг. У цьому контексті підтверджується логіка гіпотези Портера: жорсткі екологічні вимоги за певних умов стимулюють компанії до інновацій та підвищення ефективності. Запровадження ринку зеленої сталі є проявом саме такої

трансформації, коли декарбонізація перестає бути виключно витратним елементом і поступово набуває ознак стратегічного низьковуглецевого переходу.

4. Зростання електрифікації виробництва. Цей тренд охоплює не лише збільшення частки електросталеплавильного виробництва у глобальній технологічній структурі, а й розвиток технології електролізу заліза, виробництво зеленого водню, цифрового управління виробничими процесами та інтеграції металургійних підприємств із низьковуглецевими енергетичними системами. Така електрифікація дасть повноцінний ефект лише за умови, що електроенергія виробляється з низьковуглецевих джерел. Саме тут особливого значення набуває концепція інноваційних екосистем. В даному контексті декарбонізація металургійної індустрії вже не може бути реалізована виключно на рівні окремого підприємства, оскільки потребує координації між товаровиробниками металургійної продукції, енергетичними компаніями, фінансовими інститутами та державними органами. Відтак зелена конкурентоспроможність металургійної індустрії дедалі більше визначається не тільки ефективністю внутрішніх процесів, але і якістю зовнішнього інноваційного середовища.

5. Посилення ролі вуглецевого регулювання. Інтерналізація екологічних витрат набуває жорстких форм (екологічний податок, СТБ ЄС, CBAM, ESG-звітність тощо), що змінюють економічну логіку виробництва сталі. У теоретичному вимірі цей тренд ґрунтується на концепції негативних екстерналій, оскільки виробник має враховувати соціальну вартість вуглецю у власних економічних рішеннях. У практичному вимірі це означає, що вуглецемісткі технології втрачають частину своєї цінової переваги, тоді як інвестиції у низьковуглецеві технології, енергоефективність і цифровізацію набувають стратегічного значення. Вуглецеве регулювання стимулює трансформацію галузі, спрямовуючи фінансові потоки в екологічну модернізацію галузі.

6. Трансформація глобальних ланцюгів вартості. У традиційній моделі ринкові позиції металургійних компаній у ланцюгах створення вартості значною мірою визначалася доступом до дешевої сировини, енергоресурсів, логістикою та масштабами виробництва. Для низьковуглецевого переходу більшого значення набуває доступ до зеленої електроенергії, зеленого водню та вторинної сировини. У

цьому контексті формується новий тип виробничих мереж – зелені ланцюги створення вартості, у яких конкурентна позиція виробника залежить від здатності мінімізувати вбудовані викиди вуглецю на всіх етапах створення вартості. Це особливо важливо для downstream-секторів, що теж перебувають під тиском кліматичної трансформації, серед яких будівництво, автомобілебудування, машинобудування тощо. Відтак декарбонізація металургійної індустрії перестає бути внутрішнім фактором ефективності, а стає умовою участі у нових низьковуглецевих ланцюгах глобального виробництва.

Аналогічні процеси низьковуглецевої трансформації спостерігаються у виробництві алюмінію, міді та інших кольорових металів, проте масштаби кліматичних викликів і роль сталі у формуванні промислової інфраструктури зумовлюють фокус дослідження саме на металургії чорних металів.

Відтак можна констатувати, що сучасні тренди трансформації глобального металургійного сектору поступово змінюють саму природу його конкурентоспроможності. У цьому контексті концепція зеленої конкурентоспроможності виступає ключовою об'єднувальною рамкою, в якій декарбонізація є не лише вимушеною реакцією на кліматичні обмеження, а стратегічною умовою збереження довгострокової ринкової стійкості галузі, формування нових конкурентних переваг та інтеграції виробників у низьковуглецеві глобальні ланцюги створення вартості.

2.2. Варіативність національних моделей низьковуглецевої трансформації металургійного комплексу

Виявлені у попередньому підрозділі тренди дають підстави стверджувати, що модернізація металургійної індустрії формується під впливом широкого комплексу чинників. Однак їхня роль і співвідношення істотно відрізняються між країнами, оскільки національні металургійні сектори відрізняються за технологічною

структурою, рівнем забезпечення сировиною, глибиною інтеграції у глобальні ланцюги створення вартості, різним ступенем регуляторного тиску тощо. Відтак глобальна трансформація металургійного сектору не означає уніфікації національних моделей модернізації, а навпаки – посилює їхню варіативність. Як об’єкти порівняльного аналізу було обрано Китай, Індію, Європейський Союз, Японію та США, оскільки вони є найбільшими виробниками сталі у світі та відіграють визначальну роль у формуванні орієнтирів розвитку металургійного сектору.

Структура виробництва сталі у Китаї на 2023 рік оцінюється наступним чином: 90,1% киснево-конвертерне виробництво і 9,9% електросталеплавильне. Динаміка структури виробництва сирової сталі в Китаї за технологічними маршрутами підтверджує збереження домінування технологічного маршруту BF-BOF за відносно низької частки електросталеплавильного виробництва (рис. 2.9).

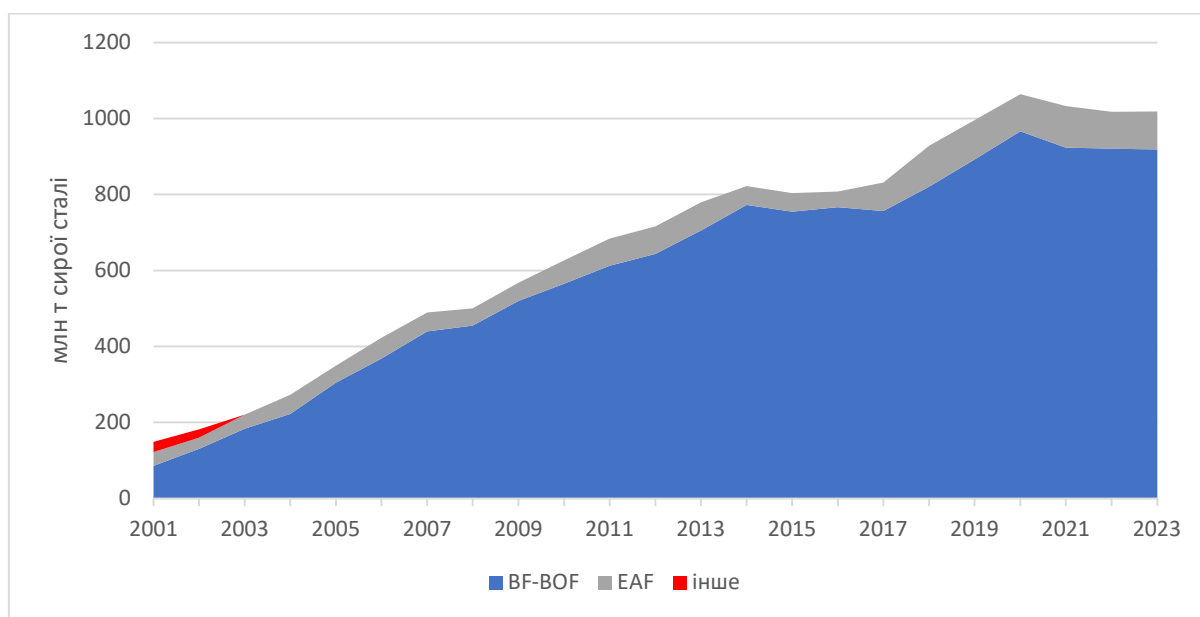


Рисунок 2.9. Динаміка структури виробництва сирової сталі в Китаї за технологічними маршрутами у 2001–2023 рр.

Джерело: побудовано автором за даними WorldSteel

Наведені дані свідчать, що упродовж 2001–2023 рр. сталеливарне виробництво в Китаї зросло майже у 7 разів з 148,9 млн т до 1019,1 млн т. Таке зростання відбувалося переважно за рахунок технологічного маршруту BF-BOF. Найбільш інтенсивне нарощування обсягів виробництва спостерігалось у 2001-2014 рр., після чого темпи зростання сповільнилися, а в окремі роки простежувалися ознаки

стабілізації та незначного скорочення. Водночас електросталеплавильне виробництво, попри поступове зростання в абсолютному вимірі, залишалося другорядним.

Урядом КНР задекларовано дві ключові кліматичні цілі: пік викидів до 2030 року та досягнення вуглецевої нейтральності до 2060 року. Інші ключові цілі щодо декарбонізації металургійного сектору включали збільшення частки виробництва сталі на основі металобрухту до 15% від загального обсягу виробництва сирової сталі до 2025 року [94]. Водночас, за даними WorldSteel на 2025 рік частка електросталеплавильного виробництва у структурі сектору Китаю склала лише 10,6% [49].

Окрім того, в 2021 Китай офіційно запустив національну систему торгівлі викидами, яку у березні 2025 року було поширено на сталь, цемент та алюміній [95]. Однак особливість в тому, що наразі система базується на інтенсивності викидів – тобто підприємства отримують безкоштовні квоти відповідно до обсягів виробництва та встановлених галузевих бенчмарків. Іншими словами, загальні викиди можуть зростати разом зі збільшенням виробництва.

Державна підтримка металургійного сектору в Китаї б'є рекорди [96]. Рівень субсидування (гранти, податкові пільги, кредити нижче ринкових ставок) майже подвоївся з 2019 року, а станом на 2024 рік, медіанне китайське металургійне підприємство отримувало у 15 разів більше субсидій відносно розміру своїх активів, ніж аналогічне підприємство в країнах ОЕСР. Лише у 2025 році було запроваджено 59 нових програм підтримки на рівні провінцій та муніципалітетів. Багато з цих субсидій прямо стимулюють збільшення обсягів виробництва та експорту або фінансують екологічну модернізацію без вимог щодо закриття надлишкових заводів.

Китай також є ключовим рушієм розбудови нових металургійних заводів за кордоном. Китайські компанії беруть участь у більш ніж половині всіх запланованих у світі транскордонних інвестицій у металургію. Близько 70% цих інвестицій здійснюють державні підприємства. Важливо відзначити, що з 86% закордонних проєктів Китаю – це будівництво доменного виробництва [96].

Отже, визначальною рисою моделі модернізації сектору у Китаї є стратегічна координація з боку центральної влади, поєднана з провінційним адмініструванням, екологічними модернізаціями та поступовим розширенням вуглецевого ринку. Перевага китайської моделі полягає у високій державній спроможності, що дозволяє швидко масштабувати екологічні модернізації, координувати інвестиції, підтримувати великі корпорації та поєднувати модернізацію із завданнями збереження промислового виробництва. Серед недоліків – глобальна надлишкова потужність і високий рівень субсидування, що знижують роль ринку і ускладнюють виведення з експлуатації неекологічних активів. Окремим недоліком є домінування вуглецемісткої енергетичної бази – на 2025 рік частка низьковуглецевих джерел енергії в енергобалансі Китаю склала лише 41,65%, водночас джерелом 54,35% всієї згенерованої енергії було вугілля [141].

Індія, другий за обсягами виробник сталі у світі, має наступну технологічну структуру виробництва на 2023 рік: 43,6% киснево-конвертерного виробництва і 56,4% електросталеплавильного. На відміну від Китаю, розвиток металургійного сектору Індії характеризується більш збалансованою технологічною структурою виробництва сталі та вищою роллю електросталеплавильного маршруту (рис. 2.10).

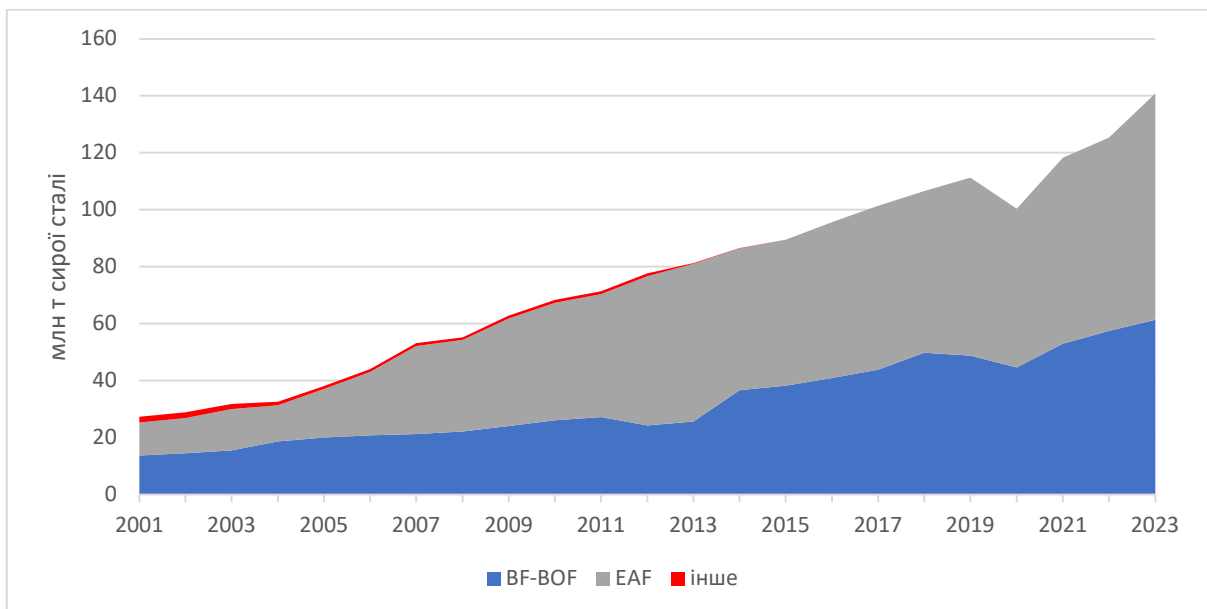


Рисунок 2.10. Динаміка структури виробництва сирової сталі в Індії за технологічними маршрутами у 2001–2023 рр.

Джерело: побудовано автором за даними WorldSteel

Упродовж 2001-2023 рр. виробництво сирової сталі в Індії зросло більш ніж у п'ять разів з 27,3 млн т до 140,8 млн т. Найбільш помітне зростання спостерігалось після 2010 р., що відображає розширення внутрішнього попиту на металопродукцію, індустріалізацію економіки та нарощування виробничих потужностей. Протягом досліджуваного періоду в індійському металургійному секторі вагому роль відігравало електросталеплавильне виробництво, водночас технологічний маршрут BF-BOF також демонстрував поступове зростання, що свідчить про паралельний розвиток обох маршрутів. Тимчасове уповільнення динаміки у 2020 р. мало короткостроковий характер, після чого у 2021-2023 рр. виробництво швидко відновилося та продовжило зростання.

Задекларована національна мета уряду – досягнення нульових викидів до 2070 року. Міністерство сталі Індії поставило амбітніші короткострокові цілі: знизити викиди вуглецю (інтенсивність) в металургії на 50% до 2030 року. Індія також запустила Національну місію з водневої енергетики, щоб забезпечити конкурентоспроможне виробництво зеленого водню [97].

Важливо відзначити, що Індія перебуває в процесі розробки національного ринку вуглецю в рамках Схеми торгівлі вуглецевими кредитами. Детальні правила цієї схеми були прийняті в липні 2024 року, а запуск очікувався у 2025-2026 роках. Дана схема функціонуватиме як система, що базується на інтенсивності, на основі базових ліній та кредитів, встановлюючи обов'язкові цільові показники інтенсивності викидів парникових газів для зобов'язаних суб'єктів [98].

У 2024 році Міністерство сталі Індії вперше офіційно визначило поняття «зеленої сталі» в рамках національної таксономії. Згідно з цим документом, сталь вважається «зеленою», якщо обсяг супутніх викидів не перевищує 2,2 тонни CO₂-екв. на тонну готової продукції [99]. Водночас цей поріг залишається відносно високим: за даними WorldSteel, у 2024 році середній рівень викидів у світовому виробництві становив 1,92 т CO₂-екв. на тонну сталі [49].

Індія наразі є країною, що найшвидше нарощує виробництво сталі у світі (у період 2021–2025 років додано 41,4 млн тонн нових потужностей, а ціль до 2030-2031 років – досягти 300 млн тонн). Проте, на відміну від більшості інших регіонів світу,

які розширюють потужності за рахунок менш вуглецемістких електродугових печей, Індія продовжує спрямовувати основні інвестиції в проекти з традиційним технологічним маршрутом BF-BOF [96].

Ключовим напрямом у майбутньому є виробництво сталі на основі водню. У 2023 році Індія започаткувала Національну водневу ініціативу, у межах якої 13 галузевих робочих груп розробляють дорожню карту декарбонізації галузі. У рамках цієї ініціативи уряд виділив 14,66 мільярда рупій на пілотні проекти із застосуванням «зеленого» водню у виробництві сталі. Однак на сьогодні зелений водень в Індії ще не є економічно конкурентоспроможним, тому ці ініціативи залишаються на етапі випробувань [100]. Індія (разом з Іраном) домінує на ринку DRI, забезпечуючи понад 70% світового виробництва цієї сировини. Хоча зараз це виробництво може бути пов'язане з викопним паливом, даний маршрут розглядається як критично важлива основа для майбутнього переходу на низьковуглецеве виробництво з використанням зеленого водню.

Переваги моделі Індії пов'язані з її динамічністю, адже існує реальна перспектива інтегрувати нові низьковуглецеві маршрути в умовах зростання внутрішнього попиту на сталь. Обмеження ж полягають у високій капіталомісткості переходу, обмеженій фінансовій спроможності частини виробників та неминучому конфлікті між вартістю сталі й темпами декарбонізації. Окремим недоліком є структура енергобалансу – на 2025 рік 70,82% джерелом всієї згенерованої електроенергії в Індії було вугілля, а частка низьковуглецевих джерел енергії склала лише 26,65% [141].

Технологічна структура виробництва сталі в ЄС на 2023 рік розподілена наступним чином: 55,7% киснево-конвертерне виробництво і 44,3% електросталеплавильне. На відміну від Китаю, де домінує технологічний маршрут BF-BOF, та Індії, де електросталеплавильне виробництво має провідну роль, структура виробництва сталі в ЄС є більш збалансованою (рис. 1.11).

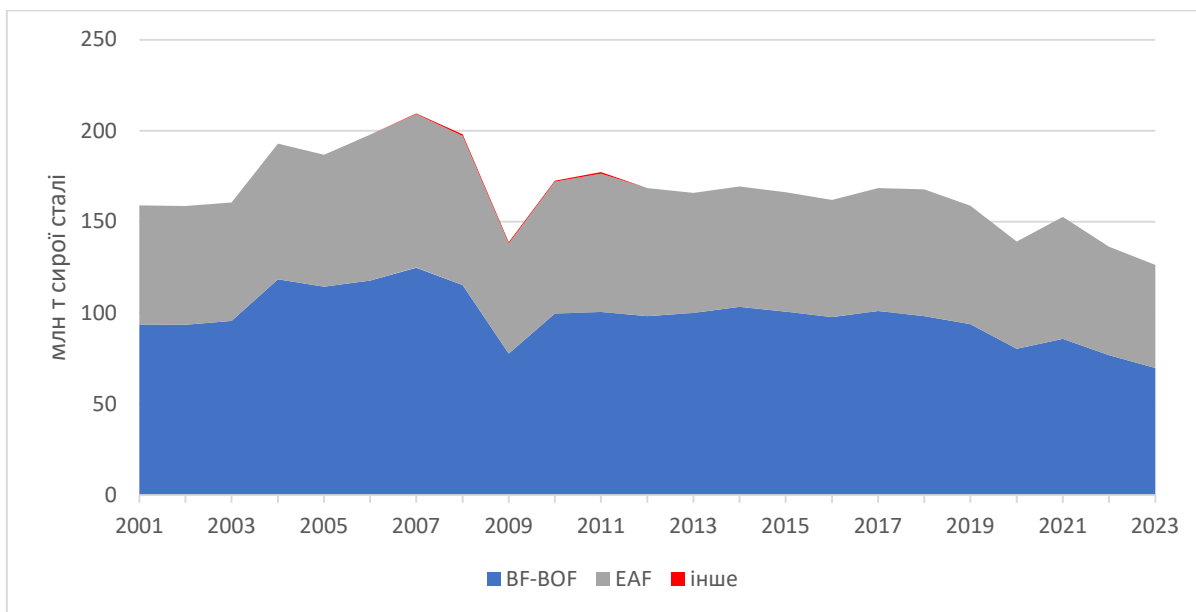


Рисунок 2.11. Динаміка структури виробництва сирової сталі в ЄС за технологічними маршрутами у 2001–2023 рр.

Джерело: побудовано автором за даними WorldSteel

Наведені дані свідчать, що упродовж 2001-2023 рр. виробництво сирової сталі в ЄС характеризувалося циклічною та загалом спадною динамікою. Водночас інтерпретація цих показників потребує врахування того, що протягом досліджуваного періоду кількість держав-членів ЄС змінювалася внаслідок декількох етапів розширення, а також виходу Великої Британії зі складу ЄС.

Європейський закон про клімат чітко визначає цілі кліматичної нейтральності: скорочення чистих викидів парникових газів щонайменше на 55% до 2030 року та на 90% до 2040 року порівняно з рівнем 1990 року [28]. Важливими інструментами ціноутворення на викиди вуглецю є запроваджена у 2005 році система торгівлі викидами ЄС, а також СВМ, що поширює її принципи на такі імпортовані товари як цемент, залізо, сталь, алюміній, електроенергію, водень, добрива.

ЄС також встановлює суворі галузеві стандарти, наприклад, найкращі доступні технології для сталі згідно з Директивами про промислові викиди [102]. Додатковим інструментом підтримки промислової декарбонізації стала Угода ЄС про чисту промисловість, що передбачила додаткове фінансування спеціально для проривних технологій декарбонізації сталі [101]. Важливу роль у цій системі відіграє Інноваційний фонд, який наповнюється за рахунок надходжень від системи торгівлі

викидами ЄС. Його призначення полягає у фінансуванні проєктів, пов'язаних із комерціалізацією та впровадженням інноваційних низьковуглецевих і кліматично нейтральних технологій.

Водень, своєю чергою, визначається Єврокомісією як ключовий чинник декарбонізації первинного виробництва сталі, а пряме відновлення за використання водню – як найперспективніший шлях для зниження викидів у первинній металургії. В планах ЄС і використання державних закупівель, субсидій та регуляторних стимулів, щоб штучно сформувати стабільний попит саме на низьковуглецеві метали європейського виробництва [103].

Переваги моделі ЄС в системності: кліматична політика, промислова політика та фінансова архітектура взаємно підсилюють одна одну. Її сильними сторонами є передбачуваність регуляторного середовища, формування стандартизованого ринку «зеленої» продукції, здатність спрямовувати капітал у розбудову нових технологічних маршрутів та висока частка низьковуглецевої електроенергії в енергобалансі у 71,05%. Водночас обмеження моделі теж очевидні: нерівномірність фіскальних можливостей держав-членів ЄС, ризик втрати експортної конкурентоспроможності на зовнішніх ринках, де вуглецеве регулювання відсутнє або слабше, дефіцит дешевих низьковуглецевих електрики та водню.

Технологічна структура виробництва сталі в Японії на 2023 рік складає 73,8% киснево-конвертерного виробництва і 26,2% електросталеплавильного. Японія демонструє модель низьковуглецевої трансформації металургійного комплексу, що формується в умовах високої технологічної зрілості галузі, значної експортної орієнтації та тривалого домінування технологічного маршруту BF-BOF. Така структура свідчить про суттєву залежність японської металургії від первинного виробництва сталі, що, з одного боку, забезпечує високу якість і стабільність випуску продукції, а з іншого – ускладнює швидкий перехід до менш вуглецемістких технологічних маршрутів. Наведені дані свідчать, що упродовж 2001-2023 рр. виробництво сирової сталі в Японії характеризувалося відносною стабільністю з поступовим переходом до спадної динаміки у другій половині досліджуваного періоду (рис. 2.12).

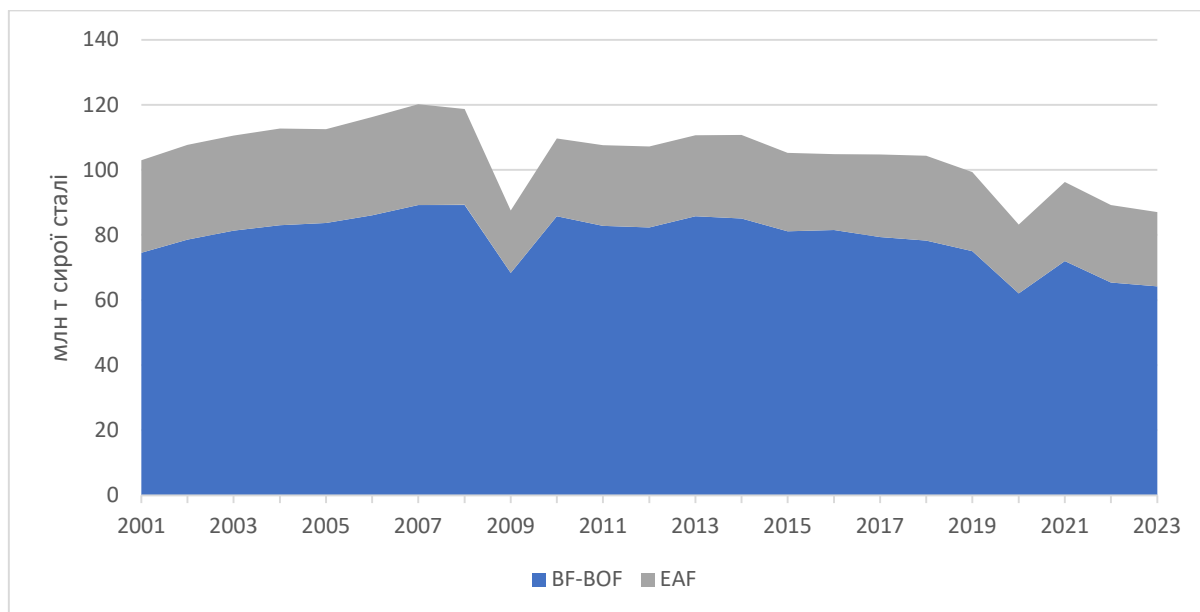


Рисунок 2.12. Динаміка структури виробництва сирової сталі в Японії за технологічними маршрутами у 2001–2023 рр.

Джерело: побудовано автором за даними WorldSteel

Після помірного зростання у першій половині 2000-х років у 2009 р. відбулося різке скорочення виробництва, після чого відновлення було лише частковим. У подальшому обсяги виробництва коливалися без вираженої висхідної тенденції, а в 2020-2023 рр. знову знизилися. Протягом усього досліджуваного періоду в технологічній структурі японської металургії домінував технологічний маршрут BF-BOF, що свідчить про збереження традиційної моделі функціонування галузі та визначає специфіку її низьковуглецевої трансформації.

Японська сталеливарна промисловість довгий час була лідером за ефективністю, але тепер стикається з необхідністю трансформаційних змін для досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року [104]. Японський уряд визначив сталеливарну промисловість як ключовий сектор у Зеленій стратегії зростання, а Японська федерація заліза і сталі підтвердила зобов'язання досягти вуглецевої нейтральності приблизно до середини століття. Проміжна ціль – скорочення викидів до 2030 року на 30% від рівня 2013 року. Основний механізм підтримки в даному контексті – це Фонд зелених інновацій, з якого на розвиток можливостей використання водню в сталеливарній промисловості було виділено до 449,9 млрд японських єн [105].

У Японії відсутній обов'язковий вуглецевий податок, але уряд застосовує субсидії, добровільні зобов'язання та стандарти. Іншими словами, державна політика більше спирається на значне фінансування досліджень та розробок, партнерства та добровільні цілі. Японський уряд запустив власну систему торгівлі викидами у квітні 2023 року. Перший етап системи триватиме три роки та передбачає добровільну участь компаній за принципом визначення базового рівня викидів і нарахування кредитів за зниження з подальшим переходом до обов'язкового формату [106].

План Японії щодо «зеленої» сталі зосереджений на використанні водневої металургії та технологій уловлювання, зберігання та використання вуглецю, спираючись при цьому на вже досягнутий високий рівень енергоефективності. Відповідно до інформації на сайті японського уряду, у межах програми COURSE50, ініційованої японськими виробниками сталі, випробування показали, що вдування водневомісткого газу в доменну піч знижує використання коксу та обсяг викидів вуглецю. Спираючись на ці результати, у 2022 році консорціум компаній Nippon Steel, JFE Steel, Kobe Steel та інших за підтримки агентства NEDO започаткував проєкт Super COURSE50. Його мета – скорочення викидів CO₂ з доменних печей на 50% завдяки використанню підігрітого зовнішнього водню. У 2023 році пілотна доменна піч у межах Super COURSE50 досягла світового рекорду – зменшення викидів на 33% у тестовому експерименті, що є найбільшим зафіксованим скороченням. Паралельно японські виробники сталі працюють над виробництвом заліза прямого відновлення з використанням водню. Оскільки Японія має обмежені запаси природного газу, основна увага приділяється виробництву заліза прямого відновлення у поєднанні з електродуговими печами. Наприклад, найбільший японський виробник сталі Nippon Steel передбачає початок заміни частини доменних печей на комбінацію DRI-EAF з використанням водню [104]. Що стосується вловлення вуглецю, Японія вивчає можливості зберігання вуглецю, зокрема в шельфових відкладеннях у власних територіальних водах. Крім того, продовжується електрифікація та підвищення енергоефективності.

Перевагою моделі Японії є її технологічна глибина: вона краще за інші враховує проблеми чистоти металу, якості продукції та інерційності великих інтегрованих

комбінатів. Водночас її обмеження також суттєві: висока залежність від доступу до дешевої низьковуглецевої електроенергії та водню, тривалий цикл комерціалізації інновацій, висока капіталомісткість переходу. Недоліком є і низька частка низьковуглецевих джерел в енергобалансі у 32,71%, водночас частка вугілля та газу складає 32,78% та 32,05% відповідно [141].

Технологічна структура виробництва сталі в США на 2023 рік складає 31,7% киснево-конвертерного виробництва і 68,3% електросталеплавильного. США репрезентують модель низьковуглецевої трансформації металургійного комплексу, що спирається на порівняно високу частку електросталеплавильного виробництва, розвинений ринок металобрухту та значну роль ринкових і промислово-політичних стимулів у модернізації галузі (рис. 2.13).

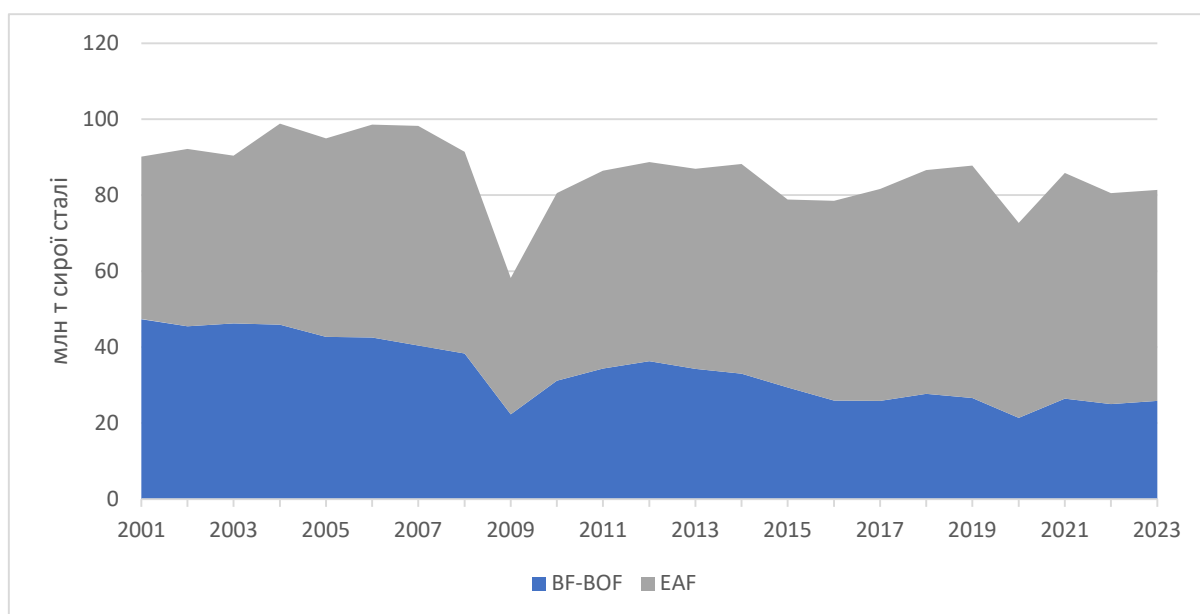


Рисунок 2.13. Динаміка структури виробництва сирової сталі в США за технологічними маршрутами у 2001–2023 рр.

Джерело: побудовано автором за даними WorldSteel

Наведені дані свідчать, що упродовж 2001-2023 рр. виробництво сирової сталі в США характеризувалося відносною стабільністю з окремими періодами скорочення. У першій половині досліджуваного періоду обсяги виробництва залишалися порівняно високими, однак у 2009 р. відбулося різке падіння, зумовлене впливом світової фінансово-економічної кризи. У наступні роки виробництво частково відновилося, проте не повернулося до попередніх максимальних значень і надалі

коливалося без вираженої тенденції до зростання. Характерною рисою є стале домінування електросталеплавильного виробництва протягом усього досліджуваного періоду, тоді як частка киснево-конвертерного маршруту поступово зменшувалася. Це свідчить про більш високу адаптованість технологічної структури сталеливарної промисловості США до вимог низьковуглецевого переходу порівняно з країнами, у яких переважають традиційні вуглецемісткі маршрути.

США дотримуються підходу промислової політики, роблячи ставку на стимули та державні закупівлі, а не на пряме ціноутворення вуглецю. Ключовими інструментами реалізації державної політики США у сфері декарбонізації стали [107]:

- Закон про зниження інфляції, який запровадив масштабні податкові кредити для чистої енергетики, водню та уловлювання вуглецю;
- Закон про інфраструктуру, який профінансував \$6 млрд на демонстраційні проєкти з декарбонізації важкої промисловості, включно з металургійною індустрією.

Також уряд США використовує закупівлі для стимулювання виробництва зеленої сталі. Завдяки ініціативі Federal Buy Clean федеральний уряд вперше надавав пріоритет використанню низьковуглецевих будівельних матеріалів американського виробництва у федеральних закупівлях та проєктах, що фінансуються з федерального бюджету [108]. Водночас наступний президент США скасував ініціативу у 2025 році після вступу на посаду, надаючи більший пріоритет економічній ефективності [109].

У США немає національного вуглецевого податку чи федеральної СТВ. Через домінуючу частку електросталеплавильних технологій модель декарбонізації у США зосереджена на очищенні частки інтегрованого маршруту виробництва сталі шляхом поступової відмови від технологічного маршруту BF-BOF на користь DRI-EAF [107].

США також підтримують інноваційні технології – наприклад, компанія Boston Metal за підтримки провідних сталеливарних компаній та фонду Breakthrough Energy Білла Гейтса розробляє електроліз розплавленого оксиду, проривну безвуглецеву технологію виробництва сталі з використанням електроенергії, і вже виробила більше тонн продукції цим способом [110].

Перевага американської моделі полягає в її сумісності з американською інституційною структурою: вона мобілізує приватні інвестиції, краще враховує регіональну різноманітність, використовує вже наявну електросталеплавильну базу і прискорює комерціалізацію технологій через публічно-приватні альянси. Водночас її обмеження полягають у меншій регуляторній жорсткості порівняно з ЄС, що може уповільнювати виведення з ринку більш неекологічних виробничих потужностей. Частка низьковуглецевих джерел енергії в енергобалансі США на 2025 рік складає 43%, що є скоріше перевагою, ніж недоліком. Відтак американська модель є сильнішою у стимулюванні інновацій, але слабшою у створенні універсального обов'язкового тиску на всю галузь.

Узагальнення розглянутих національних моделей модернізації металургійної індустрії дозволяє виділити п'ять ключових: регуляторно-інноваційну, інвестиційно-стимулюючу, державно-планову, корпоративно-інноваційну та наздоганяючу (рис. 2.14).

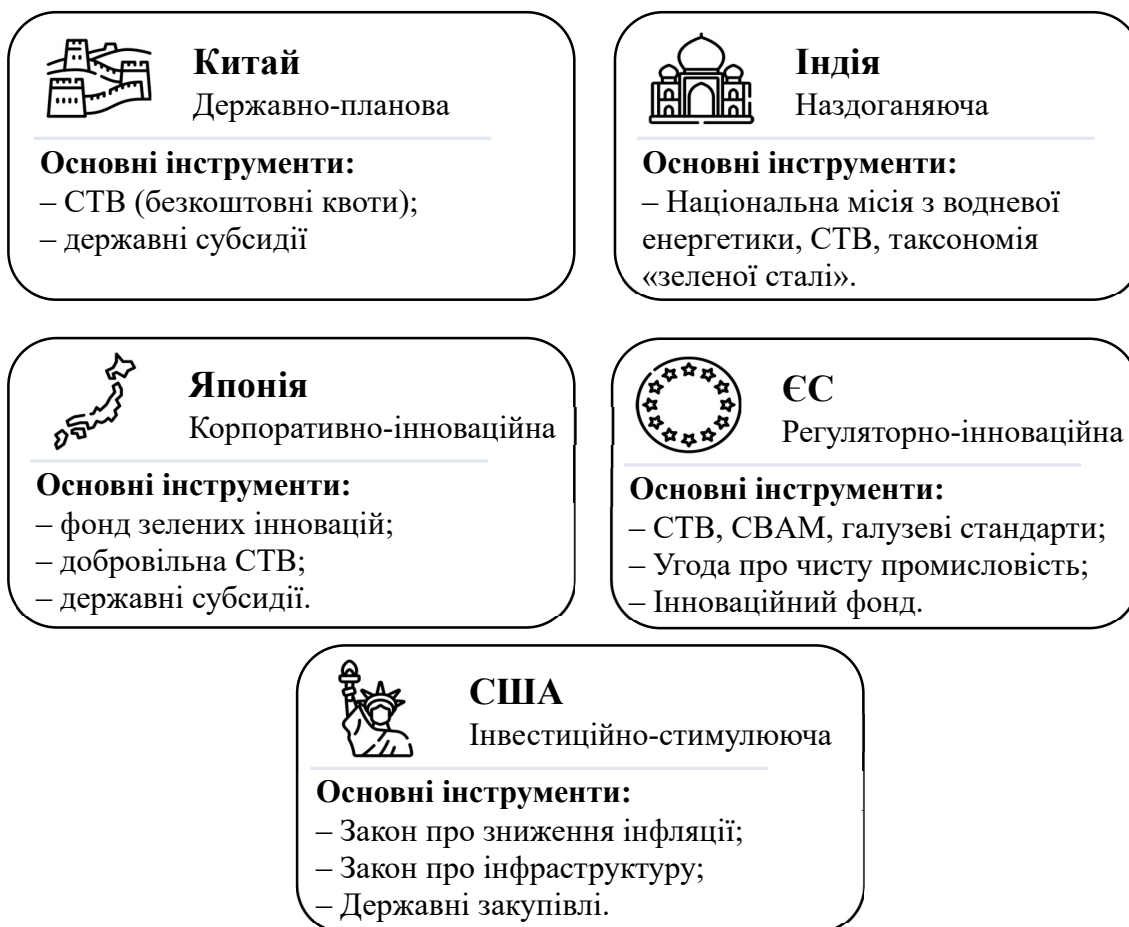


Рисунок 2.14. Національні моделі модернізації металургійного сектору

Джерело: складено автором на основі Додатку Б

Узагальнення національних моделей модернізації металургійної індустрії свідчить про відсутність універсальної траєкторії низьковуглецевої трансформації галузі. Кожна з розглянутих моделей формується під впливом поєднання виробничо-технологічних, енергетичних, інституційно-регуляторних та фінансово-інвестиційних чинників. Світова металургійна індустрія фактично розділилася на два табори. ЄС та США формують преміальні ринки зеленої сталі і беруть на себе найвищі капітальні витрати на тестування технологій наступного покоління. Водночас країни Азії, задовольняючи індустриальний попит, тимчасово цементують залежність від вуглецемістких технологій, намагаючись лише пом'якшити їхній екологічний вплив. Повноцінна декарбонізація галузі стане можливою лише тоді, коли низьковуглецеві технології стануть комерційно привабливішими за традиційні, що дозволить інтегрувати їх в економіки країн.

Серед розглянутих підходів саме регуляторно-інноваційна модель ЄС є найбільш релевантною для України як орієнтир низьковуглецевої модернізації металургійного комплексу. По-перше, Європейський Союз залишається одним із ключових стратегічних ринків для української металопродукції, тому європейські кліматичні стандарти, вимоги до вуглецевої інтенсивності та механізм СВАМ фактично визначатимуть умови доступу українських виробників до ринку ЄС і їхню здатність інтегруватися у низьковуглецеві ланцюги створення вартості. По-друге, модель ЄС поєднує регуляторний тиск через СТВ та СВАМ з фінансовою підтримкою інновацій, розвитком низьковуглецевих технологій і промисловою модернізацією. По-третє, євроінтеграційний курс України передбачає поступове наближення національного законодавства, кліматичної політики та промислових стандартів до законодавства ЄС. Відтак для України регуляторно-інноваційна модель ЄС є не лише економічно доцільним, а й інституційно зумовленим орієнтиром модернізації металургійної індустрії. Водночас її імплементація в Україні потребує адаптації до національних умов, зокрема воєнних ризиків, обмеженого доступу до інвестиційного капіталу, стану енергетичної інфраструктури та високої вуглецемісткості наявних виробничих потужностей.

2.3. Ключові детермінанти модернізації металургійної індустрії

Дослідження ключових детермінантів модернізації металургійної індустрії потребує переходу від порівняння національних моделей до поглибленого аналізу чинників, які безпосередньо впливають на декарбонізацію галузі. У цьому підрозділі металургійна індустрія України розглядається не як окремий самодостатній об'єкт дослідження, а як емпірична база для виявлення та систематизації детермінантів модернізації. Після розпаду СРСР Україна зберегла потужний металургійний комплекс на початку 90-х, попри значний знос та застарілість основних фондів (рис. 2.15).

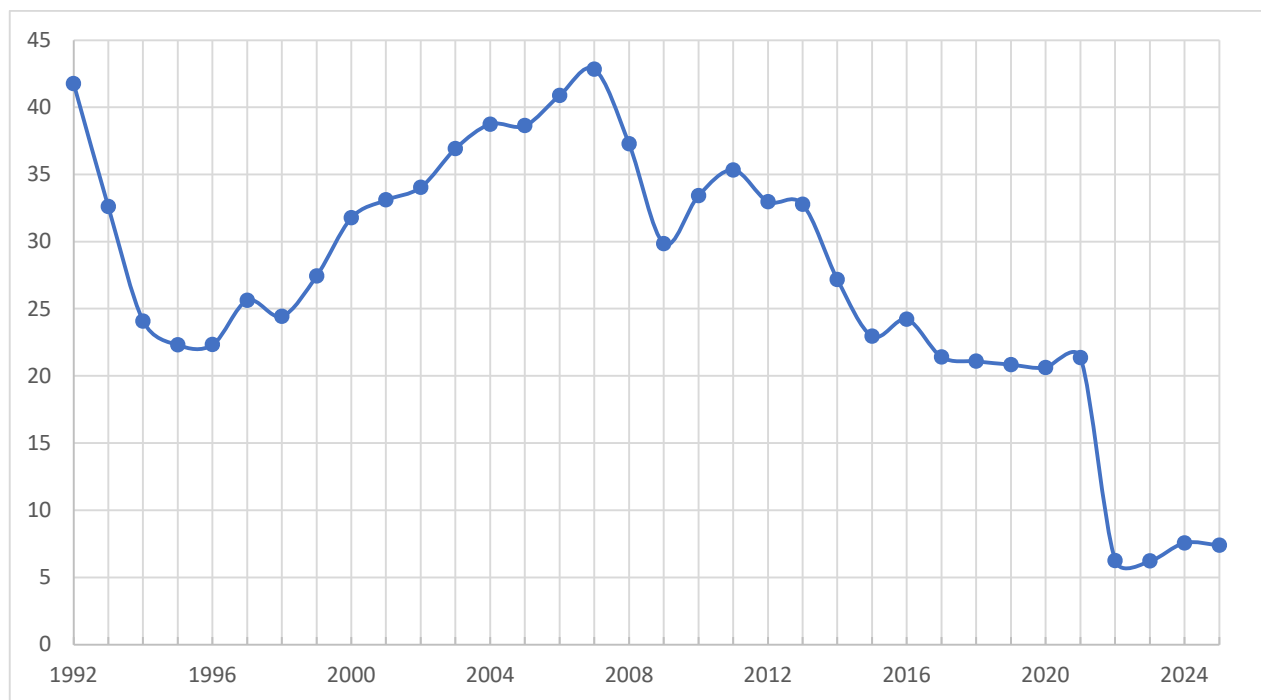


Рисунок 2.15. Динаміка виробництва сталі в Україні в 1992-2025 рр.

Джерело: побудовано автором на основі даних WorldSteel

Упродовж дослідженого періоду 1992-2025 рр. виробництво сталі в Україні скоротилося більш ніж у 5,5 разів з 41,759 млн т до 7,409 млн т. Водночас наведена динаміка не має лінійного характеру, оскільки відображає послідовну зміну етапів

розвитку українського металургійного сектору під впливом різноманітних чинників. Виходячи з неї можна виділити п'ять основних етапів розвитку української сталеливарної галузі після відновлення незалежності (табл. 2.8).

Таблиця 2.8

Етапи змін виробництва сталі в Україні та їхні ключові детермінанти

Період	Характеристика	Ключові детермінанти
1992-1995	Різке падіння виробництва – з понад 41 до 22,3 млн т на рік	Дезінтеграція економічних зв'язків після розпаду СРСР, втрата ринків збуту, глибока економічна криза
1996-2007	Поступове зростання, пік у 2007 р. – понад 42,8 млн т, тимчасове падіння у 1998 р.	Приватизація підприємств, інвестиції, зростання світових цін на сталь, підвищення попиту; падіння 1998 р. зумовлене азійською та російською фінансовими кризами
2008-2013	Падіння з незначними спробами відновлення	Глобальна фінансова криза 2008-2009 рр., зниження попиту, зупинка частини виробництв
2014-2021	Спад, часткова стабілізація, зростання у 2021 р.	Анексія Криму, бойові дії на Донбасі, втрата контролю над частиною металургійних підприємств
2022-2024	Катастрофічне падіння до історичного мінімуму	Повномасштабне вторгнення рф, руйнування виробничої інфраструктури, блокада морських портів, порушення ланцюгів постачання

Джерело: складено автором на основі [113]

З 2014 року через російську агресію та окупацію окремих районів Донецької та Луганської областей українська металургійна галузь втратила доступ не тільки до вугільних ресурсів, а й втратила контроль над великими виробничими потужностями. Було втрачено Алчевський металургійний комбінат, Донецький та Єнакіївський металургійні заводи, Макіївський і Ясинівський коксохімічні заводи та інші [113]. Через повномасштабне вторгнення росії в Україну в 2022 році було втрачено Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча та Азовсталь, що в сумі виробляли близько 40% сталі в Україні.

Станом на сьогодні Україна має лише шість металургійних підприємств, що здатні виплавляти сталь і розташовані на підконтрольній території: «АрселорМіттал Кривий Ріг», «Каметсталь», «Дніпровський металургійний завод», «Запоріжсталь», «Інтерпайп» та «Дніпроспецсталь». Однак навіть після такого катастрофічного занепаду галузі, сталеливарна промисловість все ще відіграє важливу роль у економіці країни. Згідно з дослідженням GМК Center, внесок ГМК у ВВП України у 2024 році

склав 7,2%, включаючи ланцюги поставок [114]. За результатами 2023 року 48,1% сталі в Україні було виготовлено за технологічним маршрутом доменна піч-конвертер, 39,6% – застаріле мартенівське виробництво, і тільки 12,3% – електросталеплавильне виробництво, що можна назвати «зеленим». Окрім масштабного руйнування та втрати контролю над виробничими потужностями з початком повномасштабного вторгнення, українська металургія стикнулася з низкою інших викликів.

Окремим чинником погіршення умов функціонування українського металургійного сектору став логістичний шок, зумовлений порушенням традиційних експортних маршрутів. Близько 65% довоєнного експорту металопродукції здійснювалось через морські порти, які з початком вторгнення були заблоковані, а залізничні перевезення могли компенсувати лише незначну частину втрат [115]. Це стало серйозним викликом для української металургії, яка є високозалежною від зовнішніх ринків збуту. В цьому контексті доцільно розглянути динаміку експорту залізної руди з України (рис. 2.16).

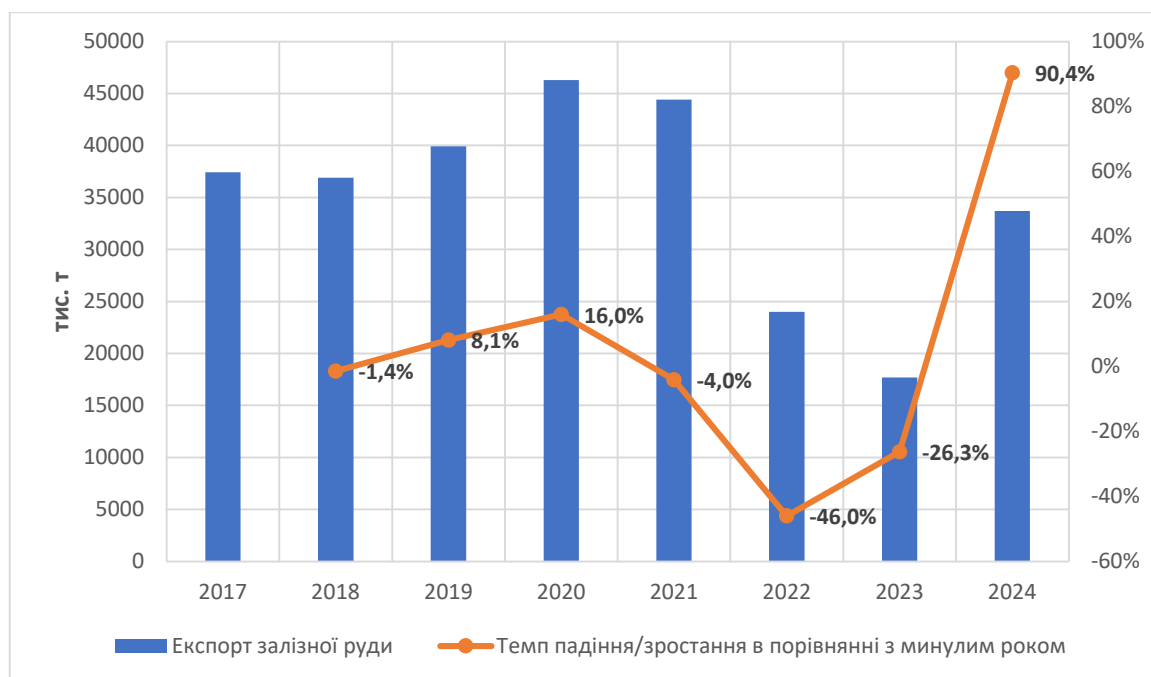


Рисунок 2.16. Динаміка експорту залізної руди з України 2017-2024 рр.

Джерело: побудовано автором за даними [116; 117]

З початком повномасштабного вторгнення експорт залізної руди впав у 2022 році порівняно з 2021 роком на 46%, а в 2023 році на 26,3%. Водночас в 2024 році експорт залізної руди Україна змогла наростити на 90,4% в порівнянні з 2023 роком,

однак, це все ще не вихід на довоєнний рівень. Згідно з даними Державної митної служби України у 2021 році 65,34% залізної руди було експортовано морським транспортом, а 34,66% було експортовано залізничним. Водночас у 2022 році ситуація змінилась і залізничним транспортом було експортовано 66,21% залізної руди, а морським лише 33,79%. Це не могло не вплинути і на географію українського експорту, посиливши орієнтацію на ринки, доступні через сухопутні логістичні маршрути.

Схожі коливання простежуються і в динаміці експорту металобрухту з України (рис. 2.17). На відміну від залізної руди, експорт брухту має більш нерівномірний характер, що зумовлено не лише зовнішнім попитом, а й регуляторними обмеженнями.

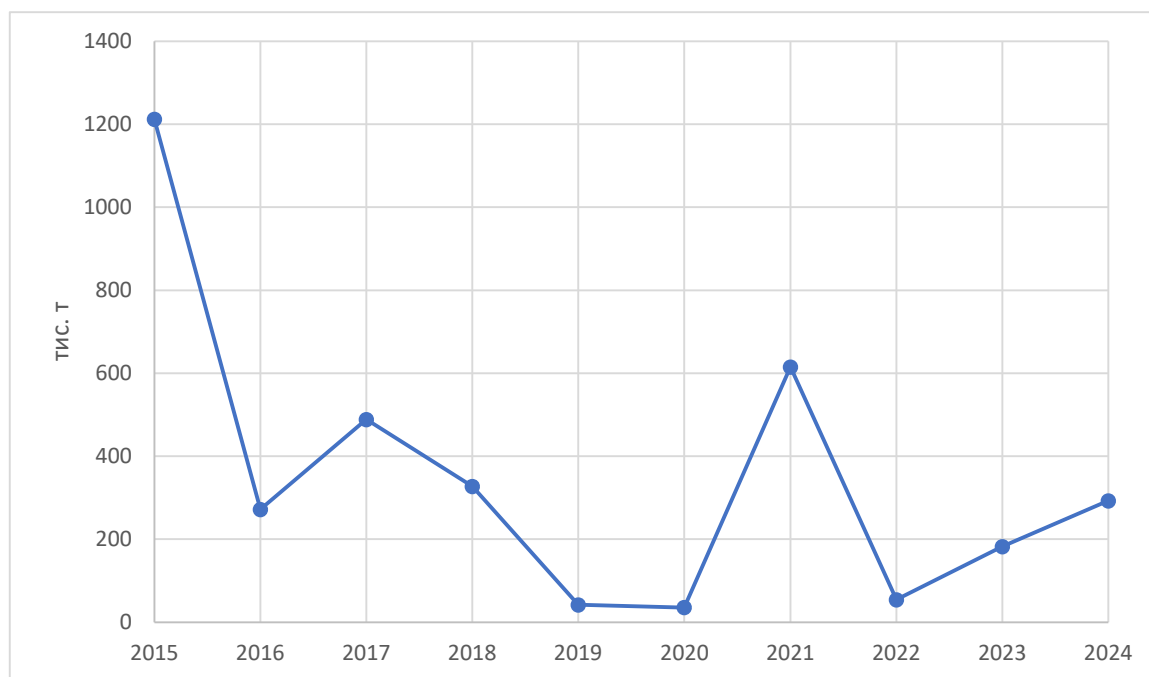


Рисунок 2.17. Динаміка експорту сталевих брухтів з України 2015-2024 рр.

Джерело: побудовано автором на основі [116; 117]

На експорт металобрухту з України, а відповідно і на обсяги заготівлі, безпосередньо впливає не тільки зовнішня кон'юнктура ринку, але й рівень вивізного мита. Згідно із Законом України «Про вивізне (експортне) мито на відходи та брухт чорних металів» № 216-IV від 26 жовтня 2002 року, ставка експортного мита була прив'язана до дати вступу України до Світової організації торгівлі і у 2015 році становила 10 євро за тону [118]. Крім того, у рамках Угоди про асоціацію між

Україною та ЄС було передбачено преференційне мито на експорт сталевих брухтів до Євросоюзу. Відповідно до графіка поступового скасування вивізних мит, у 2016 році його розмір становив 9,5 євро за тону з подальшим зниженням до нуля у 2024 році [119].

У 2016 році вперше було внесено зміни і тимчасово підвищено вивізні мита на сталевий брухт до 30 євро за тону. Крім економічного обґрунтування, пов'язаного з заявленим внутрішнім дефіцитом сировини, члени українського парламенту у пояснювальній записці до Закону послалися на статтю XXI Генеральної угоди з тарифів і торгівлі (ГАТТ), яка дозволяє запроваджувати обмежувальні заходи з міркувань національної безпеки. Хоча спочатку передбачалося, що це підвищення буде тимчасовим, згодом дію мита не лише не припинили, а й поступово підвищували: до 42 євро за тону у 2018 році, до 58 євро – у 2019 році, а у 2021 році – до 180 євро за тону [120]. Важливо відзначити, що в кінці 2025 року урядом було запроваджено нульові квоти на експорт металобрухту з України на 2026 рік [121]. Згідно з пояснювальною запискою до прийнятої постанови, такі дії уряду були обґрунтовані потребою забезпечити вітчизняні металургійні підприємства металобрухтом з метою безперебійного виробництва і постачання металопродукції для потреб вітчизняного ВПК, машинобудування та відновлення інфраструктури. Проте, такі дії уряду вже суттєво негативно вплинули на стан галузі – за даними Української асоціації вторинних металів через фактичну заборону експорту протягом січня-лютого 2026 року закупівля брухту чорних металів металургійними підприємствами в Україні вже скоротилась на 31,7%, порівняно з аналогічним періодом 2025, а заготівля брухту в Україні впала на рекордні 41,1% – до 184,8 тис. т [122].

Динаміка експорту чавуну, напівфабрикатів і сталевих прокатів відображає зміни у зовнішньоекономічному вимірі функціонування української металургії та дає змогу оцінити вплив ринкових і логістичних чинників на структуру зовнішніх поставок галузі. Подібно до сировинного сегмента, після 2022 р. експорт цих товарних груп зазнав різкого скорочення (рис. 2.18).

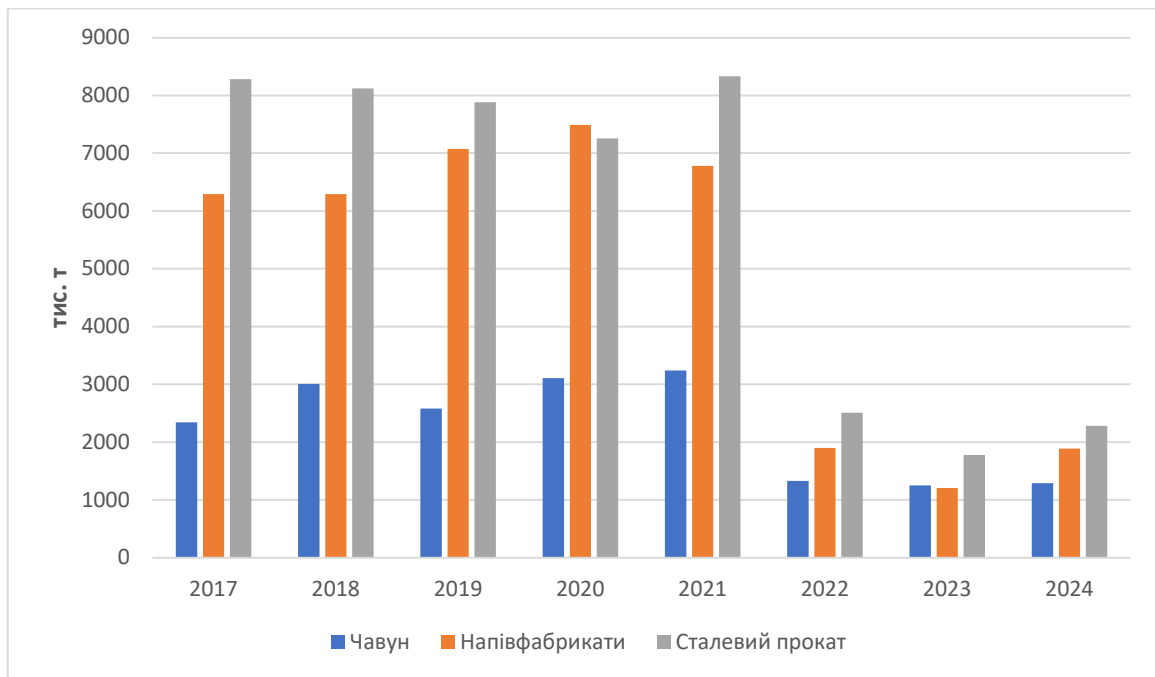


Рисунок 2.18. Динаміка експорту чавуну, напівфабрикатів та сталевих прокатів з України 2017-2024 рр.

Джерело: побудовано автором за даними [116; 117]

У період 2017-2021 років спостерігався відносно стабільний рівень експорту з незначними коливаннями, при цьому найбільші обсяги припадали на сталевий прокат. Після початку повномасштабного вторгнення у 2022 році експортна активність різко скоротилася: усі категорії продукції втратили понад половину довоєнних обсягів. У 2023-2024 роках експорт залишається на низькому рівні, однак з частковим відновленням позицій, особливо у сегменті напівфабрикатів. Загалом графік демонструє різке падіння експортного потенціалу металургії після 2022 року та поступову адаптацію галузі в умовах повномасштабної війни. У 2021 році експорт чавуну та напівфабрикатів з України здійснювався переважно морським транспортом, на який припадало 82,5% загального обсягу експорту. Частка залізничного транспорту становила 16%, а автомобільного – лише 1,5%. У 2022 році ситуація кардинально змінилася: морські перевезення скоротилися до 50,26%, тоді як частка залізничного транспорту зросла до 45,86%, а автомобільного – до 3,88%. Ці зміни призвели до переорієнтації географії експорту. Якщо у 2021 році близько 35% металопродукції експортувалося до країн Європейського Союзу, то станом на 2024 рік цей показник перевищив 60% [116; 117].

У 2022-2023 роках, в умовах втрати контролю над портами азовського басейну та блокування чорноморських портів, істотно зросло значення українських дунайських портів – Ізмаїла, Рені та Усть-Дунайська. Водночас їх пропускної спроможності було недостатньо для забезпечення повноцінного експорту. Важливим фактором, що сприяв частковому відновленню експортної діяльності галузі, стало відкриття у серпні 2023 року так званого «українського коридору» – розблокування портів Чорноморськ, Південний та Одеський [123]. Це підтверджується й даними митної статистики: у 2024 році обсяги експорту товарів групи 72 за УКТЗЕД зросли у порівнянні з 2023 роком.

У 2021 році українська металургія була найбільшим споживачем електроенергії після населення, тому не могли не вплинути на неї й дефіцит та удорожчання енергоресурсів [124]. За даними державного підприємства «Оператор ринку» середня ціна електроенергії на ринку на добу наперед зросла більше ніж у 5 разів з грудня 2019 року в порівнянні з груднем 2024 року (рис. 2.19).

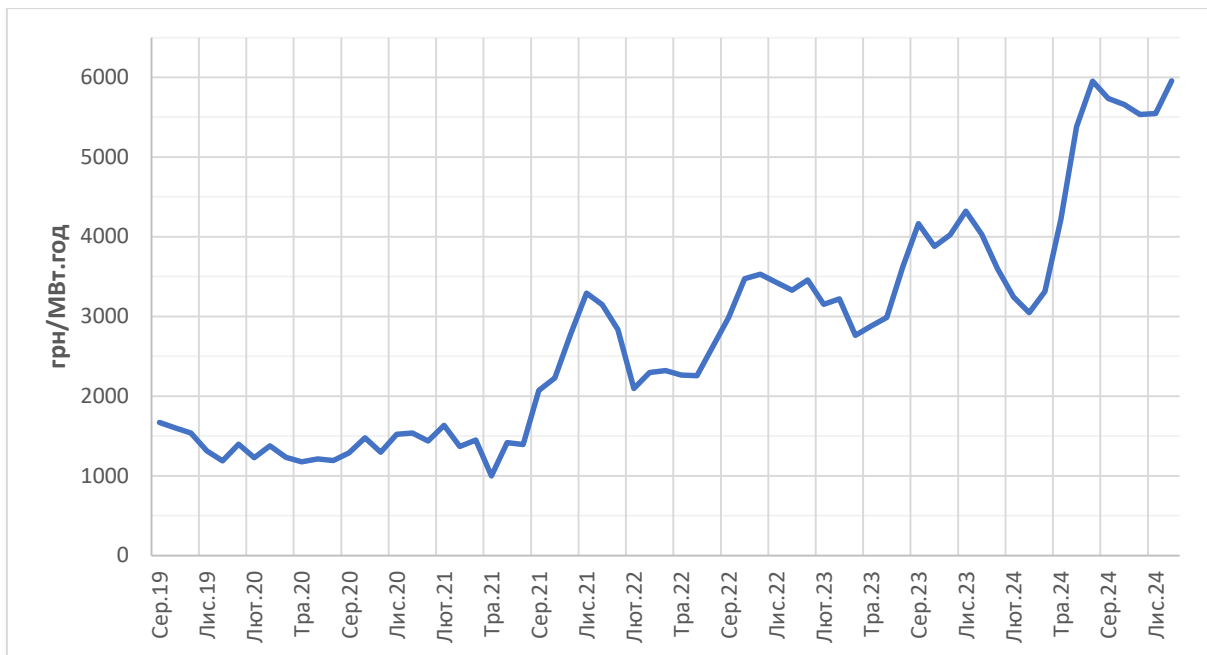


Рисунок 2.19. Динаміка середньомісячних цін електроенергії на ринку на добу наперед в Україні

Джерело: побудовано автором самостійно за даними [125]

Металургійний сектор потребує доступної, стабільної та низьковуглецевої електроенергії. Відповідно до звіту державного підприємства «Оператор ринку», ціни

на електроенергію в Україні у 2024 році увійшли до трійки найвищих серед європейських країн (рис. 2.20).

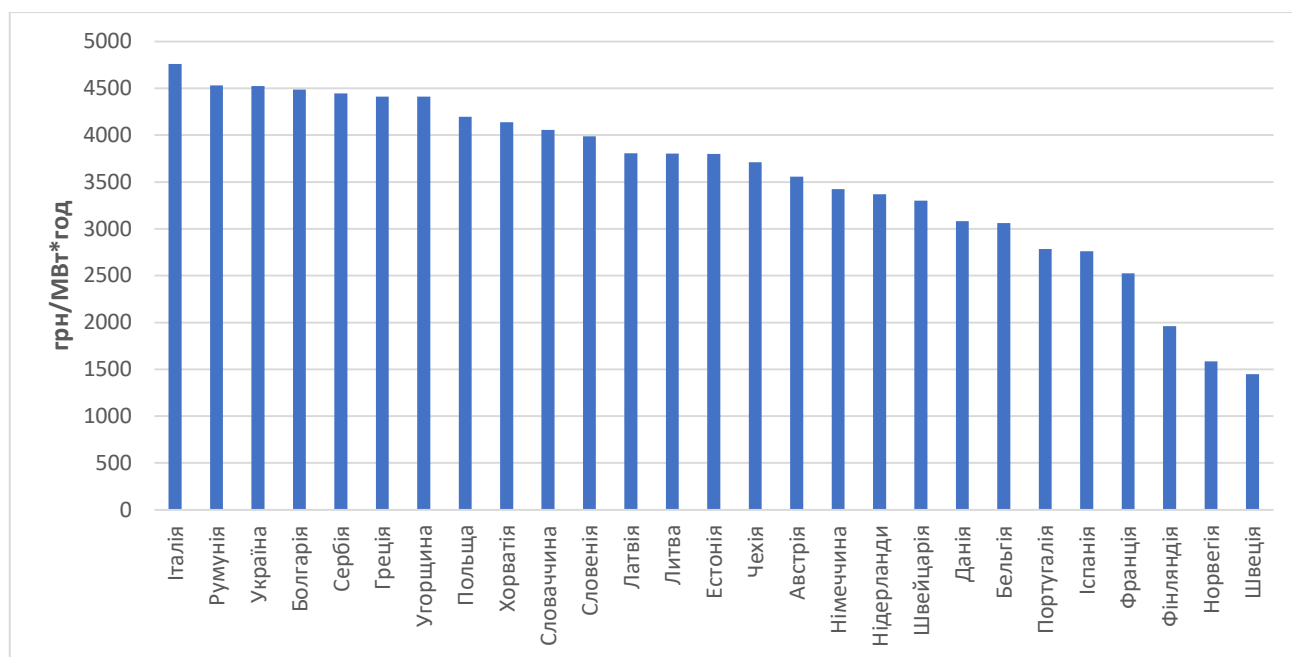


Рисунок 2.20. Середні річні ціни електроенергії на ринку на добу наперед на спотових ринках Європи у 2024 р.

Джерело: побудовано автором за даними [126]

Здорожчання та дефіцит електроенергії був суттєвим фактором зниження економічної та виробничої активності для компаній металургійного сектору. Таким чином, енергетичний чинник набуває для української металургії подвійного значення. З одного боку, зростання вартості електроенергії безпосередньо підвищує виробничі витрати та знижує цінову конкурентоспроможність металургійної продукції. З іншого боку, дефіцит стабільної та доступної електроенергії обмежує можливості технологічної модернізації, насамперед переходу до технологічних маршрутів *scrap-EAF* і *DRI-EAF*, які потребують значних обсягів електроенергії.

У відповідь на масштабні, спричинені війною виклики партнерами України було вжито заходів щодо лібералізації зовнішньої торгівлі з метою підтримки її економіки. У квітні 2022 року уряд Великої Британії повідомив про дострокове зниження всіх імпорتنих мит до нуля, а також скасування квот, починаючи з травня 2022 року в рамках угоди про вільну торгівлю [127].

Запроваджений Європейським союзом у червні 2022 року режим безмитної торгівлі з Україною був продовжений до червня 2025 року, хоча й зі зміцненням захисних заходів, що можуть бути застосовані до деяких категорій продовольчих товарів [128]. Для металургійної галузі також важливим є те, що під час дії даних автономних торгових преференцій не будуть застосовуватися антидемпінгові та захисні заходи для металургійної продукції, в тому числі тарифна квота з 25% митом [129].

Також варто відзначити, що 01 червня 2022 року рішенням Міністерства торгівлі США було призупинене додаткове мито у розмірі 25% на сталеву продукцію походженням з України, що було згодом продовжене до 01 червня 2025 року [130]. В липні 2022 всі імпорتنі тарифи на товари з України скасував уряд Австралії, наразі рішення діє до 03 липня 2026 року [131].

Враховуючи вищезазначене, для визначення впливу лібералізації зовнішньої торгівлі, а також інших чинників на виробництво сталі в Україні виконаємо кореляційно-регресійний аналіз даних, наведених у Додатку В. Для визначення впливу на фізичний обсяг виробництва сталі в Україні обрано наступні фактори:

- пропускна спроможність працюючих морських портів України. До лютого 2022 року враховувалась пропускна спроможність 13 морських портів: Рені, Усть-Дунайськ, Ізмаїл, Чорноморськ, Південний, Одеса, Білгород-Дністровський, Скадовськ, Херсон, Ольвія, Бердянськ, Миколаїв і Маріуполь. У період з березня 2022 року по липень 2023 року, внаслідок блокування або втрати контролю над більшістю портів, дані включали лише три дунайські порти: Рені, Усть-Дунайськ і Ізмаїл. Починаючи з серпня 2023 року, після відкриття українського морського коридору, враховується пропускна спроможність шести портів: Рені, Усть-Дунайськ, Ізмаїл, Чорноморськ, Південний і Одеса.
- середній курс валют гривні до долара США згідно з даними НБУ;
- фактор лібералізації торгівлі країнами імпорту української металопродукції, де 0 – наявність захисних заходів в основних країнах імпортерів металопродукції, 1 – скасування захисних заходів.
- середні місячні ціни на електроенергію на ринку на добу наперед;

- лагова змінна (виробництво попереднього місяця). Включена з метою врахування часової залежності у динаміці показника та зменшення автокореляції залишків, яка часто виникає при аналізі часових рядів.

Комплексна взаємодія факторів описується рівнянням багатофакторної лінійної регресії виду:

$$Y = a_0 + b_1 \times x_1 + b_2 \times x_2 + b_3 \times x_3 + b_4 \times x_4 + b_5 \times x_5, \quad (2.3)$$

де Y – фізичний обсяг виробництва сталі в Україні;

x_1 – пропускна спроможність працюючих морських портів України;

x_2 – середній курс валют гривні до долара США за даними НБУ;

x_3 – фактор лібералізації торгівлі країнами імпорту металопродукції.

x_4 – середні місячні ціни на електроенергію на ринку на добу наперед.

x_5 – лагова змінна (виробництво попереднього місяця).

На основі даних, наведених у Додатку В, було виконано регресійний аналіз із використанням табличного процесора Excel за рівнем значущості $\alpha = 0,05$, і отримано відповідні результати (табл. 2.9).

Таблиця 2.9

Результати регресійного аналізу

	Коефіцієнти	Стандартна похибка	t-статистика	p-значення	Нижнє 95%	Верхнє 95%
Перетин	682,173	396,102	1,722	0,090	-110,150	1474,496
Пропускна спроможність морських портів	2,167	0,431	5,023	4,86746E-06	1,304	3,030
Обмінний курс НБУ	-10,878	15,236	-0,714	0,478	-41,355	19,599
Фактор лібералізації	-18,134	164,563	-0,110	0,913	-347,310	311,041
Середні місячні ціни РДН	-0,064	0,040	-1,613	0,112	-0,144	0,015
Лагова змінна	0,471	0,110	4,302	6,33611E-05	0,252	0,690

Джерело: авторські розрахунки

За обраного рівня значущості $\alpha = 0,05$ та числа ступенів свободи $k = 60$ табличне значення t-статистики становить 2. Оскільки розраховані t-статистики для константи, обмінного курсу НБУ, фактора лібералізації та середніх місячних цін на ринку «на

добу наперед» є меншими за табличне значення, ці параметри не є статистично значущими. Натомість значення t-статистики для пропускнув спроможності морських портів та лагової змінної перевищують табличне значення, що дозволяє вважати їх статистично значущими. Додатково, р-значення параметрів виробництва металопродукції та безпекового фактора істотно нижчі за $\alpha = 0,05$, що також підтверджує їх значущість у моделі. Для узагальненої оцінки якості побудованої регресійної моделі було використано стандартні показники регресійної статистики (табл. 2.10).

Таблиця 2.10

Регресійна статистика

Показник	Значення
Множинний коефіцієнт кореляції	0,957
Коефіцієнт детермінації R^2	0,916
Скоригований коефіцієнт детермінації	0,909
Стандартна похибка регресії	195,677
Спостереження	66

Джерело: авторська розробка

Множинний коефіцієнт кореляції становить 0,957, що свідчить про досить велику силу лінійного зв'язку між фактичними значеннями залежної змінної та передбаченими моделлю значеннями. Коефіцієнт детермінації R^2 складає 0,916, тобто значна частка варіації залежної змінної пояснюється незалежними змінними в моделі. Перевірка адекватності моделі була здійснена з використанням критерію Фішера за результатами дисперсійного аналізу (табл. 2.11).

Таблиця 2.11

Результати дисперсійного аналізу

	df	SS	MS	F	Значущість F
Регресія	5	24 975 593,006	4 995 118,601	130,457	6,73214E-31
Залишок	60	2 297 366,850	38 289,447		
Всього	65	27 272 959,855			

Джерело: авторська розробка

Розрахункове значення F статистики становить 130,457, значущість показника F статистики значно менша обраного рівня значущості 0,05, тому робимо висновок, що модель значуща. Для обраного ступеня значущості $\alpha = 0,05$, та ступенів свободи $k_1=5$

та $k_2=6$, табличне значення F статистики становить 2,368. Оскільки розрахункове значення більше за табличне, вважаємо, що розглянута математична модель адекватна даним спостережень.

Отже, згідно з аналізом найбільш значущими факторами для виробництва сталі в Україні є:

- пропускна спроможність морських портів. Розблокування та зростання можливостей українських портів сприяє збільшенню виробництва сталі, оскільки експортна орієнтованість галузі потребує безперешкодного доступу до зовнішніх ринків збуту.
- обсяг виробництва в попередньому місяці. Це підтверджує інерційний характер виробничих процесів у галузі, оскільки підприємства зберігають близькі обсяги виробництва протягом суміжних періодів.

Водночас обмінний курс, фактор лібералізації торгівлі основними торговельними партнерами України, а також ціни на електроенергію не продемонстрували статистично значущого впливу в межах цієї моделі, що може пояснюватися як непрямим характером їх дії, так і взаємною компенсацією ефектів між змінними.

Значущість пропускної спроможності морських портів підтверджує високу залежність української металургії від доступу до зовнішніх ринків. Для експортно орієнтованої галузі морська логістика є не лише каналом збуту, а й умовою підтримання виробничого завантаження. Натомість значущість лагової змінної виробництва сталі відображає інерційність металургійного виробництва, зумовлену капіталомісткістю, технологічною безперервністю та залежністю підприємств від попередніх виробничих рішень.

Водночас обмінний курс, фактор лібералізації зовнішньої торгівлі та ціни на електроенергію не продемонстрували статистично значущого впливу в межах моделі. Це не заперечує їхнього значення для модернізації галузі, а вказує на більш опосередкований або відкладений характер їхньої дії. Отже, результати моделі слід розглядати як емпіричне підтвердження насамперед тих детермінантів, які безпосередньо впливають на поточну виробничу динаміку української металургії.

Успішна декарбонізація металургійної індустрії є комплексним, системним і всеохоплюючим завданням. Жоден окремий захід не здатен забезпечити істотне скорочення викидів: необхідний комплекс узгоджених дій.

Перехід на водневу металургію справді дозволить зменшити викиди, пов'язані з використанням коксу у технологічному маршруті доменна піч-конвертер. Однак екологічний ефект буде обмеженим, якщо сам водень вироблятиметься шляхом піролізу вугілля – процесу, що супроводжується високим рівнем вуглецевих викидів. За даними Міжнародного енергетичного агентства, у 2023 році світове виробництво водню становило 97 млн т, з яких менш як 1% припадало на «зелений» водень. В той же час вартість виробництва «зеленого» водню перевищує вартість виробництва водню з викопного палива у 1,5-6 разів, за умови відсутності обмежень на викиди [135].

Будівництво нових електрометалургійних потужностей саме по собі не гарантує скорочення викидів, якщо електроенергія для їх роботи вироблятиметься на ТЕЦ з використанням викопного палива. За таких умов вуглецевий слід виробництва залишатиметься значним.

Нехтування розвитком брухтозаготівельної галузі призведе до того, що неперероблений сталевий брухт потраплятиме на звалища. Це не лише спричинятиме забруднення довкілля, а й скоротить потенціал брухту як інструменту декарбонізації через невикористання можливостей повторного включення у виробничий цикл.

Наведені приклади свідчать, що декарбонізація металургійної індустрії не може розглядатися лише як сукупність окремих технологічних рішень. Її результативність залежить від того, наскільки скорочення викидів поєднується зі створенням економічної цінності в рамках глобальних ланцюгів вартості. У зв'язку з цим виникає потреба у кількісному індикаторі, який дозволяє оцінити не лише обсяг викидів парникових газів в абсолютному вимірі, а й їх «вбудованість» у кінцевий продукт інших секторів економіки. Для цього використаємо формулу (1.1) для обчислення індексу вбудованих викидів, наведену у минулому розділі.

Розрахунок ЕЕІ здійснювався у кілька етапів. На першому етапі визначалася частка втіленої доданої вартості сектору С24 (базові метали) країни-джерела у

загальній втіленій доданій вартості кінцевого попиту секторів країни кінцевого попиту. Серед секторів країни кінцевого попиту взято такі сектори, в яких попит на металургійну продукцію традиційно вважається найбільшим, а саме C25 (вироби з металу), C27 (електричне обладнання), C28 (машини та обладнання, не класифіковані в інших категоріях), C29 (автомобілі, причепи та напівпричепи), C30 (інше транспортне обладнання), F (будівництво). Як порівняльний та контрольний виступає сектор C10T12 (харчові продукти, напої та тютюнові вироби) із відносно низькою залежністю від металургійного сектору. Розрахунок проводився для відповідних секторів кінцевого попиту таких країн, як Китай, Україна, Німеччина, США, Японія, Туреччина, росія, Південна Корея та Індія. У межах кожної країни та сектору кінцевого попиту до вибірки включалися п'ять країн-джерел сектору C24 з найбільшими обсягами втіленої доданої вартості.

На другому етапі розраховувалася вуглецева інтенсивність сектору C24 країни-джерела як відношення сукупних викидів парникових газів за Score 1, Score 2 та Score 3U до доданої вартості, створеної цим сектором у країні-джерелі. На третьому етапі частка втіленої доданої вартості сектору C24 множилася на його вуглецеву інтенсивність для визначення EEI. Важливо відзначити, що EEI не визначає прямі викиди сектору C24, а також секторів C25, C27, C28 тощо. Він демонструє, якою мірою вуглецева інтенсивність металургійного сектору (базові метали) передається у кінцевий попит downstream-секторів через канал втіленої доданої вартості. Іншими словами, EEI можна також інтерпретувати як показник вуглецевої зв'язаності металоспоживаючих секторів із металургійним. Відповідні розрахунки наведено в Додатках Д-Н.

Для виявлення закономірностей між значеннями індексу вбудованих викидів було застосовано кластерний аналіз методом K-means за допомогою мови програмування Python у середовищі Jupyter Notebook. Як основну змінну для кластеризації було обрано індекс вбудованих викидів вуглецю. Використання у процесі кластеризації категоріальних змінних (країна-джерело, країна попиту, сектор попиту) було визнано недоцільним, оскільки їх механічне перетворення у числові значення могло б штучно сформувати між категоріями кількісні відстані, які не мають

економічного змісту. Відтак зазначені категоріальні змінні виконували роль ідентифікаторів для подальшої інтерпретації результатів, тоді як сама кластеризація здійснювалася на основі кількісного показника індексу вбудованих викидів вуглецю.

Оскільки значення індексу характеризувалися нерівномірним розподілом, перед кластеризацією до нього було застосовано логарифмічне перетворення, після чого стандартизовано. Це дозволило зменшити вплив екстремальних значень показника перед кластеризацією. Оптимальну кількість кластерів було визначено за допомогою методу ліктя (рис. 2.21).

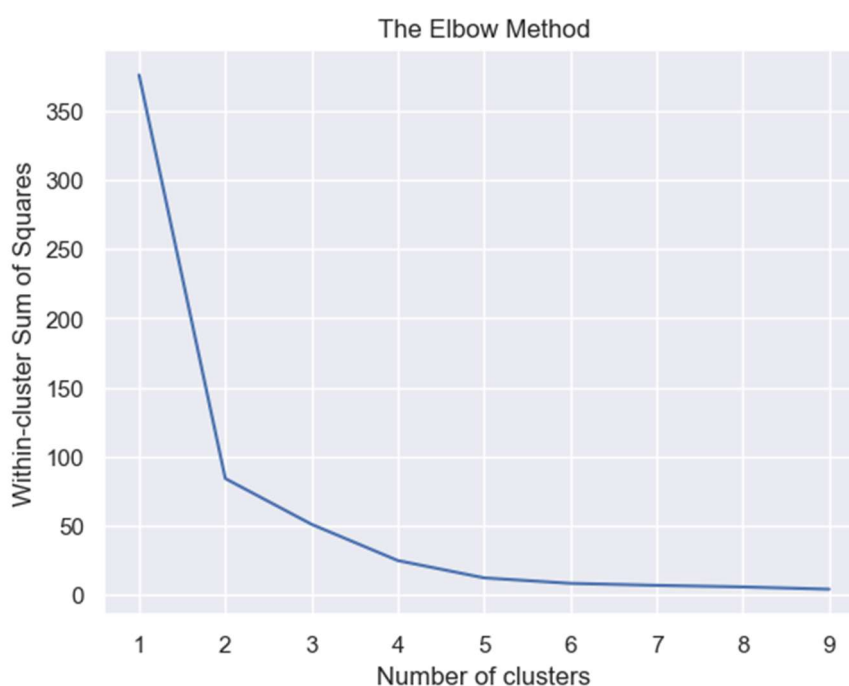


Рисунок 2.21. Визначення оптимальної кількості кластерів за методом ліктя

Джерело: складено автором на основі власних розрахунків

Відповідно до графіку після чотирьох зниження внутрішньокластерної варіації сповільнюється. Оскільки подальше збільшення кількості кластерів не забезпечує суттєвого покращення якості кластеризації, оптимальною кількістю кластерів було обрано чотири. На цій основі здійснено кластерний аналіз, що дав змогу не лише згрупувати потоки доданої вартості ицза рівнем вуглецевого навантаження та інтерпретувати отримані кластери через типові країни, напрями потоків і сектори (табл. 2.12). Слід зазначити, що об'єктом кластеризації виступали не країни як такі, а окремі спостереження, сформовані комбінацією «країна-джерело – країна попиту –

сектор кінцевого попиту», для яких було розраховано індекс вбудованих викидів. Тому одна й та сама країна може бути представлена у кількох кластерах, якщо її різні виробничі або торговельні потоки характеризуються відмінними рівнями вуглецевого навантаження. У таблиці наведено типові країни, що найчастіше зустрічаються у відповідних кластерах та найкраще характеризують їх економічний зміст.

Таблиця 2.12

Результати кластерного аналізу країн-експортерів металургійного сектору

Ознака	Кластер 0	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3
Значення ЕЕІ	Надвисокі	Низькі	Середні	Високі
Розмір	4	313	39	20
Тип потоків	Лише внутрішні	Переважно міжкрайнові	Змішані	Лише внутрішні
Типові країни джерела (за кількістю спостережень)	Україна, росія, Індія, Китай	США, Японія	Китай, Японія, Південна Корея	Китай, росія, Індія
Типові країни попиту	Україна, росія, Індія, Китай	Німеччина, США, Китай	Україна, Туреччина, Південна Корея	Китай, росія, Індія
Сектори	C25	C10T12, C29, C30, F, C28	C27, C25, C28	C28, C30, F, C27, C29
Інтерпретація	Надвисокі внутрішні потоки сектору C25	Низькоінтенсивні міжкрайнові потоки доданої вартості	Середньоінтенсивні промислові ланцюги	Високоінтенсивні внутрішні промислово-будівельні потоки

Джерело: складено автором на основі власних розрахунків

За результатами кластерного аналізу виявлено змістовні закономірності формування вбудованих викидів вуглецю через канали втіленої доданої вартості. Отримані кластери відображають не належність окремих держав до певної моделі формування вбудованих викидів, а типові конфігурації міжнародних виробничих і торговельних потоків, у яких беруть участь відповідні країни. Саме тому окремі держави можуть бути представлені у кількох кластерах, що свідчить про неоднорідність їх участі у глобальних ланцюгах створення вартості металургійної продукції залежно від сектору кінцевого попиту та напряму руху доданої вартості.

Водночас такі результати не можна інтерпретувати як прямі викиди downstream-секторів, оскільки вони відображають лише вбудовані викиди, передані через втілену додану вартість. Саме тому подальший аналіз потребує систематизації ширшого кола

детермінантів, які визначають не лише екологічні параметри металургійного виробництва, а й економічні умови його модернізації, експортну конкурентоспроможність та здатність адаптуватися до глобальних кліматичних обмежень. У межах цього дослідження детермінанти декарбонізації металургійної індустрії доцільно згрупувати за шістьма взаємопов'язаними напрямками: виробничо-технологічним, енергетичним, емісійно-кліматичним, зовнішньоекономічним, регуляторно-інституційним та фінансово-інвестиційним (табл. 2.13).

Таблиця 2.13

Детермінанти декарбонізації металургійної індустрії

Група детермінантів	Зміст	Прояв	Вплив
Виробничо-технологічні	Технологічна структура виробництва, модернізація, продуктивність, впровадження низьковуглецевих технологій, доступ до якісної сировини	Перехід від BF-BOF до EAF, DRI-H ₂ , використання CCUS, екологічна модернізація доменної печі, підвищення ефективності використання ресурсів	Скорочення прямих викидів парникових газів (Score 1)
Енергетичні	Структура енергобалансу, доступність «зеленої» електроенергії, «зеленого» водню та впровадження ВДЕ	Залежність EAF і водневої металургії від «зеленої» електроенергії та інфраструктури її постачання	Скорочення непрямих викидів парникових газів (Score 2)
Емісійно-кліматичні	Вбудовані викиди, вуглецева інтенсивність, вуглецевий слід продукції	Формування вбудованих викидів у металопродукції й downstream-секторах	Оцінка трансферингу вуглецевого навантаження через ланцюги створення вартості
Зовнішньоекономічні	Глобальний попит, структура експорту, географія ринків збуту, участь у глобальних ланцюгах вартості	Залежність від експорту, імпорту, попиту ринків	Економічна доцільність декарбонізації в окремих ринкових сегментах
Регуляторно-інституційні	СВАМ, екологічні збори, ETS, промислова та кліматична політики	Додаткові витрати для вуглецево-інтенсивного експорту, потреба у верифікації викидів	Стимули або обмеження для технологічного переходу
Фінансово-інвестиційні	Доступ до капіталу, вартість модернізації, інвестиційні та ресурсні обмеження	Інвестиції у нові виробничі потужності, енергетичну інфраструктуру, НДДКР і бруттозаготівлю	Практична можливість реалізації сценаріїв декарбонізації

Джерело: авторська розробка

Такий підхід дозволяє уникнути звуження проведення комплексної декарбонізації лише до технологічної модернізації або скорочення викидів і розглядати її як багаторівневий процес зміни виробничої моделі, енергетичної бази, експортної орієнтації та регуляторного середовища. Декарбонізація металургійної індустрії є амбітним, але досяжним завданням, за умови реалізації комплексних змін у технологіях, економіці, політиці та міжнародній співпраці. Аналіз ключових детермінантів показує, що жоден фактор сам по собі не забезпечить успіх – необхідний синергетичний ефект по цілому переліку напрямків.

Технологічно галузь повинна здійснити перехід від залежності від викопного палива (коксу, вугілля, природного газу) до використання низьковуглецевого (водень, електроенергія, біопаливо). Воднева металургія, електросталеплавильні потужності, уловлення, зберігання та використання вуглецю, ресурсоефективність, сталий розвиток – вирішальні компоненти, на яких будуватиметься низьковуглецева металургія майбутнього. Інші перспективні безвуглецеві технології, такі як електроліз заліза, потребують подальшого вивчення і комерціалізації.

Важливим компонентом декарбонізації сталеливарної галузі є впровадження принципів циркулярної економіки, зокрема максимальне повернення вторинної сировини у виробничий цикл та підвищення ефективності використання сталі в різних секторах. За даними World Steel Association, кожна тонна металобрухту, використана у виробництві сталі, дозволяє уникнути приблизно 1,5 тонни викидів CO₂, а також заощадити 1,4 тонни залізної руди, 740 кг вугілля та 120 кг вапняку [140]. Відтак розвиток інфраструктури зі збору, заготівлі та переробки брухту становить важливий напрям екологічної політики. Раціональне використання сталі передбачає оптимізацію конструкцій, подовження строку служби виробів, застосування принципів екодизайну та, за можливості, заміну сталі альтернативними матеріалами. Такий підхід має доповнювати технологічні заходи зі зниження вуглецевих викидів і сприяти дотриманню глобального вуглецевого бюджету.

За оцінкою McKinsey & Company, вартість електроенергії стане ключовим фактором конкурентоспроможності сталеливарної галузі у майбутньому. Адже зі

зміщенням галузі від вуглецемістких традиційних технологій до електросталеплавильних очікується зростання залежності від доступної та дешевої електроенергії [139]. Це означає, що в країнах, де досі значна частка електрики генерується з вугілля (Китай, Індія, деякі країни Азії), декарбонізація металургії має супроводжуватися прискореним будівництвом потужностей відновлюваних джерел енергії (вітрові, сонячні електростанції тощо), інакше ефект для клімату буде нівельований. Це може включати як розвиток власної генерації приватними підприємствами, так і створення нової інфраструктури транспортування «зеленої» електроенергії, оскільки металургійні заводи поступово трансформуватимуться на споживачів електроенергії та водню. Станом на 2023 рік лише 30,26% енергії у світі вироблялось з відновлюваних джерел енергії (ГЕС, сонячні та вітрові електростанції тощо), 9,09% – з атомних електростанцій, 60,65% – з викопного палива (нафта, природний газ, вугілля) [141].

Перехід на нові технології означає, що багато існуючих заводів потребуватимуть глибокої реконструкції чи повної заміни агрегатів. З точки зору фінансування необхідні мільярди доларів інвестицій не тільки у перебудову потужностей, але й у необхідну інфраструктуру. Без таких ринкових стимулів, як ринкові ціни на викиди парникових газів, створення попиту на «зелену» сталь бізнес не матиме мотивації інвестувати. Оптимальним рішенням в таких умовах може стати збільшення податкового навантаження для підприємств-забруднювачів та підтримка низьковуглецевих ініціатив на старті.

Роль державної політики, очевидно, є вирішальною у реалізації завдання декарбонізації сталеливарної промисловості. Провідні країни-виробники сталі взяли на себе зобов'язання досягти вуглецевої нейтральності економіки до 2050-2060 років. Такі загальні цілі трансформуються у конкретні галузеві стратегії, що задають орієнтир для промисловості і сигналізують бізнесу про неминучість посилення екологічних вимог. Окрім цього, вплив можуть мати регуляторні вимоги, а саме жорсткі норми енергоефективності для заводів, ліміти на питомі викиди на тону продукції, мінімальний вміст низьковуглецевої сталі в кінцевій продукції тощо. Такі норми можуть створити гарантований ринок для декарбонізованої сталі. Також

важлива розробка стандартів сертифікації, тобто визначення, що вважається «зеленою» сталлю, для запобігання «грінвошингу» і забезпечення транспарентності для споживачів.

Міжнародна політична координація повинна запобігти перетворенню екологічних зусиль на торгові війни; навпаки, вона має забезпечити, що всі великі економіки разом прямують до спільної мети нульових викидів. Саме з цією ціллю країнами було прийнято Паризьку угоду, а також проводяться саміти COP у межах Рамкової конвенції ООН про зміну клімату.

Інституційні чинники будуть передбачати скоординовану взаємодію промисловості, урядів, наукових установ, фінансових організацій та громадянського суспільства. Впровадження декарбонізації буде найбільш ефективним за умов створення комплексної інституційної екосистеми – від наукових досліджень і розробок до регуляторного супроводу, фінансування та підготовки кадрів. Уже сьогодні діють численні міжнародні ініціативи та галузеві об'єднання, що сприяють поширенню кращих практик і підтримують інвестиції в НДДКР. Зростає вплив міжнародних фінансових установ, які враховують вуглецеві ризики у своїх стратегіях і дедалі частіше відмовляються підтримувати вуглецевоінтенсивні проекти. Водночас міжнародна співпраця (G7, G20, ОЕСР тощо) сприяє гармонізації стандартів і формуванню глобального ринку сталі з низьким вмістом вуглецю.

Висновки до розділу 2

1. На основі оцінювання рівня концентрації світового ринку сталі із застосуванням індексів CR5 та HHІ встановлено, що сучасна структура глобальної металургійної індустрії характеризується високою концентрацією виробництва та домінуванням обмеженої групи країн, насамперед Китаю. Побудована карта стратегічних конкурентів дозволила ідентифікувати позиції провідних виробників за рівнем міжнародної конкурентоспроможності та декарбонізації виробництва, а також

встановити, що Україна наразі належить до групи країн із низьким рівнем зеленої конкурентоспроможності, але має значний потенціал переходу до більш високих конкурентних позицій за умови реалізації низьковуглецевої модернізації галузі.

2. Визначено сучасні тренди трансформації глобального металургійного сектору. Встановлено, що ключовим вектором розвитку є поступова відмова від домінуючого вуглецемісткого технологічного маршруту BF-BOF на користь більш низьковуглецевих технологічних маршрутів DRI-EAF та scrap-EAF. Доведено стратегічне зростання ролі металобрухту як ресурсу циркулярної економіки, а також невідворотність глибокої електрифікації виробничих процесів із подальшим переходом на «зелений» водень, що змінює конфігурацію глобальних ланцюгів створення вартості.

3. Здійснено компаративний аналіз національних моделей низьковуглецевої трансформації на прикладі найбільших виробників сталі. Систематизовано п'ять базових моделей: регуляторно-інноваційну (ЄС), інвестиційно-стимулюючу (США), державно-планову (Китай), корпоративно-інноваційну (Японія) та наздоганяючу (Індія). Доведено, що найбільш ефективною з позицій забезпечення довгострокової зеленої конкурентоспроможності є регуляторно-інноваційна модель ЄС, яка поєднує механізми вуглецевого регулювання, підтримку інновацій та фінансування декарбонізації.

4. Проаналізовано динаміку виробництва сталі в Україні на основі економетричного аналізу та виявлено ключову роль логістичних і інерційних факторів в умовах воєнних, інфраструктурних і структурних шоків. Доведено, що статистично значущий вплив на обсяги виплавки сталі мають пропускна спроможність працюючих морських портів та лагова змінна виробництва у попередньому періоді. Це підтверджує, з одного боку, критичну залежність вітчизняної металургії від доступу до зовнішніх ринків збуту, а з іншого – інерційний характер галузі, зумовлений її високою капіталомісткістю, безперервністю технологічних процесів і залежністю поточного виробництва від попередніх виробничих рішень.

5. На основі авторського індексу вбудованих викидів (EEI) та кластерного аналізу методом K-means виявлено чотири типові моделі формування вуглецевого

навантаження у глобальних ланцюгах створення вартості металургійної продукції. Доведено, що найвищі значення вбудованих викидів характерні переважно для внутрішніх виробничих потоків сектору базових металів, тоді як міжкрайнові ланцюги створення вартості характеризуються нижчим рівнем вуглецевої інтенсивності. Встановлено, що формування вбудованих викидів визначається не лише країною походження продукції, а й сектором кінцевого попиту, структурою виробництва та конфігурацією міжнародних виробничих мереж.

5. Проаналізовано та систематизовано ключові детермінанти модернізації металургійної індустрії. Обґрунтовано, що успішна низьковуглецева трансформація галузі можлива лише за умов комплексної взаємодії виробничо-технологічних, енергетичних, емісійно-кліматичних, зовнішньоекономічних, регуляторно-інституційних і фінансово-інвестиційних детермінант, які визначають адаптаційну спроможність металургійної індустрії до глобальних кліматичних викликів та формування її зеленої конкурентоспроможності.

6. Доведено, що запропонована система детермінант формує концептуально-методологічне підґрунтя для подальшого оцінювання декарбонізаційної стійкості металургійної індустрії, побудови авторського інтегрального індексу, сценарного моделювання розвитку галузі та обґрунтування стратегічних пріоритетів її модернізації.

Основні результати розділу опубліковано в наукових працях автора [142; 143].

РОЗДІЛ 3

СТРАТЕГІЧНІ ПРІОРИТЕТИ ФОРМУВАННЯ ЗЕЛЕНИХ КОНКУРЕНТНИХ ПЕРЕВАГ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ІНДУСТРІЇ УКРАЇНИ

3.1. Конкурентна диспозиція металургійного комплексу України

Результати проведеного теоретичного та аналітичного дослідження створюють підґрунтя для обґрунтування стратегічних пріоритетів розвитку металургійної індустрії України в сучасних умовах глобальної кліматичної трансформації. У першому розділі було систематизовано теоретичні концепції, що пояснюють закономірності низьковуглецевої трансформації промисловості, зокрема теорію екстерналій, концепцію екологічної модернізації, гіпотезу Портера, концепцію зеленої конкурентоспроможності, підхід глобальних ланцюгів вартості та концепцію інноваційних екосистем. У другому розділі на основі аналізу світового досвіду модернізації металургійної індустрії було виявлено ключові механізми низьковуглецевого переходу та сформовано систему детермінантів, що визначають можливості й обмеження декарбонізації галузі.

Отримані результати дозволяють перейти від теоретичного осмислення та міжнародних практик до оцінювання перспектив розвитку металургійної індустрії України. Відтак логіка дослідження передбачає послідовний перехід від теоретичних концепцій і світового досвіду модернізації до ідентифікації детермінантів розвитку галузі, оцінювання передумов формування її зеленої конкурентоспроможності, сценарного моделювання можливих траєкторій трансформації та обґрунтування стратегічних пріоритетів модернізації металургійної індустрії України.

В умовах посилення кліматичних вимог та декарбонізації світових ринків конкурентоспроможність металургійної індустрії України дедалі більше набуває ознак міжнародної конкурентоспроможності, що визначається здатністю галузі інтегруватися у глобальні ланцюги створення вартості, відповідати вимогам

низьковуглецевого виробництва та зберігати експортні позиції на зовнішніх ринках. Важливою складовою конкурентної диспозиції металургійного комплексу України є його виробничо-технологічна структура, яка визначає як поточні обмеження комплексу, так і потенційні напрями його модернізації.

О. Смірнов та інші автори у своїй монографії наводять перелік сталеплавильних потужностей України на початок 2022 року (Додаток П). Серед них 18 підприємств, перші шість з яких є великими вертикально інтегрованими заводами (комбінатами) із традиційним повним вуглецевим циклом виробництва, основні фонди яких зношені в середньому на 65-70% [46, с. 12]. За даними WorldSteel частка таких підприємств у загальному виробництві сталі в Україні у 2021 році займала 94,2%, а у 2023 році знизилась до 87,7%, що також є високим результатом у порівнянні з загальносвітовою часткою у 71,1% (у 2023 році). Інші підприємства авторами класифіковані як малі металургійні заводи, що випускають продукцію спеціального призначення з високоякісних легованих сталей.

За даними GMK Center, станом на 2024 рік металургійний комплекс України представлений лише шістьма металургійними заводами (комбінатами), а саме: «АрселорМіттал Кривий Ріг», «Каметсталь», «Дніпровський металургійний завод», «Запоріжсталь», «Інтерпайп» та «Дніпроспецсталь» [114]. З вищенаведених найбільш низьковуглецевим є виробництво сталі підприємствами «Інтерпайп» та «Дніпроспецсталь», оскільки дані підприємства використовують у своїй роботі електросталеплавильні печі.

Як було зазначено у підрозділі 2.3, з 2014 року внаслідок російської агресії було зруйновано або втрачено доступ суттєвої низки виробничих металургійних потужностей, що актуалізує необхідність оцінювання масштабів завданих збитків і потреб у відновленні. Загальноприйнятою та актуальною оцінкою вартості відновлення України є звіт Спільної оцінки збитків та потреб (RDNA4), оприлюднений у лютому 2025 року урядом України спільно зі Світовим банком, Європейською Комісією та ООН. Згідно з цим звітом, станом на 31 грудня 2024 року потреби у відновленні та реконструкції протягом наступного десятиліття були оцінені майже в 524 мільярди доларів США (потреби як державного, так і приватного

секторів), а прямі збитки досягли майже 176 мільярдів доларів США. У всіх оцінюваних секторах перебої в економічних потоках та виробництві, а також додаткові витрати, пов'язані з російським вторгненням (такі як розчищення завалів і ліквідація наслідків руйнувань), оцінюються як економічні втрати, що становлять понад 589 мільярдів доларів США [144].

Загальний обсяг завданих збитків об'єктам торгівлі та промисловості в період із лютого 2022 року до 31 грудня 2024 року оцінюється у 17,5 мільярда доларів США, більшість (84%) припадає на промисловість, решта – на об'єкти торгівлі. Близько половини збитків (55%) зазнали середні та великі підприємства – як державні (1,9 млрд доларів), так і приватні (7,7 млрд доларів). Приблизно 44% збитків, завданих цим підприємствам (4,2 млрд доларів), пов'язані з руйнуванням двох металургійних комбінатів у Маріуполі – «Азовсталь» та «ММК імені Ілліча» [144]. Аналітики Оксфордського університету оцінюють, що повне відновлення сталевих сектору України вимагатиме близько \$62 млрд протягом 20 років: з них \$45,9 млрд – на відновлювану енергетику, \$6,6 млрд – на системи збереження енергії та \$9,5 млрд – безпосередньо на нові металургійні потужності [145].

22 червня 2023 року на Міжнародній конференції з питань відновлення України було створено коаліцію для екологічної трансформації галузі. Меморандум про створення платформи підписали уряд України в особі першого віцепрем'єр-міністра економіки Юлії Свириденко, генерального директора «Метінвест» Юрія Риженкова та провідних іноземних компаній – виробників обладнання та потенційних інвесторів, серед яких Primetals Technologies (Австрія), Fortescue FMG (Австралія), Rothschild & Co (Франція) та потенційні споживачі продукції. За оцінками учасників круглого столу, вартість середньострокової стратегії «зеленого» переходу до 2035 року складе близько 35 млрд доларів США. Такі інвестиції забезпечать виробництво до 15 млн т «зеленої» сталі на рік, а серед основних напрямків буде переоснащення цехів «Запоріжсталі» та «Каметсталі» для більш екологічного електросталеплавильного способу виробництва сталі з DRI (з перспективою переходу на водень, зокрема вироблений за допомогою відновлюваних джерел енергії), а також розширення лінійки прокатної продукції [146].

Незважаючи на суттєві руйнування, втрату контролю над виробничими потужностями, зношеність основних фондів, дефіцит та високі ціни на енергоресурси, логістичні обмеження, гостру нестачу персоналу українська металургія має потенціал для відновлення та зростання. Важливою конкурентною перевагою в контексті зеленої конкурентоспроможності є забезпеченість країни високоякісною металургійною сировиною, що є ключовим ресурсом для виробництва сталі з низьким рівнем емісії вуглецю.

Державні органи України та українські металургійні підприємства обґрунтовують обмежувальні заходи щодо вільного експорту металобрухту його дефіцитом на внутрішньому ринку. Проте постає питання: чи справді в країні, охопленій війною, де зазнали значних руйнувань промислові та інфраструктурні об'єкти, що, зокрема, спричинило утворення значних обсягів конверсійного та амортизаційного металобрухту, а також де були знищені два найбільші сталеливарні підприємства, може спостерігатися дефіцит? Для відповіді на це запитання проаналізуємо динаміку експорту та імпорту металобрухту, а також обсяги його внутрішнього постачання на металургійні комбінати (рис. 3.1).

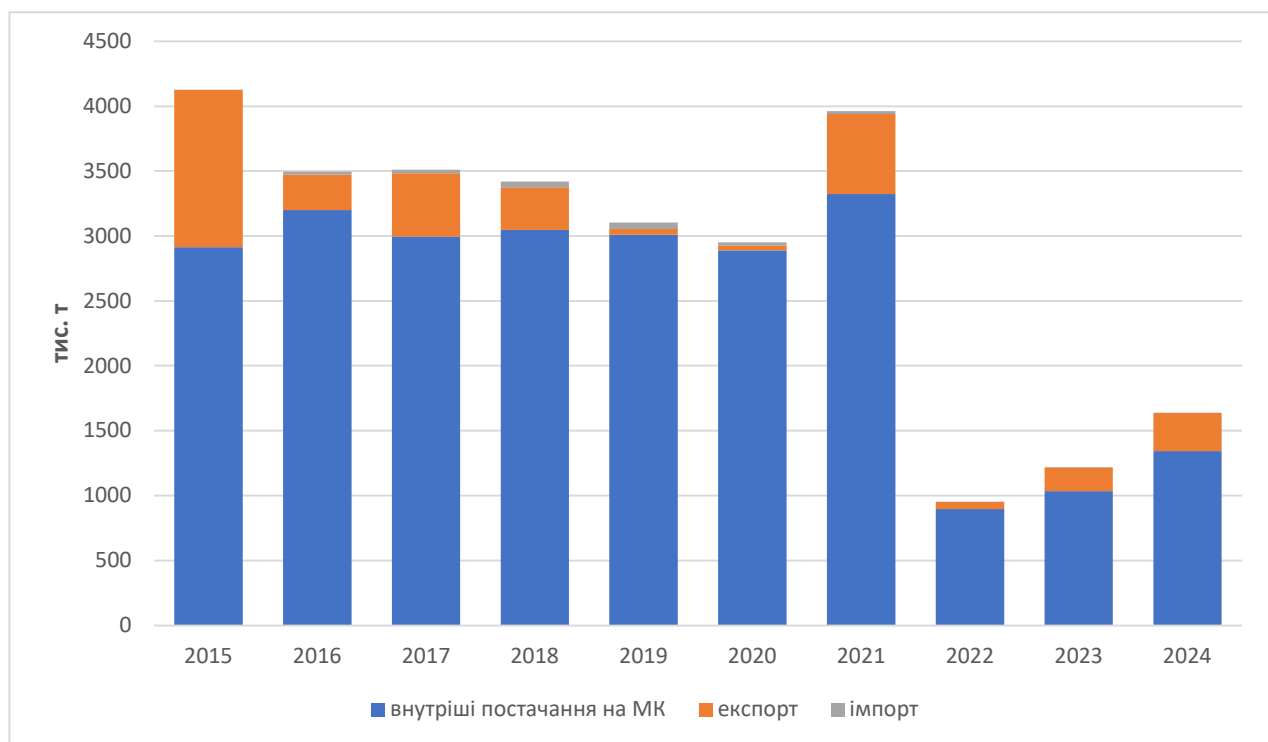


Рисунок 3.1. Торгівля металобрухтом в Україні у 2015-2024 рр.

Джерело: побудовано автором за даними [116; 154; 155; 156]

Найвищий обсяг експорту металобрухту за останні десять років було зафіксовано у 2015 році – 1 212,56 тис. т. Це становило приблизно 70% від загального обсягу заготівлі брухту в країні, якщо під заготівлею розуміти суму внутрішніх поставок і експорту. У подальші роки понад 80% заготовленого брухту залишалося на внутрішньому ринку. Максимальний обсяг імпорту було зафіксовано у 2019 році – єдиному році, коли імпорт перевищив експорт, – і становив 49,9 тис. т. Загалом протягом десятирічного періоду імпортна частка не перевищувала 2% у структурі споживання металургійними підприємствами (за умови визначення споживання як суми внутрішніх поставок та імпорту). Таким чином, наявні дані не свідчать про дефіцит металобрухту в Україні.

Різноманітні обмеження та заборони, зокрема введення урядом України нульових квот на експорт металобрухту, на думку автора, не лише суперечать євроінтеграційним прагненням України як кандидата на вступ в ЄС, але й порушують ринкові механізми формування цін на ринку брухту. Це створює ризик штучного заниження закупівельних цін з боку металургійних підприємств, оскільки експорт залишався єдиним чинником, що забезпечував ринкову конкуренцію у ціноутворенні металобрухту в Україні. Втрата доступу до альтернативних зовнішніх ринків збуту неминуче призводить до скорочення обсягів заготівлі брухту в Україні та закриття значної частини брухтозаготівельних підприємств.

Залізна руда є однією з ключових експортних позицій українського металургійного комплексу, за обсягами експорту якої Україна посіла дев'яте місце серед країн світу за результатами 2023 року. За даними ДП «Держзовнішінформ» – провідного національного аналітичного центру з дослідження внутрішніх і зовнішніх товарних ринків – Україна має 18% від розвіданих світових запасів залізної руди, що дозволяє їй утримувати позицію одного з глобальних лідерів. У перерахунку на вміст заліза частка України становить 10,5–11% від світових запасів, що забезпечує їй місце у п'ятірці лідерів за цим показником [157]. Наявність таких запасів створює вагоме підґрунтя для інвестицій у виробництво заліза прямого відновлення, однак стримуючими факторами в цьому питанні можуть виступати невисока за світовими стандартами якість української руди (30-33% вмісту заліза в середньому), що

обумовлює необхідність додаткової подальшої переробки та збагачення, а також обмеженість доступного ресурсу природного газу [158]. Частково цю проблему в перспективі може бути пом'якшено через розвиток виробництва низьковуглецевого «зеленого» водню, оскільки сучасні технології прямого відновлення передбачають можливість використання як природного газу, так і водню у процесі відновлення залізної руди.

У питанні виробництва водню Україна чітко орієнтується на ЄС і прагне інтегруватися в спільний європейський водневий ринок. Станом на 2025 рік в Україні існує низка проєктів із виробництва «зеленого» водню, зосереджених переважно на заході та півдні країни. Найбільш амбітними є два «водневі кластери» компанії ТОВ «Водень України» – у порту міста Рені (до 3000 МВт) та на Закарпатті (до 1500 МВт), що орієнтовані на експорт до ЄС. У Рівненській області компанія MCL планує поєднати вітрову генерацію з виробництвом водню й постачанням його на «Рівнеазот» для синтезу аміаку. Укргідроенерго реалізує пілотний проєкт електролізу на ДніпроГЕС, а львівська група Есо-Optima підготувала плани на 100 МВт електролізера, втім наразі проєкт відкладено. Загалом, проєкти демонструють високий інтерес до розвитку водневої енергетики, однак більшість з них перебуває на стадії ТЕО або планування, і їхня реалізація залежить від безпекової ситуації та інвестиційної підтримки [152].

Інституційне оформлення водневої галузі в Україні ще перебуває на етапі становлення, оскільки проєкт Водневої стратегії до 2050 року тільки сформовано, але окремі елементи державної політики щодо виробництва «зеленого» водню в енергетичних стратегічних документах вже закладено. Проєктом стратегії передбачена реалізація до 2050 року щонайменше 10 ГВт потужностей електролізерів для виробництва 1,65 млн тонн низьковуглецевого водню щорічно, залежно від внутрішнього попиту та обсягів експорту. Для цього передбачається встановлення 20 ГВт вітрових і 5 ГВт сонячних електростанцій, що працюватимуть на виробництво відновлюваного водню, а усі проєкти передбачається реалізувати за рахунок приватних інвестицій. Однією з ключових цілей є експорт водню до країн ЄС через Центральноевропейський водневий коридор відповідно до заявлених обсягів [153].

Для виробництва «зеленого» водню необхідна розвинена інфраструктура з виробництва електроенергії з джерел відновлюваної енергії. У 2023 р. показники генерації електроенергії на одну особу в Україні, ЄС та світу суттєво відрізнялись як у абсолютному, так і у відносному вимірах (рис. 3.2).

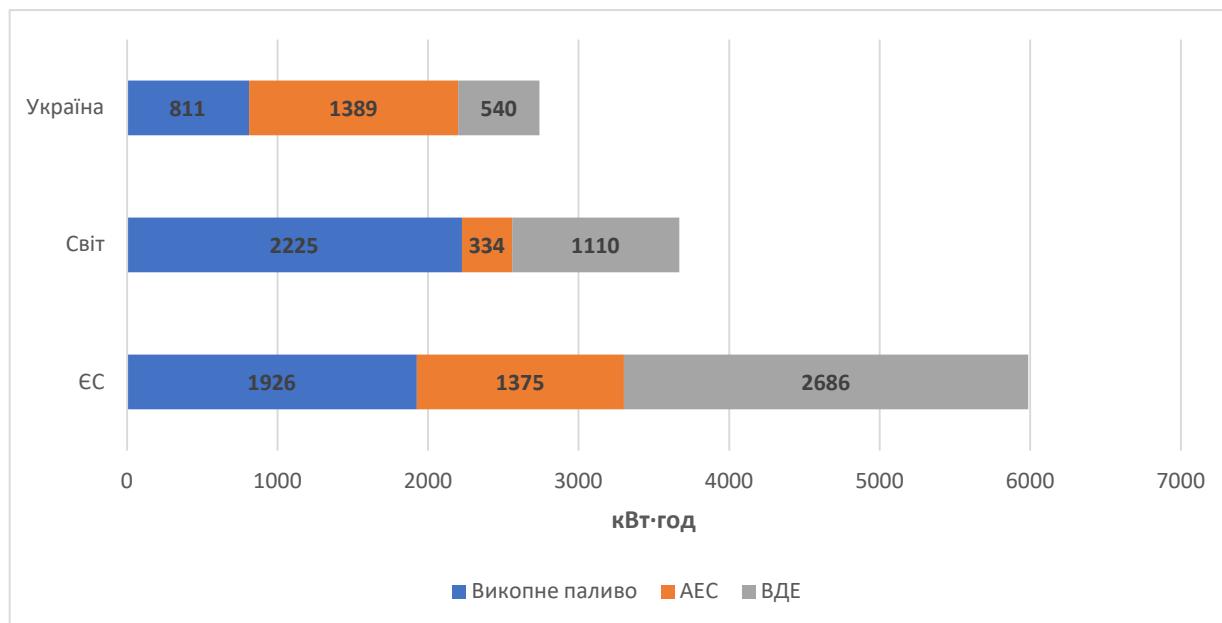


Рисунок 3.2. Генерація електроенергії на одну особу за джерелами в ЄС, Україні та світі, 2023 р.

Джерело: побудовано автором за даними [141]

Джерела викопного палива охоплюють генерацію з вугілля, природного газу та нафтопродуктів; АЕС – атомні електростанції; ВДЕ (відновлювані джерела енергії) включають гідроенергетику, сонячні та вітрові електростанції, біоенергетику та інші типи відновлюваної енергії. У країнах Європейського Союзу середній рівень виробництва електроенергії на особу населення у 2023 році становив 5987 кВт·год. З цього обсягу 45% припадає на ВДЕ, 23% – на атомну енергетику, а 32% – на викопне паливо. Світовий середній показник електрогенерації на особу населення становив 3669 кВт·год, з яких 32% вироблено з ВДЕ, 9% – від атомних електростанцій, а 59% – із викопного палива.

В Україні обсяг виробництва електроенергії на особу населення на 2023 рік склав 2740 кВт·год, що вдвічі менше за середній показник у ЄС та приблизно на чверть нижчий за світовий рівень. Водночас Україна демонструє нижчу залежність від викопного палива – лише 18% електроенергії було вироблено з вугілля, природного

газу та нафтопродуктів. Основу генерації становила атомна енергетика з часткою у 59%, тоді як частка ВДЕ складає лише 23%, що менше як у ЄС, так і в глобальному масштабі. Така структура зумовлена, зокрема, втратою контролю з початком повномасштабного російського вторгнення над Запорізькою атомною електростанцією та низкою інших енергетичних активів на тимчасово окупованих територіях.

З метою збільшення генерації електроенергії з відновлюваних джерел енергії, виконання цілей сталого розвитку та декарбонізації економіки українським урядом було прийнято цілий перелік стратегічних документів [159]:

- Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та план заходів з його виконання, що передбачає досягнення 27% частки ВДЕ в кінцевому енергоспоживанні, розвиток мереж, інфраструктури та систем накопичення енергії;
- Національна економічна стратегія України на період до 2030 року, що визначає декарбонізацію економіки як один із ключових пріоритетів, передбачаючи підвищення енергоефективності, розвиток відновлюваної енергетики, циркулярної економіки та синхронізацію з Green Deal;
- Енергетична стратегія України на період до 2050 року, що встановлює індикативні орієнтири майбутнього розвитку сектору: зокрема, досягнення 27% ВДЕ у кінцевому споживанні до 2030 року, 70% ВДЕ у первинному постачанні енергії до 2050 року та поступовий перехід до кліматичної нейтральності до 2060 року;
- імплементація законодавства ЄС у сфері ВДЕ.

Україна вже здійснила низку кроків для адаптації до кліматичного законодавства ЄС. Зокрема, на законодавчому рівні закріплено мету досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року, урядом затверджено план впровадження системи торгівлі квотами на викиди парникових газів (СТВ), поновлено обов'язкову звітність у межах системи моніторингу, звітності та верифікації викидів, а також триває розробка проєкту Закону України «Про засади функціонування національної системи торгівлі квотами на викиди парникових газів». Зазначені кроки можна оцінити як важливий етап інституційного зближення України з ЄС у сфері кліматичної політики, адже вони формують правову основу для переходу від декларативних

зобов'язань до впровадження ринкових механізмів скорочення викидів парникових газів. Однак фактично вплив цих кроків на декарбонізацію поки що залишається потенційним, оскільки вони мають переважно рамковий і підготовчий характер і Україна лише входить у фазу створення повноцінного механізму ціноутворення на викиди парникових газів. Важливо відзначити, що Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України декларувало намір подати відповідний законопроект ще у 2024 році, запустити систему торгівлі викидами у пілотному режимі у 2025 році, а у 2026 році перейти до її повноцінного функціонування в тому числі з метою звільнити український бізнес від сплати СВМ-платежів [160]. Пізніше цей термін було відкладено, і згідно з розпорядженням КМУ №146-р від 21.02.2025 запуск першого операційного етапу національної системи торгівлі викидами наразі передбачений з 2028 року [161]. Але навіть якщо Україна запустить власну СТВ у 2028 році, її фактична наявність не означатиме автоматичного приєднання до СТВ ЄС. Для цього необхідне повне з'єднання, тобто українська СТВ має бути сумісною з СТВ ЄС, що означатиме взаємне визнання квот на викиди для виконання своїх зобов'язань. Показовим у цій ситуації є приклад Швейцарії, процес з'єднання СТВ якої з СТВ ЄС зайняв майже 10 років, що згодом дозволило швейцарським компаніям брати участь у європейському ринку торгівлі викидами [162].

Іншим ризиком у цьому контексті залишається розрив між адаптацією законодавства та реальною технологічною трансформацією. Якщо впровадження СТВ буде обмежене лише формальною імплементацією європейських правил без доступу підприємств до фінансування, інвестиційних програм, компенсаційних механізмів і прогнозованої промислової політики, воно може перетворитися на додатковий тиск на промисловість, а не на інструмент її оновлення.

На сьогодні в Україні існує екологічний податок за викиди CO₂, що відповідно до пункту 243.4 статті 243 Податкового кодексу України становить 30 гривень за тонну і сплачується у випадку емісії викидів в обсязі більше 500 тонн за рік [163]. Водночас в Європейському Союзі з 1 січня 2026 року повноцінно запрацював механізм прикордонного вуглецевого коригування СВМ. За оцінками різних профільних

галузових та аналітичних організацій, СВМ матиме значний негативний вплив на економіку України (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Вплив СВМ на національну економіку України

№	Організація	Прогноз
1	Deloitte	Загальні платежі українських експортерів до ЄС можуть сягнути 1 млрд євро (у цінах 2021 року) до 2030 року. Експорт заліза та сталі становитиме понад 80% від загальних платежів за СВМ, електроенергія близько 8%, цемент і добрива – близько 6% кожна галузь. При розрахунку витрат на основі рівнів експорту після 2021 року, платежі зменшаться майже вдвічі через різке скорочення експорту
2	CMD-Ukraine	Унаслідок дії СВМ Україна може втратити до 2030 року 6,4% від ВВП, зниження обсягу експорту може становити 6,3%, зокрема в ЄС – 9,8%, а скорочення кількості робочих місць – понад 116 тис. позицій
3	GMK Center	В 2026 році втрати ВВП сягнуть \$1,4 млрд, експорту – \$372 млн, а втрати податкових надходжень, інвестицій і зарплат – \$266 млн, \$202 млн і \$585 млн відповідно. До 2030 року ці показники суттєво зростуть: ВВП втратить \$7,2 млрд, експорт – \$1,75 млрд, податки – \$1,35 млрд, інвестиції – понад \$1 млрд, а втрати заробітної плати перевищать \$2,9 млрд.
4	Федерація роботодавців України	В 2026 році СВМ може призвести до падіння ВВП України на 4,8%, скорочення експорту до ЄС на 7,8% та зниження податкових надходжень на \$2,8 млрд. До 2030 року ці втрати зростуть: ВВП зменшиться на 6,1%, експорт – на 9,8%, а переробна промисловість – на 16,7%. Може бути втрачено до 120 тис. робочих місць
5	Green Deal Україна	До 2035 року виробництво у металургії скоротиться на \$250 млн, в енергетиці – на \$237 млн. Загальне економічне зростання при цьому майже не змінюється. Натомість експорт зазнає сильнішого впливу: у 2035 році очікується скорочення експорту цементу на 13,8%, енергетичних товарів — на 9%, чавуну та сталі — на 3,1%

Джерело: узагальнено автором за даними [164; 165; 166; 167; 168]

Відтак запровадження СВМ дійсно може створити суттєве додаткове навантаження на українських експортерів, насамперед у металургійному секторі. За оцінками Deloitte, сукупні платежі українських експортерів до ЄС можуть сягнути 1 млрд євро до 2030 року, причому понад 80% цього навантаження припадатиме на експорт заліза та сталі. Більш песимістичні оцінки CMD-Ukraine, GMK Center та Федерації роботодавців України вказують на можливе скорочення ВВП, експорту, податкових надходжень, інвестицій та зайнятості. Водночас оцінка Green Deal Україна демонструє помірніший макроекономічний ефект, але підтверджує значну вразливість окремих вуглецемістких секторів.

Наявні аналітичні оцінки засвідчують, що металургійна індустрія України є одним із ключових секторів ризику в умовах запровадження СВАМ. Такі оцінки підкріплюються не лише прогнозами, але й останніми фактичними та статистичними даними. Наприклад, за даними ОП «Укрметалургпром» за 2025 рік українськими металургійними підприємствами вироблено 6 521 тис. т металопрокату, з яких, за інформацією Державної митної служби України, експортовано порядку 4 123 тис. т, або 63,2%. Основними експортними ринками українського металопрокату за 2025 рік стали країни ЄС (82,0%), інші європейські країни (8,5%) та країни СНД (5,3%) [169]. У січні–квітні 2026 року обсяг виробництва металопрокату українськими металургійними підприємствами, за даними ОП «Укрметалургпром», становив 1 802 тис. т, або 90,9% від рівня відповідного періоду 2025 року. Із цього обсягу, за інформацією Державної митної служби України, на експорт було спрямовано близько 1 121 тис. т, що відповідає 62,2% загального виробництва металопрокату, а основними експортними ринками, за даними Держмитслужби, стали країни ЄС (80,2%), інші європейські країни (10,9%) та країни СНД (6,3%) [170].

Таким чином, висока частка експорту у виробництві металопрокату та домінування ЄС серед зовнішніх ринків збуту підтверджують стратегічну вразливість української металургії до запровадження СВАМ. Відтак інструмент екологічної політики ЄС фактично стає торговельно-конкурентним фактором: чим вищими будуть вбудовані викиди у продукції, тим більшим може бути фінансове навантаження на експортерів і тим менш привабливою така продукція ставатиме для європейських імпортерів. Симптоматичним прикладом погіршення експортних позицій української металургії є ситуація з ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»: за словами генерального директора підприємства, комбінат повністю припинив експорт металопродукції на ринок ЄС через введення в дію СВАМ, оскільки імпортери продукції комбінату в країнах ЄС скасували свої замовлення [171].

Наявні на сьогодні дані вже дозволяють зробити обґрунтоване припущення про те, які платежі можуть бути покладені на імпортерів української металургійної продукції у ЄС, адже майже вся необхідна нормативна база для остаточного періоду СВАМ (з 1 січня 2026 року) вже сформована та містить конкретні числові показники.

З академічної точки зору, розрахунок такого фінансового зобов'язання, як СВАМ-платіж, – це багатоступеневий процес, який враховує обсяг імпорту, вуглецемісткість товару, європейські регуляторні пільги (знижки) та вуглецеві податки, вже сплачені в країні походження.

Базове рівняння розрахунку СВАМ-платежів має такий вигляд:

$$C_{\text{СВАМ}} = N_{\text{СВАМ}} \times P_{\text{СВАМ}} \quad (3.1)$$

де $C_{\text{СВАМ}}$ – фінансове зобов'язання за СВАМ, євро;

$N_{\text{СВАМ}}$ – кількість сертифікатів СВАМ до здачі (один сертифікат відповідає 1 т CO_2 -екв вбудованих викидів у імпортованому товарі);

$P_{\text{СВАМ}}$ – ціна сертифіката СВАМ, євро/т CO_2 -екв.

Кількість сертифікатів СВАМ до здачі ($N_{\text{СВАМ}}$) розраховується за наступним рівнянням:

$$N_{\text{СВАМ}} = (SEE_g - SEFA_{g,y}) \times M_g \times \left(1 - \frac{CP_{\text{third}}}{P_{\text{СВАМ}}}\right) \quad (3.2)$$

де SEE_g (Specific embedded emissions) – питомі вбудовані викиди товару g , т CO_2 -екв/т;

$SEFA_{g,y}$ (Specific Embedded Free Allocation) – питомий вбудований безкоштовний розподіл, CO_2 -екв/т;

M_g – маса імпортованого товару g , т;

CP_{third} (Carbon price paid in a third country) – ціна вуглецю у третій країні, EUR/ т CO_2 -екв;

g – імпортований товар;

y – звітний період.

Механізм придбання та здачі сертифікатів СВАМ має різний порядок застосування у перший та в наступні роки. Для товарів, імпортованих у 2026 році, передбачено перехідний порядок виконання фінансового зобов'язання: імпортери зможуть придбавати сертифікати для покриття своїх зобов'язань за імпорт 2026 року починаючи з лютого 2027 року, а перше подання річної СВАМ-декларації та здача відповідної кількості сертифікатів мають бути здійснені до 30 вересня 2027 року. Починаючи з 2027 року, така вимога набуває регулярного характеру: на кінець кожного кварталу імпортер повинен мати на своєму рахунку в реєстрі СВАМ кількість

сертифікатів, що відповідає щонайменше 50% вбудованих викидів у товарах, імпортованих з початку календарного року.

Вартість сертифіката CBAM не є сталою величиною, оскільки вона визначається на основі середньозваженої ціни закриття аукціонів квот на викиди в межах СТВ ЄС. Проте правила її застосування також залежать від року. У 2026 році ціна сертифікатів розраховується та публікується Єврокомісією поквартально, відтак до товарів буде застосовуватися ціна того кварталу, у якому ці товари були фактично імпортовані. Однак починаючи з 2027 року, ціна сертифікатів розраховуватиметься та публікуватиметься щотижнево, що посилюватиме залежність фактичного фінансового навантаження імпортера від поточної кон'юнктури європейського вуглецевого ринку.

Європейське законодавство (зокрема базовий Регламент ЄС 2023/956) офіційно закріплює можливість звітувати про вбудовані викиди імпортованих товарів, спираючись на фактичні викиди або на значення за замовчуванням. Алгоритм розрахунку суттєво відрізняється залежно від того, чи використовує імпортер фактичні (верифіковані) дані про викиди або значення за замовчуванням (дефолтні). Відповідно, існує два основні підходи, а також їхня комбінація:

1. Підхід на основі фактичних значень (відображає реальний виробничий процес та склад товару). Застосовувати цей підхід можна лише за умови, що дані виробничих потужностей експортера перевірені та підтверджені акредитованим європейським верифікатором. Для визначення коригування на безкоштовний розподіл у цьому підході застосовуються бенчмарки з колонки А Імплементаційного Регламенту (ЄС) 2025/2620, що визначені для кожного окремого коду товарів, що відповідає міжнародній гармонізованій системі кодування товарів. Розрахунок ведеться кумулятивно: окремо рахується процес, окремо – сировина (прекурсори). Такий підхід є фінансово найвигіднішим для модернізованих підприємств.

2. Підхід на основі дефолтних значень. Цей підхід застосовується, якщо фактичні верифіковані дані відсутні, або якщо не є можливим встановити країну чи завод, який виробив товар. В цьому випадку використовуються готові усереднені значення викидів (дефолтні), які затверджені Європейською Комісією для країни-

експортера. Водночас застосовуються штрафні санкції: з метою запобігання зловживанням цим підходом з боку імпортерів, до дефолтних значень додається спеціальна штрафна націнка (mark-up), яка становить +10% у 2026 році, +20% у 2027 році та +30% з 2028 року. Для визначення коригування на безкоштовний розподіл у цьому підході застосовується комплексний бенчмарк з колонки В Імплементативного Регламенту (ЄС) 2025/2620. Даний підхід є найбільш фінансово обтяжливим для імпортера товарів.

3. Змішаний підхід (для складних товарів). У методології СВAM усі товари офіційно поділяються на дві категорії: прості (товари, у процесі виробництва яких не використовуються прекурсори) та складні (товари, які виготовляються з використанням одного або кількох прекурсорів). Прекурсорами в даному контексті виступає сировина чи матеріал, який також включений до списку товарів СВAM і має власні вбудовані викиди. Однією з принципово нових рис правил СВAM є закріплення права поєднувати обидва підходи в межах одного розрахунку складного товару. Таким чином, якщо постачальник прекурсора не надасть верифікованих даних про те, наскільки екологічно був вироблений цей прекурсор, або якщо ланцюг постачання непрозорий (країна походження сировини невідома або не може бути документально встановлена), для цього прекурсора застосовується найвище дефолтне значення серед усіх країн світу, що значно збільшує СВAM-платіж для імпортера.

Для окремого виробничого процесу питомий безкоштовний розподіл квот на рівні процесу розраховується за рівнянням:

$$SFA_{Proc\ g,y} = CBAM_y \times CSCF_y \times BM_g \quad (3.3)$$

де $SFA_{Proc\ g,y}$ – питомий безкоштовний розподіл квот на рівні процесу у звітному році y , розрахований для того виробничого процесу, в результаті якого випускається товар g ;

$CBAM_y$ – коефіцієнт СВAM, що являє собою відсоток безкоштовних квот, який продовжує діяти у відповідному році y . Для 2026 року він дорівнює 97,5%, 95% у 2027 році, 90% у 2028 році, 77,5% у 2029 році, 51,5% у 2030 році, 39% у 2031 році, 26,5% у 2032 році, 14% у 2033 році, а з 2034 року коефіцієнт СВAM не застосовується;

$CSCF_y$ (Cross-sectoral correction factor) – міжгалузевий поправочний коефіцієнт за звітний період y , спеціальний показник, який Європейська Комісія щороку визначає для коригування загальної кількості безкоштовних квот на викиди в рамках СТВ ЄС;

BM_g – бенчмарк CBAM.

Для складного товару розрахунок питомого вбудованого безкоштовного розподілу квот (SEFA) повинен враховувати виробничий процес, а також SEFA кожного прекурсора та розраховуватися за таким рівнянням:

$$SEFA_{g,y} = SFA_{Proc\ g,y} + \sum_{i=1}^n m_{i,y} \times SEFA_{i,y'_i} \quad (3.4)$$

де $m_{i,y}$ – питома маса прекурсора i , спожитого для виробництва однієї тонни товару g , визначена відповідно до правил, викладених у Імплементативному регламенті (ЄС) 2025/2547, т/т;

$SEFA_{i,y'_i}$ – питомий безкоштовний розподіл для прекурсора i , т CO₂-екв/т прекурсора i .

Питомі вбудовані викиди складних товарів g можна виразити як:

$$SEE_g = ae_g + \sum_{i=1}^n (m_i \times SEE_i) \quad (3.5)$$

де ae_g – питомі атрибутовані викиди власного виробничого процесу, тобто ті викиди, що утворилися безпосередньо на останній стадії виробництва з розрахунку на 1 тонну готового товару;

m_i – питома маса спожитого прекурсора i , тобто скільки тонн конкретної сировини було витрачено для виробництва рівно 1 тонни товару g ;

SEE_i – питомі вбудовані викиди 1 тонни прекурсора i , т CO₂-екв/т прекурсора i . Якщо прекурсор походить з ЄС або з країн, що повністю звільнені від CBAM, цей показник автоматично прирівнюється до нуля.

Розрахунок платежів та загальне функціонування CBAM регулюється наступними нормативно-правовими актами ЄС:

- Регламент (ЄС) 2023/956 Європейського Парламенту та Ради – основний документ, що встановлює механізм прикордонного вуглецевого коригування (CBAM) та базові правила розрахунку сертифікатів.
- Регламент (ЄС) 2025/2083 – поправки до базового Регламенту щодо спрощення та посилення вимог CBAM.
- Імплементативний регламент (ЄС) 2025/2547 – встановлює правила та методи розрахунку фактичних вбудованих викидів у товарах.
- Імплементативний регламент (ЄС) 2025/2621 – встановлює значення за замовчуванням (дефолтні значення), які застосовуються для визначення вбудованих викидів, якщо підприємство не надає верифікованих фактичних даних.

- Імплементацийний регламент (ЄС) 2025/2620 – визначає правила розрахунку коригування на безкоштовний розподіл до кількості сертифікатів СВАМ, які підлягають здачі (бенчмарки СВАМ, що зменшують фінансове зобов'язання).
- Імплементацийний регламент (ЄС) 2025/2548 – встановлює методологію розрахунку та публікації ціни сертифікатів СВАМ, за якою розраховується кінцеве фінансове зобов'язання імпортера.
- Делегований регламент (ЄС) 2025/2551 – визначає умови надання акредитації верифікаторам, а також правила контролю та нагляду за ними.
- Імплементацийний регламент (ЄС) 2025/2546 – встановлює принципи та порядок проведення верифікації задекларованих вбудованих викидів (включаючи вимоги до звітів та пороги суттєвості).
- Імплементацийний регламент (ЄС) 2025/2549 – визначає умови і процедури, пов'язані з отриманням статусу уповноваженого декларанта СВАМ.
- Імплементацийний регламент (ЄС) 2025/2550 – регулює функціонування Реєстру СВАМ та порядок подачі щорічних декларацій зі здачею сертифікатів.

Для емпіричної оцінки потенційного фінансового навантаження СВАМ здійснено розрахунки для умовної партії імпорту з України до ЄС 1000 т сталевих продукції за кодом УКТЗЕД 72 07 11 11. Розрахунки виконано для таких технологічних маршрутів, з урахуванням початкових даних (табл. 3.2):

- технологічний маршрут BF-OHF, за умови використання чавуну (код УКТЗЕД 7201) як прекурсора;
- технологічний маршрут BF-BOF за умови використання чавуну (код УКТЗЕД 7201) як прекурсора;
- технологічний маршрут DRI-EAF за умови використання заліза прямого відновлення (код 7203 10 00) як прекурсора;
- технологічний маршрут scrap-EAF за умови використання металобрухту (код УКТЗЕД 7204) як прекурсора.

Початкові дані для розрахунку СВАМ-платежів

Найменування, од.	Позначення	Значення
Ціна сертифіката СВАМ	$P_{\text{СВАМ}}$	75,36
СВАМ-фактор для 2026 року	СВАМ_y	0,975
Міжсекторальний корекційний коефіцієнт	CSCF_y	1
Екологічний податок в Україні, євро/т CO_2 -екв	CP_{third}	0,58
Обсяг імпорту, т	M_g	1000

Джерело: складено автором на основі [163; 172]

Відповідно до офіційної публікації Європейської Комісії, ціна одного сертифіката СВАМ ($P_{\text{СВАМ}}$) для першого кварталу 2026 року становить 75,36 євро [172]. СВАМ-фактор (СВАМ_y) регламентується Директивою 2003/87/ЄС, і для розрахунків на 2026 рік цей коефіцієнт становить 97,5% (або 0,975) [173]. Значення міжсекторального корекційного коефіцієнта (CSCF_y) на 2026 рік ще не затверджено, але оскільки Виконавчим рішенням комісії (ЄС) 2021/927 для 2021-2025 років цей показник становив 100%, для розрахунків за перший квартал 2026 року також приймемо значення цього показника у 100% (або 1) [174]. Екологічний податок в Україні (CP_{third}) за викиди CO_2 Податковим кодексом України визначено на рівні 30 грн/т, для розрахунків у євро використаємо обмінний курс 52 грн за 1 євро та визначимо екологічний податок у розмірі 0,58 євро/т [163]. Важливо відзначити, що даний екологічний податок не є автоматичною знижкою, а є умовним елементом моделі, застосування якого можливе лише за умови, що він був фактично сплачений у третій країні, документально підтверджений і не компенсований.

Перший підхід. Імпортёр використовує фактичні значення, верифіковані акредитованими верифікаторами, тобто всі значення викидів є документально підтвердженими. Оскільки дані про фактичні верифіковані викиди українських підприємств відсутні, розрахунок передбачає використання припущень щодо значень вбудованих викидів процесу (a_{eg}), відносної маси прекурсора (m_i) та вбудованих викидів прекурсора (SEE_i). Відтак дані показники не варто інтерпретувати як універсальні нормативні параметри для України. Винятком в даному випадку є

прекурсор у вигляді металобрухту, у зв'язку з тим, що згідно з правилами CBAM, металобрухт вважається таким, що має нульові вбудовані викиди. Відповідні бенчмарки (BM_g та BM_i) для розрахунку взято з Імплементативного Регламенту (ЄС) 2025/2620 [175]. Важливо відзначити, що європейська номенклатура не передбачає бенчмарків для мартенівського виробництва, оскільки в Європі ця технологія давно ліквідована, тому для цілей моделювання до мартену застосовано ті ж самі нормативи безкоштовних квот, що й для конвертера. З урахуванням зазначених методологічних припущень здійснено розрахунок потенційного CBAM-платежу для найбільш вуглецемісткого технологічного маршруту BF-OHF (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Розрахунок CBAM-платежів за повної верифікації викидів для технологічного маршруту BF-OHF

Найменування, од.	Позначення	Значення	Коментар
Вбудовані викиди процесу, т CO ₂ -екв/т	a_{eg}	0,6	Припущення
Відносна маса прекурсора, т/т	m_i	0,9	Припущення
Вбудовані викиди прекурсора (вуглецемісткість однієї тонни прекурсора), т CO ₂ -екв/т	SEE_i	2	Припущення
Частка викидів прекурсора, яка «вбудувалась» у фінальний товар, т CO ₂ -екв/т	$m_i \times SEE_i$	1,800	—
Вбудовані викиди складного товару, т CO ₂ -екв/т	SEE_g	2,400	Рівняння 3.5
Бенчмарк для сталі, т CO ₂ -екв/т	BM_g	0,188	Табличне значення
Бенчмарк для прекурсора, т CO ₂ -екв/т	BM_i	1,089	Табличне значення
SEFA власного процесу	$SFA_{Proc\ g,y}$	0,183	Рівняння 3.3
SEFA для прекурсора	$SEFA_{i,y}$	1,062	Рівняння 3.3
SEFA складного товару	$SEFA_{g,y}$	1,139	Рівняння 3.4
Ефективна CBAM-база	$(SEE_g - SEFA_{g,y})$	1,261	Рівняння 3.2
Коригування на ціну вуглецю, фактично сплачену в Україні	$1 - CP_{third}/P_{CBAM}$	0,992	—
Кількість сертифікатів CBAM до здачі	N_{CBAM}	1 251,40	—
Фінансові зобов'язання за CBAM, євро	C_{CBAM}	94 305,24	Рівняння 3.1

Джерело: складено автором на основі власних розрахунків

Потенційні фінансові СВАМ-зобов'язання для виготовленої за технологічним маршрутом BF-ONF товарної позиції за умови повної верифікації викидів можуть становити 94 305,24 євро або 94,31 євро/т товару. Основне вуглецеве навантаження для цього маршруту формується прекурсором (чавуном). Наступним етапом розрахунок проведено для традиційного технологічного маршруту BF-BOF, який, як і BF-ONF, ґрунтується на використанні чавуну як прекурсора, проте має трохи меншу вуглецемісткість виробничого процесу (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Розрахунок СВАМ-платежів за повної верифікації викидів для технологічного маршруту BF-BOF

Найменування, од.	Позначення	Значення	Коментар
Вбудовані викиди процесу, т CO ₂ -екв/т	a_{e_g}	0,3	Припущення
Відносна маса прекурсора, т/т	m_i	0,9	Припущення
Вбудовані викиди прекурсора (вуглецемісткість однієї тонни прекурсора), т CO ₂ -екв/т	SEE_i	2	Припущення
Частка викидів прекурсора, яка «вбудувалась» у фінальний товар, т CO ₂ -екв/т	$m_i \times SEE_i$	1,800	—
Вбудовані викиди складного товару, т CO ₂ -екв/т	SEE_g	2,100	Рівняння 3.5
Бенчмарк для сталі, т CO ₂ -екв/т	BM_g	0,188	Табличне значення
Бенчмарк для прекурсора, т CO ₂ -екв/т	BM_i	1,089	Табличне значення
SEFA власного процесу	$SFA_{Proc\ g,y}$	0,183	Рівняння 3.3
SEFA для прекурсора	$SEFA_{i,y}$	1,062	Рівняння 3.3
SEFA складного товару	$SEFA_{g,y}$	1,139	Рівняння 3.4
Ефективна СВАМ-база	$(SEE_g - SEFA_{g,y})$	0,961	Рівняння 3.2
Коригування на ціну вуглецю, фактично сплачену в Україні	$1 - CP_{third}/P_{CBAM}$	0,992	—
Кількість сертифікатів СВАМ до здачі	N_{CBAM}	953,71	—
Фінансові зобов'язання за СВАМ, євро	C_{CBAM}	71 871,24	Рівняння 3.1

Джерело: складено автором на основі власних розрахунків

Потенційні фінансові СВАМ-зобов'язання для виготовленої за технологічним маршрутом BF-BOF товарної позиції за умови повної верифікації викидів можуть

становити 71 871,24 євро або 71,87 євро/т товару. Це менш вуглецемісткий сценарій, ніж попередній, однак головним джерелом вбудованих викидів надалі залишається прекурсор.

Проведено розрахунок потенційного фінансового навантаження CBAM для технологічного маршруту DRI-EAF, який характеризується нижчим рівнем вуглецемісткості порівняно з традиційними маршрутами BF-BOF та BF-ONF та розглядається як один із перспективних напрямів декарбонізації металургійного сектору (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Розрахунок CBAM-платежів за повної верифікації викидів для технологічного маршруту DRI-EAF

Найменування, од.	Позначення	Значення	Коментар
Вбудовані викиди процесу, т CO ₂ -екв/т	a_{e_g}	0,15	Припущення
Відносна маса прекурсора, т/т	m_i	0,9	Припущення
Вбудовані викиди прекурсора (вуглецемісткість однієї тонни самого прекурсора), т CO ₂ -екв/т	SEE_i	1	Припущення
Частка викидів прекурсора, яка «вбудувалась» у фінальний товар, т CO ₂ -екв/т	$m_i \times SEE_i$	0,900	—
Вбудовані викиди складного товару, т CO ₂ -екв/т	SEE_g	1,050	Рівняння 3.5
Бенчмарк для сталі, т CO ₂ -екв/т	BM_g	0,065	Табличне значення
Бенчмарк для прекурсора, т CO ₂ -екв/т	BM_i	0,295	Табличне значення
SEFA власного процесу	$SFA_{Proc\ g,y}$	0,063	Рівняння 3.3
SEFA для прекурсора	$SEFA_{i,y}$	0,288	Рівняння 3.3
SEFA складного товару	$SEFA_{g,y}$	0,322	Рівняння 3.4
Ефективна CBAM-база	$(SEE_g - SEFA_{g,y})$	0,728	Рівняння 3.2
Коригування на ціну вуглецю, фактично сплачену в Україні	$1 - CP_{third}/P_{CBAM}$	0,992	—
Кількість сертифікатів CBAM до здачі	N_{CBAM}	722,16	—
Фінансові зобов'язання за CBAM, євро	C_{CBAM}	54 422,08	Рівняння 3.1

Джерело: складено автором на основі власних розрахунків

За сценарієм повної верифікації викидів для виробництва сталі в електродуговій печі за використання прекурсора у вигляді DRI основне вуглецеве навантаження все ще формується за рахунок вбудованих викидів прекурсора. Модельна оцінка потенційного фінансового навантаження становить 54 422,08 євро, або 54,42 євро на тонну продукції.

Завершальним етапом у межах сценарію повної верифікації викидів є розрахунок CBAM-навантаження для технологічного маршруту scrap-EAF, який базується на використанні металобрухту як прекурсора та дає змогу оцінити конкурентні переваги електросталеплавильного виробництва (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Розрахунок CBAM-платежів за повної верифікації викидів для технологічного маршруту scrap-EAF

Найменування, од.	Позначення	Значення	Коментар
Вбудовані викиди процесу, т CO ₂ -екв/т	a_{eg}	0,1	Припущення
Відносна маса прекурсора, т/т	m_i	1	Припущення
Вбудовані викиди прекурсора (вуглецемісткість однієї тонни самого прекурсора), т CO ₂ -екв/т	SEE_i	0	—
Частка викидів прекурсора, яка «вбудувалась» у фінальний товар, т CO ₂ -екв/т	$m_i \times SEE_i$	0	—
Вбудовані викиди складного товару, т CO ₂ -екв/т	SEE_g	0,1	Рівняння 3.5
Бенчмарк для сталі, т CO ₂ -екв/т	BM_g	0,065	Табличне значення
Бенчмарк для прекурсора, т CO ₂ -екв/т	BM_i	0	Табличне значення
SEFA власного процесу	$SFA_{Proc\ g,y}$	0,063	Рівняння 3.3
SEFA для прекурсора	$SEFA_{i,y}$	0,000	Рівняння 3.3
SEFA складного товару	$SEFA_{g,y}$	0,063375	Рівняння 3.4
Ефективна CBAM-база	$(SEE_g - SEFA_{g,y})$	0,037	Рівняння 3.2
Коригування на ціну вуглецю, фактично сплачену в Україні	$1 - CP_{third}/P_{CBAM}$	0,992	—
Кількість сертифікатів CBAM до здачі	N_{CBAM}	36,34	—
Фінансові зобов'язання за CBAM, євро	C_{CBAM}	2 738,82	Рівняння 3.1

Джерело: складено автором на основі власних розрахунків

У випадку повної верифікації викидів та використання прекурсора у вигляді металобрухту фінансове навантаження CBAM складає 2 738,82 євро або 2,74 євро/т товару, що є найменшим значенням серед всіх інших платежів.

Другий підхід. Імпортёр використовує верифіковані фактичні значення тільки для власного виробничого процесу, дані по прекурсорі від постачальника відсутні. У зв'язку з відсутністю даних про фактичні верифіковані викиди українських підприємств, розрахунок передбачає використання припущень щодо значень вбудованих викидів процесу (ae_g) і відносної маси прекурсора (m_i). За таких умов проведено розрахунок CBAM-платежів для маршруту BF-OHF (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

Розрахунок CBAM-платежів за часткової верифікації викидів для технологічного маршруту BF-OHF

Найменування, од.	Позначення	Значення	Коментар
Вбудовані викиди процесу, т CO ₂ -екв/т	ae_g	0,6	Припущення
Відносна маса прекурсора, т/т	m_i	0,9	Припущення
Вбудовані викиди прекурсора (вуглецемісткість однієї тонни прекурсора), т CO ₂ -екв/т	SEE_i	2,39	Табличне значення
Частка викидів прекурсора, яка «вбудувалась» у фінальний товар, т CO ₂ -екв/т	$m_i \times SEE_i$	2,151	—
Вбудовані викиди складного товару, т CO ₂ -екв/т	SEE_g	2,751	Рівняння 3.5
Бенчмарк для сталі, т CO ₂ -екв/т	BM_g	0,188	Табличне значення
Бенчмарк для прекурсора, т CO ₂ -екв/т	BM_i	1,21	Табличне значення
SEFA власного процесу	$SFA_{Proc\ g,y}$	0,183	Рівняння 3.3
SEFA для прекурсора	$SEFA_{i,y}$	1,180	Рівняння 3.3
SEFA складного товару	$SEFA_{g,y}$	1,245	Рівняння 3.4
Ефективна CBAM-база	$(SEE_g - SEFA_{g,y})$	1,506	Рівняння 3.2
Коригування на ціну вуглецю, фактично сплачену в Україні	$1 - CP_{third}/P_{CBAM}$	0,992	—
Кількість сертифікатів CBAM до здачі	N_{CBAM}	1 494,33	—
Фінансові зобов'язання за CBAM, євро	C_{CBAM}	112 613,07	Рівняння 3.1

Джерело: складено автором на основі власних розрахунків

Відповідні бенчмарки для розрахунку взято з Імплементативного Регламенту (ЄС) 2025/2620, а показники вбудованих викидів прекурсора з Імплементативного регламенту (ЄС) 2025/2621 [175; 176]. Важливо відзначити, що європейська номенклатура не передбачає бенчмарків для мартенівського виробництва, оскільки в ЄС ця технологія давно ліквідована, тому для цілей моделювання до мартену застосовано ті ж самі нормативи безкоштовних квот, що й для конвертера. За неповної верифікації викидів для технологічного маршруту BF-ONF потенційне фінансове навантаження СВАМ складає 112 613,07 євро або 112,61 євро/т, що у порівнянні з першим підходом більше на 18 307,83 євро або на 18,31 євро/т. Наступним етапом здійснено розрахунок для технологічного маршруту BF-BOF (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Розрахунок СВАМ-платежів за часткової верифікації викидів для технологічного маршруту BF-BOF

Найменування, од.	Позначення	Значення	Коментар
Вбудовані викиди процесу, т CO ₂ -екв/т	a_{eg}	0,3	Припущення
Відносна маса прекурсора, т/т	m_i	0,9	Припущення
Вбудовані викиди прекурсора (вуглецемісткість однієї тонни прекурсора), т CO ₂ -екв/т	SEE_i	2,39	Табличне значення
Частка викидів прекурсора, яка «вбудувалась» у фінальний товар, т CO ₂ -екв/т	$m_i \times SEE_i$	2,151	—
Вбудовані викиди складного товару, т CO ₂ -екв/т	SEE_g	2,451	Рівняння 3.5
Бенчмарк для сталі, т CO ₂ -екв/т	BM_g	0,188	Табличне значення
Бенчмарк для прекурсора, т CO ₂ -екв/т	BM_i	1,21	Табличне значення
SEFA власного процесу	$SFA_{Proc\ g,y}$	0,183	Рівняння 3.3
SEFA для прекурсора	$SEFA_{i,y}$	1,180	Рівняння 3.3
SEFA складного товару	$SEFA_{g,y}$	1,245	Рівняння 3.4
Ефективна СВАМ-база	$(SEE_g - SEFA_{g,y})$	1,206	Рівняння 3.2
Коригування на ціну вуглецю, фактично сплачену в Україні	$1 - CP_{third}/P_{CBAM}$	0,992	—
Кількість сертифікатів СВАМ до здачі	N_{CBAM}	1 196,64	—
Фінансові зобов'язання за СВАМ, євро	C_{CBAM}	90 179,07	Рівняння 3.1

Джерело: складено автором на основі власних розрахунків

Для технологічного маршруту BF-BOF за умови неповної верифікації викидів потенційне фінансове навантаження СВАМ складає 90 179,07 євро або 90,18 євро/т. У порівнянні з першим підходом фінансове навантаження збільшилось на 18 307,83 євро або на 18,31 євро/т.

Наступним етапом оцінено вплив часткової верифікації викидів на технологічний маршрут DRI-EAF, що має нижчу вуглецемісткість, однак за відсутності верифікованих даних щодо прекурсора також може зазнавати додаткового СВАМ-навантаження (табл. 3.9).

Таблиця 3.9

Розрахунок СВАМ-платежів за часткової верифікації викидів для технологічного маршруту DRI-EAF

Найменування, од.	Позначення	Значення	Коментар
Вбудовані викиди процесу, т CO ₂ -екв/т	a_{eg}	0,15	Припущення
Відносна маса прекурсора, т/т	m_i	0,9	Припущення
Вбудовані викиди прекурсора (вуглецемісткість однієї тонни прекурсора), т CO ₂ -екв/т	SEE_i	1,325	Табличне значення
Частка викидів прекурсора, яка «вбудувалась» у фінальний товар, т CO ₂ -екв/т	$m_i \times SEE_i$	1,193	–
Вбудовані викиди складного товару, т CO ₂ -екв/т	SEE_g	1,343	Рівняння 3.5
Бенчмарк для сталі, т CO ₂ -екв/т	BM_g	0,065	Табличне значення
Бенчмарк для прекурсора, т CO ₂ -екв/т	BM_i	0,397	Табличне значення
SEFA власного процесу	$SFA_{Proc\ g,y}$	0,063	Рівняння 3.3
SEFA для прекурсора	$SEFA_{i,y}$	0,387	Рівняння 3.3
SEFA складного товару	$SEFA_{g,y}$	0,412	Рівняння 3.4
Ефективна СВАМ-база	$(\frac{SEE_g}{SEFA_{g,y}}) -$	0,931	Рівняння 3.2
Коригування на ціну вуглецю, фактично сплачену в Україні	$1 - CP_{third}/P_{CBAM}$	0,992	–
Кількість сертифікатів СВАМ до здачі	N_{CBAM}	923,59	–
Фінансові зобов'язання за СВАМ, євро	C_{CBAM}	69 602,05	Рівняння 3.1

Джерело: складено автором на основі власних розрахунків

Для даного маршруту при неповній верифікації викидів СВАМ-навантаження складає 69 602,05 євро або 69,60 євро/т. Порівняно з першим підходом фінансові СВАМ-зобов'язання зростають на 15 179,97 євро або 15,18 євро/т.

При частковій верифікації викидів за умови виплавки сталі за технологічним маршрутом scrap-EAF розрахунок фінансових зобов'язань за СВАМ не зміниться, оскільки в обох випадках внесок прекурсора (металобрухту) у викиди дорівнює нулю. Таким чином, в даному випадку фінансові зобов'язання будуть ідентичними – 2 738,82 євро або 2,74 євро/т.

Третій підхід. Фактичні викиди не можуть бути належно визначені або підтверджені ані для виробничого процесу сталі, ані для прекурсора. Якщо верифіковані фактичні дані повністю відсутні, імпортер при розрахунку фінансових зобов'язань за СВАМ має використовувати не тільки дефолтні значення для розрахунку вбудованих викидів, а й базовий маршрут з таблиці дефолтних значень. Для України цей маршрут визначений як доменна піч – конвертерне виробництво. Відтак для всіх чотирьох розглянутих у розділі технологічних маршрутів дефолтні викиди та бенчмарки будуть дефолтними як для BF-BOF, навіть якщо сталь була виплавлена через електродугову піч. Тобто, при декларуванні фактичних викидів, імпортер використовує бенчмарк, що відповідає реальному виробничому процесу, однак, при використанні дефолтних значень викидів, імпортер зобов'язаний використовувати бенчмарк для того самого виробничого маршруту, який вказаний для країни експорту у таблиці дефолтних значень. Більш того, для запобігання недооцінці викидів до дефолтного значення додається нормативна націнка (mark-up), яка становить 10% у 2026 році і поступово зростатиме до 20% у 2027 році та 30% з 2028 року, що створює жорсткий економічний стимул для проходження верифікації.

За таких умов використання дефолтних значень є найбільш несприятливим сценарієм для експорту української металопродукції до Європейського Союзу, оскільки воно нівелює потенційні переваги менш вуглецемістких технологічних маршрутів і призводить до суттєвого зростання фінансових СВАМ-зобов'язань (табл. 3.10).

Розрахунок СВАМ-платежів за умови повної відсутності верифікації викидів

Найменування, од.	Позначення	Значення	Коментар
Вбудовані викиди складного товару, т CO ₂ -екв/т	SEE _g	2,637	Табличне значення
Бенчмарк для сталі, т CO ₂ -екв/т	BM _g	1,364	Табличне значення
SEFA складного товару	SEFA _{g,y}	1,330	Рівняння 3.4
Ефективна СВАМ-база	(SEE _g – SEFA _{g,y})	1,307	–
Коригування на ціну вуглецю, фактично сплачену в Україні	–	1	Не передбачено
Кількість сертифікатів СВАМ до здачі	N _{СВАМ}	1 307,10	
Фінансові зобов'язання за СВАМ, євро	C _{СВАМ}	98 503,06	

Джерело: складено автором на основі власних розрахунків

Отже, у випадку відсутності верифікації викидів на українських металургійних підприємствах фінансові зобов'язання для імпортера складуть 98 503,06 євро або 98,50 євро/т. Оскільки дані розрахунки не залежать від фактично використаного виробничого маршруту, це фактично нівелює технологічні відмінності у емісії вуглецю між технологічними маршрутами, оскільки для всіх них формується однаковий рівень питомих фінансових зобов'язань СВАМ (рис. 3.3).

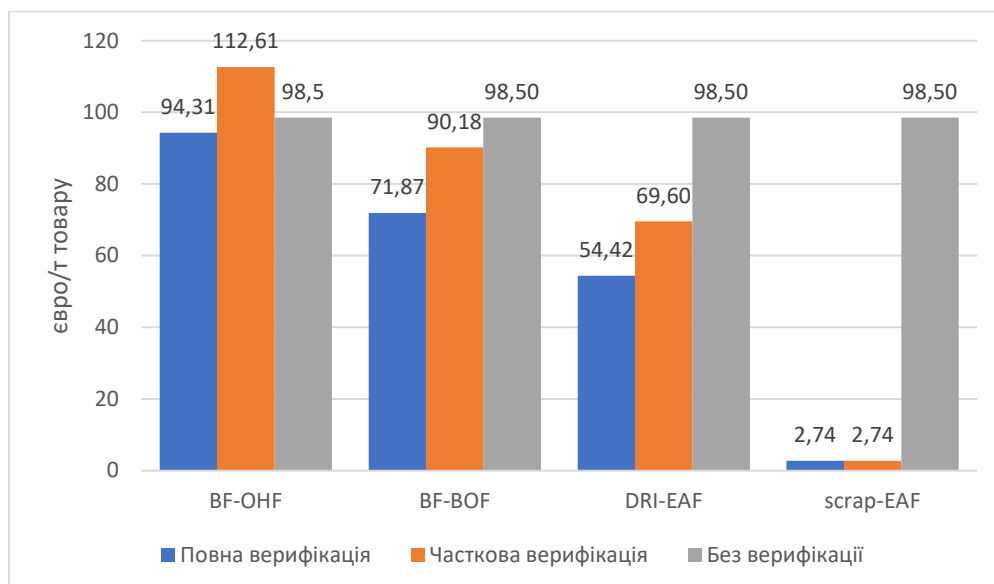


Рисунок 3.3. Потенційні СВАМ-платежі при імпорті сталі з України до ЄС (код УКТЗЕД 7207 11 11)

Джерело: складено автором на основі власних розрахунків

Технологічний маршрут BF-ONF демонструє найвище потенційне фінансове СВAM-навантаження серед усіх розглянутих сценаріїв. Більш того, за результатами розрахунків сума СВAM-платежів при частковій верифікації викидів перевищує суму платежів за неповної верифікації. Це пояснюється високим рівнем емісії викидів вуглецю за цього технологічного маршруту, моральною та технологічною застарілістю процесу плавки. Мартенівське виробництво є найбільш неконкурентоспроможним з погляду СВAM, оскільки поєднує технологічну застарілість, високу енергоінтенсивність і значний рівень викидів CO₂.

Технологічний маршрут BF-BOF має нижче СВAM-навантаження порівняно з мартенівським виробництвом, однак не суттєво. За повної верифікації викидів потенційне фінансове навантаження становить 71,87 євро/т, за часткової – 90,18 євро/т, а за відсутності верифікації – 98,50 євро/т. Отже, для цього маршруту простежується чітка залежність: чим нижчий рівень достовірності даних про фактичні викиди, тим вищим стає потенційний СВAM-платіж. Навіть для традиційного доменно-конвертерного виробництва наявність верифікованих даних може помітно зменшити фінансове СВAM-навантаження на імпортера.

Технологічний маршрут DRI-EAF займає проміжне положення. За даного маршруту дані демонструють ідентичну тенденцію – чим більше викидів на виробничих потужностях є верифікованими, тим меншим стає потенційний СВAM-платіж для імпортера. Водночас використання електродугової печі саме по собі не гарантує мінімальні викиди, якщо у виробничому ланцюгу використовується такий вуглецемісткий прекурсор, як залізо прямого відновлення. Порівняно з попередніми маршрутами цей маршрут демонструє нижчі показники, що підтверджує його потенціал як перехідної технології декарбонізації металургії з перспективою використання «зеленого» водню замість природного газу у технологічному процесі і мінімізації емісії вуглецю.

Технологічний маршрут scrap-EAF очікувано має найменші СВAM-платежі серед інших технологічних маршрутів. За повної та неповної верифікації фінансове СВAM-навантаження становить лише 2,74 євро/т, що є найнижчим показником серед усіх. Це пояснюється не тільки мінімальною емісією електродугової печі, але й

відсутністю вуглецевого прекурсора нижче по ланцюгу постачання. Водночас саме для цього маршруту найбільш різко проявляється негативний ефект відсутності верифікації викидів, адже за її відсутності до розрахунку застосовується дефолтне значення технологічного маршруту доменна піч-конвертер і СВАМ-навантаження зростає до 98,50 євро/т. Відтак для даного технологічного маршруту питання верифікації викидів стає ключовим у збереженні високої конкурентоспроможності у зовнішньоекономічному вимірі. В цьому контексті верифікація викидів акредитованими суб'єктами є не лише елементом звітності, а й важливим інструментом збереження конкурентних переваг на зовнішніх ринках.

Що стосується прогнозування фінансових зобов'язань за СВАМ – вони будуть зростати кожного року, оскільки СВАМ-фактор ($СВАМ_y$) кожного року зменшуватиметься, поки не досягне нульового значення у 2034 році. Збільшуватиметься і дефолтне значення для вбудованих викидів складного товару (SEE_g) при розрахунку платежів за відсутності верифікації викидів. Розрахунки до 2034 року, наведені у Додатку Р, свідчать про те, що в цінах першого кварталу 2026 року СВАМ-платежі в 2034 році можуть зрости у 1,4-2,7 рази у порівнянні з 2026 роком залежно від технологічного маршруту та ступеня верифікації викидів. Водночас найбільш сприятливим з точки зору фінансового навантаження СВАМ залишається низьковуглецевий технологічний маршрут scrap-EAF.

Варто підкреслити, що вищенаведені розрахунки містять ряд обмежень та припущень. По-перше, через відсутність фактичних верифікованих даних певні значення використовуються як гіпотетичні параметри для моделювання. По-друге, міжсекторальний корекційний коефіцієнт ($CSCF_y$) використано як модельне припущення на основі попередніх років, оскільки на 2026 рік даний показник ще не опублікований. По-третє, для врахування екологічного податку, сплаченого в Україні, потрібно довести, що він фактично сплачений, документально підтверджений, не компенсований і відповідає вимогам ЄС. Крім того, розрахунок проведено для ціни СВАМ-сертифіката ($P_{СВАМ}$) у першому кварталі 2026 року (75,36 євро), тобто при імпорті товару в наступний період ціна СВАМ-сертифіката може суттєво змінитись, що змінить і фінансове навантаження на імпортера, адже кожна квартальна ціна 2026

року застосовується до продажу сертифікатів на імпортовані у відповідному кварталі товари.

Проведене моделювання свідчить, що для імпорту 1000 т української сталі за CN-кодом 7207 11 11, потенційне фінансове СВAM-навантаження може коливатися в широкому діапазоні залежно від технологічного маршруту виробництва, використаної сировини (прекурсора), а також рівня верифікації викидів. Отримані результати демонструють діапазон регуляторної чутливості: що слабше підтверджені фактичні викиди і що більше елементів ланцюга постачання використовують дефолтні значення, то вищим може бути потенційне фінансове навантаження для імпортера.

Отже, ключовим чинником конкурентоспроможності української металургійної продукції на ринку ЄС у контексті СВAM стає не тільки фактичне скорочення викидів, а й здатність виробників забезпечити моніторинг, документування, верифікацію та простежуваність вбудованих викидів у межах усього виробничого upstream ланцюга. Для електросталеплавильного виробництва це означає, що декарбонізаційний потенціал електродугової печі може бути повністю реалізований лише тоді, коли верифіковані принаймні викиди на останньому етапі виробництва.

Проведений аналіз свідчить, що формування зеленої конкурентоспроможності металургійної індустрії України визначається поєднанням ресурсних, технологічних, енергетичних, зовнішньоекономічних та інституційних передумов, які формують потенціал низьковуглецевої модернізації галузі.

3.2. Моделювання сценаріїв розвитку металургійного сектору України з урахуванням кліматичних обмежень

Починаючи з 2022 року український металургійний сектор зіткнувся з низкою екзистенційних викликів. З одного боку, це виклики, пов'язані з повномасштабним вторгненням, а саме втрата контролю над виробничими активами та/або їх руйнування, перебої з постачанням електроенергії та необхідної сировини, логістичні

складнощі, дефіцит персоналу та зношеність основних фондів. З іншого боку, це виклики, пов'язані зі зростанням глобальних вимог до мінімізації вуглецевого сліду, зокрема, запровадження з боку ЄС такого інструменту екологічної політики, як CBAM.

В умовах такої структурної невизначеності для оцінювання довгострокових перспектив розвитку галузі недостатньо спиратися виключно на динаміку виробничих показників. Натомість доцільним є застосування комплексного показника, що успішно інтегрує шість взаємопов'язаних вимірів: виробничий, зовнішньоекономічний, екологічний, регуляторний, енергетичний та фінансово-інвестиційний. Така логіка відповідає визначенню металургійної індустрії як базової галузі промисловості, для якої просте відновлення виробництва без технологічної модернізації може супроводжуватися збереженням високої вуглецемісткості та погіршенням умов доступу до зовнішніх ринків. Водночас акцент спрямовується виключно на скорочення викидів без урахування виробничої та експортної динаміки, що не зможе забезпечити економічну життєздатність трансформації галузі. Фінансово-інвестиційний вимір є важливим, оскільки модернізація металургійної галузі потребує значних довгострокових капіталовкладень, що визначають реальну спроможність підприємств до модернізації.

З огляду на це, у межах даного дослідження вперше розроблено методичний підхід до оцінювання декарбонізаційної стійкості металургійної індустрії України. Систематизація детермінантів модернізації металургійної індустрії, проведена у підрозділі 2.3, стала основою для системи показників інтегрального індексу декарбонізаційної стійкості.

На першому етапі виявлені детермінанти модернізації трансформуються у конкретні вимірювані індикатори (виміри) розвитку металургійного сектору України. На другому етапі ці індикатори шляхом математичного нормування відносно базового року агрегуються в єдиний інтегральний індекс декарбонізаційної стійкості. На фінальному етапі розрахована динаміка індексу стає базисом для моделювання сценарних траєкторій, що дає змогу кількісно оцінити та порівняти різні варіанти розвитку галузі в контексті кліматичних обмежень. Відповідно до цього підходу,

інтегральний індекс декарбонізаційної стійкості металургійної індустрії розраховується за формулою:

$$ISD_t = w_1 \times \frac{Q_t}{Q_{base}} + w_2 \times \frac{X_t}{X_{base}} + w_3 \times \frac{CI_{base}}{CI_t} + w_4 \times \frac{C_{base}}{C_t} + w_5 \times \frac{ES_t}{ES_{base}} + w_6 \times \frac{FIC_t}{FIC_{base}} \quad (3.6)$$

де ISD_t – інтегральний індекс декарбонізаційної стійкості металургійної індустрії;

Q_t – обсяг виробництва металопродукції у прогнозованому році, млн т;

Q_{base} – обсяг виробництва у базовому році, млн т;

X_t – обсяг експорту металопродукції у прогнозованому році, млн т;

X_{base} – обсяг експорту в базовому році, млн т;

CI_t – вуглецева інтенсивність виробництва у прогнозованому році, т CO_2 -екв/т;

CI_{base} – вуглецева інтенсивність виробництва в базовому році, т CO_2 -екв/т;

C_t – витрати на вуглецеве регулювання у прогнозованому році, євро/т;

C_{base} – витрати на вуглецеве регулювання в базовому році, євро/т;

ES_t – частка «зеленої» електроенергії у загальному енергобалансі у прогнозованому році;

ES_{base} – частка «зеленої» електроенергії у загальному енергобалансі у базовому році;

FIC_t – фінансово-інвестиційна спроможність модернізації металургійної індустрії у прогнозованому році;

FIC_{base} – фінансово-інвестиційна спроможність модернізації металургійної індустрії у базовому році;

$w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6$ – параметри, що визначають пріоритетність (вагу) кожного з шести вимірів у загальній моделі.

Система показників моделі побудована на принципі нормування змінних відносно базового року. Такий підхід забезпечує порівнянність різнорідних параметрів у часі, оскільки обсяг виробництва, обсяг експорту, вуглецева інтенсивність, регуляторні витрати та частка «зеленої» електроенергії мають різні одиниці виміру й не можуть бути безпосередньо підсумовані. Нормування перетворює кожний показник на безрозмірну відносну величину для їх коректної агрегації в єдиний інтегральний індекс, що дозволяє застосовувати модель для різних часових горизонтів різних альтернативних сценаріїв за однаковою логікою оцінювання.

Варто наголосити, що розроблений інтегральний індекс декарбонізаційної стійкості концептуально виходить за межі вузького розуміння декарбонізації як

виключно процесу скорочення емісії вуглецю. Спираючись на складові індексу він фактично стає інструментом комплексного оцінювання передумов формування зеленої конкурентоспроможності металургійної індустрії. Зокрема, він математично операціоналізує теоретичні положення концепції зеленої конкурентоспроможності, досліджені у підрозділі 1.2, через інтеграцію шести вимірів модернізації.

Виробничий вимір (Q_t/Q_{base}) характеризує зміну обсягу виробництва сталі; його економічний зміст полягає у відображенні здатності галузі до відновлення та нарощування виробничого потенціалу. У контексті сценарного моделювання обсяг виробництва є матеріальною основою розвитку, базовим виробничим індикатором, що визначає масштаб галузі в кожному з прогнозованих варіантів розвитку. За агрегатним складом (Додаток II) підприємства мають різну разову сталеплавильну місткість, водночас ці показники не є тотожними річній виробничій потужності, оскільки остання визначається не лише місткістю агрегатів, а й інтенсивністю їх використання, тривалістю плавки, ремонтними простоями, забезпеченням сировиною та енергоресурсами.

Експортний вимір (X_t/X_{base}) відображає зміну обсягу експорту металопродукції. Українська металургія зберігає значну експортну залежність, тому здатність галузі зберігати і нарощувати присутність на зовнішніх ринках є критичним чинником її економічної стійкості. Включення показника до моделі дає змогу оцінити, чи супроводжується зміна обсягів виробництва збереженням або посиленням конкурентних позицій на зовнішніх ринках.

Екологічний вимір (CI_{base}/CI_t) демонструє зміну вуглецевої інтенсивності (вуглецемісткості) виробництва, тобто наскільки в середньому зросла або зменшилася кількість викидів, пов'язаних із виробництвом тонни сталі. У формулі цей параметр використовується в оберненій формі, оскільки для декарбонізаційної стійкості позитивним є не зростання, а зниження вуглецевої інтенсивності. Для кожного з технологічних маршрутів взято середні значення з табл. 1.4. Середня вуглецева інтенсивність виробництва у відповідному році розраховується як зважене середнє значення: сума добутків вуглецевої інтенсивності кожного технологічного маршруту на обсяг сталі, виробленої за цим маршрутом, ділиться на загальний обсяг

виробництва сталі у відповідному році. Таким чином, екологічний вимір дозволяє врахувати не просто зміну абсолютних обсягів виробництва, а й зміну його технологічної структури, оскільки збільшення частки менш вуглецемістких маршрутів знижує середню вуглецеву інтенсивність галузі та позитивно впливає на інтегральний індекс декарбонізаційної стійкості.

Регуляторний вимір (C_{base}/C_t) відображає зміну фінансового навантаження, зумовленого вуглецевим регулюванням. До таких витрат належать платежі, пов'язані з вуглецевим ціноутворенням як в Україні, так і за кордоном. Інвертоване конструювання показника інтерпретується тим, що зростання регуляторних витрат означає додаткове навантаження на галузь. Оскільки фінансові зобов'язання за СВМ залежать від обраного технологічного маршруту виробництва сталі, в модель закладено припущення, що технологічна структура експорту повністю дзеркально відповідає технологічній структурі загального виробництва. Відтак якщо у 2024 році на українських металургійних підприємствах в мартенівських печах вироблено 2 891 тис. т сталі (38%), у кисневих конвертерах 3 751 тис. т сталі (50%), а електросталеплавильне виробництво склало 934 тис. т сталі (12%), показник експорту у 4 782 тис. т повністю відповідає технологічній структурі виробництва. Іншими словами, вуглецева інтенсивність експорту в ЄС відповідає вуглецевій інтенсивності виробництва сталі в Україні.

Енергетичний вимір (ES_t/ES_{base}) демонструє зміну частки «зеленої» електроенергії у загальному енергобалансі країни. Його включення до моделі відображає одну з ключових ролей енергетичної трансформації у декарбонізації металургії, особливо для електросталеплавильного виробництва. Зростання частки низьковуглецевої електроенергії зменшує непрямі викиди, і створює передумови для впровадження технологій, що потребують чистої електроенергії (виробництво «зеленого» водню). Водночас варто відзначити що відновлення та розбудова нової енергетичної інфраструктури передбачає не тільки встановлення нових сонячних та вітрових потужностей, але й розподіленої газової генерації, що не є «зеленою», але критично необхідна для надійного покриття піків споживання та подолання дефіциту електроенергії. Газова генерація зможе забезпечити життєво важливу гнучкість

системи, дозволяючи швидко балансувати перепади попиту та безпечно інтегрувати в мережу нестабільні відновлювані джерела енергії.

Фінансово-інвестиційний вимір (FIC_t/FIC_{base}) демонструє спроможність залучати та використовувати фінансові та інвестиційні ресурси для модернізації виробництва. Його включення до моделі зумовлене тим, що перехід до низьковуглецевих технологічних маршрутів та збільшення генерації з ВДЕ потребують значних довгострокових капіталовкладень. З огляду на обмеженість та невизначеність прогностичних даних щодо майбутніх інвестицій у металургійну галузь України фінансово-інвестиційний вимір у моделі задано експертно за умовною шкалою, де:

- значення 0,25 означає низький рівень спроможності. Фінансування має переважно підтримувальний характер, спрямовується на поточні ремонти, збереження базової операційної діяльності та усунення найбільш критичних виробничих проблем;

- значення 0,50 відповідає помірному рівню спроможності. Можливе фінансування окремих проєктів модернізації, однак такі інвестиції мають фрагментарний характер і не забезпечують системної зміни виробничо-технологічної структури;

- значення 0,75 відображає високий рівень спроможності. Активізація капіталовкладень у модернізацію та поступовий розвиток низьковуглецевих технологічних маршрутів. Водночас такі інвестиції ще не означають повної технологічної трансформації галузі;

- значення 1,00 означає дуже високий рівень спроможності. Інвестиції набувають системного й довгострокового характеру, спрямовуються на глибоку модернізацію металургійного сектору, розвиток ВДЕ та відповідної інфраструктури.

Вагові коефіцієнти w_1-w_6 визначають відносну значущість кожного з п'яти вимірів у структурі інтегрального індексу. Їхня ключова роль полягає у відображенні сценарних пріоритетів розвитку металургійної галузі. Для забезпечення кращої інтерпретованості ваги задано як невід'ємні коефіцієнти, сума яких дорівнює одиниці.

Така гнучкість конструкції забезпечує широку аналітичну застосовність моделі для різних прогнозованих сценаріїв.

Вагові коефіцієнти показників авторського інтегрального індексу декарбонізаційної стійкості визначено із застосуванням експертно-аналітичного підходу на основі авторської систематизації детермінантів модернізації металургійної індустрії. Величина ваги кожної групи показників відображає її стратегічну роль у забезпеченні декарбонізаційної стійкості галузі, визначену за результатами теоретичного узагальнення, компаративного аналізу світового досвіду низьковуглецевої модернізації металургії та оцінювання сучасних викликів міжнародного кліматичного регулювання. Під час встановлення ваг також враховано рекомендації провідних міжнародних організацій (ОЕСР, WorldSteel, MEA, Європейської Комісії), результати аналізу сучасних наукових публікацій і практичну значущість окремих груп детермінантів для забезпечення міжнародної конкурентоспроможності металургійного сектору в умовах низьковуглецевого переходу. Вагові коефіцієнти вимірів визначено наступним чином: виробничий вимір – 0,209; екологічний – 0,201; енергетичний – 0,193; зовнішньоекономічний – 0,151; регуляторний – 0,145; фінансово-інвестиційний – 0,101.

Збільшення обсягів виробництва і експорту, частки «зеленої» електроенергії в енергобалансі, а також рівня фінансово-інвестиційної спроможності підвищують значення інтегрального індексу у моделі, що відображає покращення загального стану галузі з позицій виробничої активності, ринкової присутності та декарбонізації енергетичної сфери, що опосередковано впливає на всі сфери промисловості, зокрема, на металургію. Водночас збільшення показників вуглецемісткості і регуляторного фінансового навантаження чинять негативний тиск на значення інтегрального індексу. Зростання цих двох показників в моделі інтерпретується як зменшення умов для розвитку промисловості незалежно від того, позитивною чи негативною є динаміка експорту або виробництва сталі. Порівняльний аналіз сценаріїв здійснюється шляхом зіставлення значень інтегрального індексу, розрахованих при різних наборах вхідних параметрів. Сценарій із вищим значенням індексу свідчить про більш збалансований та стійкий стан галузі, однак, принципово важливим є не лише порівняння

абсолютних значень інтегрального індексу між сценаріями, а й аналіз внеску окремих складових. Розглянемо 4 основні сценарії моделювання модернізації металургійної індустрії України до 2034 року: інерційний, адаптаційний, трансформаційний та воєнно-відновлювальний. Базовим роком моделювання визначено 2024 рік.

Інерційний сценарій. Передбачає збереження поточних технологічних маршрутів виробництва із переважанням традиційних вуглецемістких маршрутів BF-BOF та BF-ONF. У межах цього сценарію не відбувається модернізації виробничих потужностей, не реалізуються інвестиційні проекти з відкриття нового низьковуглецевого виробництва, відтак екологічна трансформація галузі має відкладений характер. Важливим зовнішнім обмеженням є повноцінне запровадження СВAM з 2026 року. Сценарій передбачає відсутність в українських виробників належної системи моніторингу, звітності та верифікації викидів, що змусить імпортерів використовувати дефолтні значення при розрахунку фінансових зобов'язань СВAM. Це суттєво погіршить цінову конкурентоспроможність на ринку ЄС, а також призведе до відмови від української металургійної продукції з боку імпортерів країн ЄС. За таких умов українські експортери стають надзвичайно вразливими до такого регуляторного обмеження, і втратять частину ринку ЄС та будуть змушені постачати продукцію з нижчою маржинальністю.

Внутрішні умови інерційного сценарію також залишаються несприятливими. Активна фаза війни триває, ризики руйнування виробничої, енергетичної та логістичної інфраструктури зберігаються, а масштабне післявоєнне відновлення та приплив інвестицій є дуже обмеженими. У результаті внутрішнє споживання металопродукції не зростає, а виробництво скорочується під впливом одночасного тиску з боку недостатнього внутрішнього попиту, високих енергетичних витрат, обмеженого доступу до капіталу та погіршення умов експорту. За цих умов підприємства можуть намагатися частково переорієнтовувати експортні потоки на ринки Африки, Азії, Туреччини та європейських країн, що не входять до ЄС. Водночас така переорієнтація не компенсує повною мірою втрату або звуження доступу до ринку ЄС, оскільки альтернативні ринки характеризуються вищою конкуренцією, нижчою платоспроможністю окремих покупців та зростанням логістичних витрат.

Тому диверсифікація експорту в межах інерційного сценарію має переважно вимушений, а не трансформаційний характер.

В енергетичній сфері інерційний сценарій передбачає певне нарощування маневреної газової генерації, а також поступове введення окремих сонячних і вітрових електростанцій. Проте такі зміни мають обмежений масштаб і спрямовані переважно на підтримання стійкості енергосистеми в умовах воєнних руйнувань, а не на глибоку декарбонізацію енергетики. Українська енергосистема потребує значного обсягу нових потужностей, включно з гнучкою газовою генерацією, системами накопичення енергії та ВДЕ, однак у межах інерційного сценарію темпи їх розгортання залишаються недостатніми для суттєвої зміни енергобалансу. Аналіз складових інтегрального індексу свідчить, що в межах інерційного сценарію зниження декарбонізаційної стійкості металургійної індустрії України має комплексний характер (рис. 3.4).

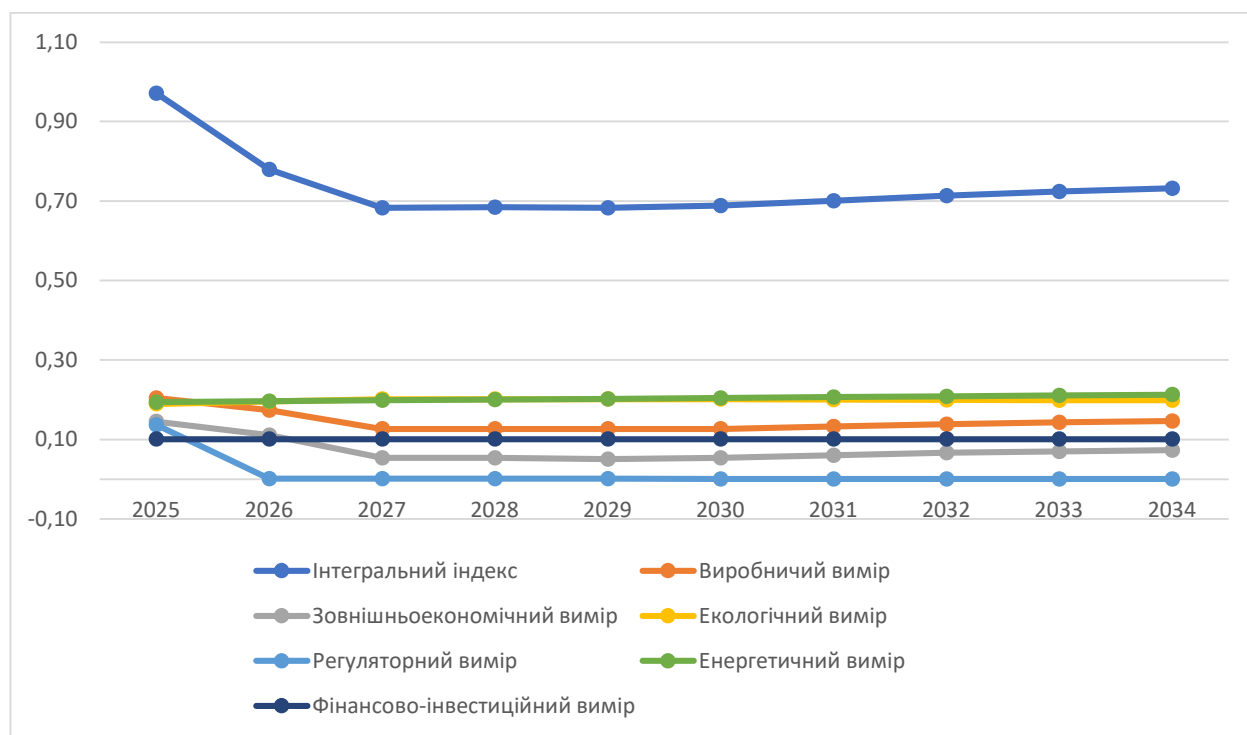


Рисунок 3.4. Динаміка інтегрального індексу за інерційним сценарієм

Джерело: додаток С

Найбільш негативний вплив на динаміку інтегрального індексу справляють виробничий, зовнішньоекономічний та регуляторний виміри, причому вони тісно пов'язані, оскільки падіння експорту та виробництва відбувається з регуляторних

причин – запровадження інструмента кліматичної політики СВAM у ЄС. Екологічний вимір, на відміну від інших, не є головним джерелом падіння інтегрального індексу, оскільки коливання середньої вуглецемісткості виробництва в межах інерційного сценарію незначні. Це пояснюється збереженням домінування традиційних вуглецемістких маршрутів і відсутністю масштабного переходу до електросталеплавильного виробництва. Відтак екологічний вимір радше фіксує структурну інерційність технологічної бази, ніж демонструє якісне поліпшення вуглецевого профілю галузі. Найбільш різке погіршення спостерігається за регуляторним виміром, що пов'язано із включенням до моделі СВAM-навантаження з 2026 року. Це відображає посилення впливу кліматичного регулювання на конкурентоспроможність української металургійної продукції за умов відсутності належної модернізації та верифікації викидів. Енергетичний вимір має помірно позитивну, але недостатню компенсаторну роль. Поступове збільшення частки ВДЕ та окреме нарощування газової генерації певною мірою підтримують стійкість енергетичної складової, однак ці зміни не здатні компенсувати негативний вплив скорочення виробництва, втрати експортних позицій та зростання регуляторного навантаження. Динаміка інтегрального індексу в інерційному сценарії свідчить не про тимчасове погіршення окремих параметрів, а про системне зниження декарбонізаційної стійкості галузі за умов збереження наявної технологічної та експортної моделі розвитку. Фінансово-інвестиційний вимір залишається незмінним, оскільки у межах інерційного сценарію відсутні інвестиції у модернізацію галузі, а все фінансування спрямовується на поточні ремонти, збереження базової операційної діяльності.

Адаптаційний сценарій. Передбачає поступове пристосування металургійної індустрії України до посилення кліматичного регулювання, однак, без радикальної зміни технологічних маршрутів виробництва сталі. На відміну від інерційного сценарію, підприємства не залишаються пасивними щодо нових регуляторних вимог, однак темпи модернізації мають обмежений і поетапний характер. Інвестиції у модернізацію поступово набувають фрагментарного характеру, але системно не змінюють виробничої структури галузі.

У 2026 році регуляторний вплив СВАМ залишається значним, оскільки для української металургійної продукції застосовуються дефолтні значення викидів. Це зумовлює підвищення фінансового навантаження на імпортерів і тимчасове погіршення конкурентоспроможності на ринку ЄС. Водночас сценарій передбачає, що вже з 2027 року українські підприємства проводять верифікацію викидів, насамперед щодо власних виробничих процесів, що дозволяє частково зменшити фінансові СВАМ-зобов'язання та уникнути застосування найбільш несприятливих дефолтних значень. Починаючи з 2029 року, адаптаційний сценарій враховує перехід до повної верифікації викидів, що створює передумови для поступового відновлення експорту до ЄС після 2029 року.

У виробничому вимірі адаптаційний сценарій передбачає короткострокове скорочення виробництва сталі, однак, на відміну від інерційного сценарію, після початкового спаду очікується поступове відновлення виробництва завдяки частковій адаптації підприємств до нових регуляторних вимог. Технологічна структура виробництва змінюється поступово. У межах сценарію передбачається обмежене впровадження виробництва сталі за технологічним маршрутом DRI-EAF, однак традиційні технологічні маршрути продовжують зберігати важливе значення. Також зростає роль внутрішнього ринку як додаткового джерела підтримки виробництва.

У зовнішньоекономічному вимірі адаптаційний сценарій передбачає часткове відновлення конкурентних позицій українського експорту після 2029 року. Запровадження верифікації викидів дозволяє зменшити СВАМ-навантаження порівняно з варіантом використання дефолтних значень, однак, значне фінансове навантаження зберігається. Навіть за умов часткового зниження СВАМ-навантаження українська металургія не зможе повністю відновити позиції на європейському ринку. Водночас зростає роль експорту до інших країн, що свідчить про часткову диверсифікацію зовнішніх поставок.

В екологічному вимірі адаптаційний сценарій передбачає помірне зниження середньої вуглецевої інтенсивності виробництва сталі. Це зниження не є радикальним, оскільки технологічна структура галузі змінюється поступово, а значна частина виробництва й надалі здійснюється на основі традиційних вуглецемістких

маршрутів, зокрема застарілим мартенівським способом. Проте порівняно з інерційним сценарієм адаптаційна траєкторія забезпечує помітніше скорочення викидів на тонну продукції за рахунок обмеженого впровадження менш вуглецемістких технологій.

В енергетичній сфері адаптаційний сценарій передбачає активніше нарощування потужностей ВДЕ, розвиток маневреної газової генерації та поступове посилення ролі низьковуглецевої електроенергії в енергобалансі. На відміну від інерційного сценарію, енергетичні зміни мають не лише стабілізаційний, а й обмежено модернізаційний характер. Водночас їх масштаб залишається недостатнім для повної декарбонізації енергетичної галузі України. Динаміка інтегрального індексу в адаптаційному сценарії має хвилеподібний характер (рис. 3.5).

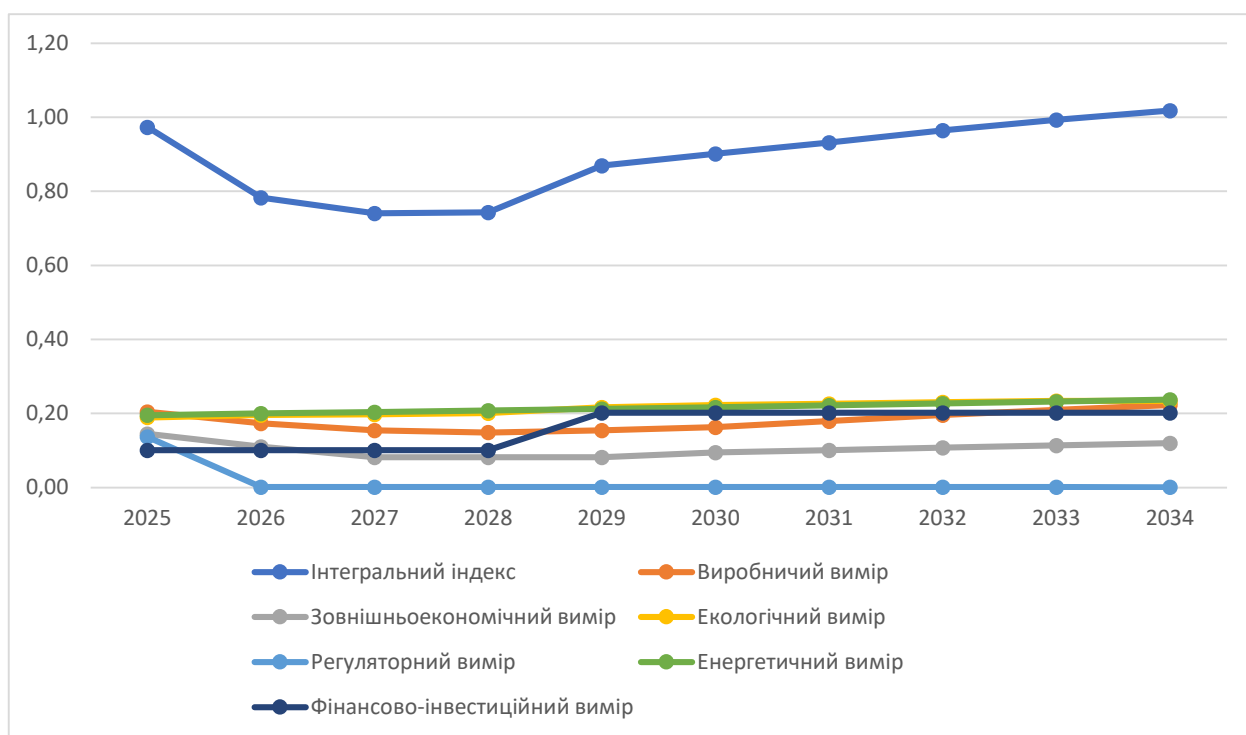


Рисунок 3.5. Динаміка інтегрального індексу за адаптаційним сценарієм

Джерело: додаток Т

Різке зниження у 2026–2028 роках відбувається під впливом скорочення виробництва та падіння експорту, а після 2029 року поступово відновлюється завдяки зростанню виробництва, помірному зниженню середньої вуглецевої інтенсивності та збільшенню частки ВДЕ в енергетичному балансі. Фінансове СВАН-навантаження після 2026 року залишається найбільш проблемним, оскільки після верифікації

викидів зберігається суттєвий фінансовий регуляторний тиск на галузь. Відтак адаптаційний сценарій відображає проміжну траєкторію розвитку між інерційним та трансформаційним сценаріями. Його ключовою особливістю є часткове поліпшення екологічних та енергетичних параметрів без радикальної технологічної перебудови металургійної індустрії. Такий сценарій дозволяє стабілізувати виробництво й експорт, однак не забезпечує достатньо глибокої декарбонізації для формування довгострокових конкурентних переваг на ринку ЄС та досягнення цілей кліматичної нейтральності.

Трансформаційний сценарій. Передбачає структурну технологічну модернізацію, орієнтовану на зниження вуглецевої інтенсивності виробництва та збереження доступу до ринку ЄС. У межах сценарію як регуляторне припущення розглядається можливість тимчасового звільнення української продукції з-під дії СВМ до 2029 року відповідно до пункту 7 статті 30 Регламенту (ЄС) 2023/956, основною підставою для застосування якого є повномасштабне російське вторгнення та спричинені ним руйнівні наслідки для економічної та промислової інфраструктури. Передбачається, що впродовж цього часу українські виробники проведуть верифікацію емісії CO₂ на своїх виробничих потужностях, що дозволить в подальшому мінімізувати регуляторне фінансове навантаження СВМ під час експорту до ЄС.

Зовнішньоекономічний вимір виражений у зростанні експортного потенціалу на європейському ринку. За умов зменшення вуглецевого сліду продукції, верифікації викидів і переходу до менш вуглецемістких технологій українські товаровиробники металопродукції зможуть не тільки зберегти, але й наростити присутність на європейському ринку після завершення періоду регуляторного пом'якшення.

Виробничий та екологічний виміри трансформаційного сценарію полягають у поступовому виведенні з експлуатації мартенівського виробництва як технологічно застарілого та найбільш вуглецемісткого технологічного маршруту, нарощуванні виробництва сталі в електродугових печах із використанням металобрухту, а також запуску технологічного маршруту DRI–EAF із потенціалом подальшого переходу від природного газу до «зеленого» водню як відновника. Конвертерний маршрут при

цьому зберігає певну частку виробництва, однак його частка у структурі виробництва поступово зменшується внаслідок зростання обсягу виплавки на низьковуглецевих технологічних маршрутах.

Фінансово-інвестиційний вимір у трансформаційному сценарії поступово набуває системного й довгострокового характеру. Фінансування глибокої модернізації металургійного сектору стає можливим зокрема завдяки запровадженню власної СТВ, кошти від функціонування якої спрямовуються на перехід до низьковуглецевих маршрутів виробництва. Окремим фактором стає доступ до декарбонізаційних фондів ЄС в рамках активних євроінтеграційних процесів.

Енергетична складова сценарію передбачає збільшення частки СЕС, ВЕС, ГЕС та інших низьковуглецевих джерел електроенергії, а також розвиток маневреної газової генерації як перехідного інструменту балансування енергосистеми. Окремо слід підкреслити, що зростання газової генерації у цьому сценарії не розглядається як відхід від декарбонізації, а виконує перехідну функцію. В умовах пошкодження енергетичної інфраструктури, нестабільності навантаження та збільшення частки ВДЕ газові потужності виступають інструментом балансування енергосистеми і підвищення її гнучкості. Зростання частки ВДЕ у енергобалансі сформує енергетичні умови, необхідні для розвитку електросталеплавильного виробництва, зменшення вбудованих викидів та виробництва зеленого водню.

Трансформаційний сценарій демонструє найоптимальнішу динаміку для металургійного сектору України, що виражається у позитивній динаміці за всіма вимірами окрім регуляторного (рис. 3.6).

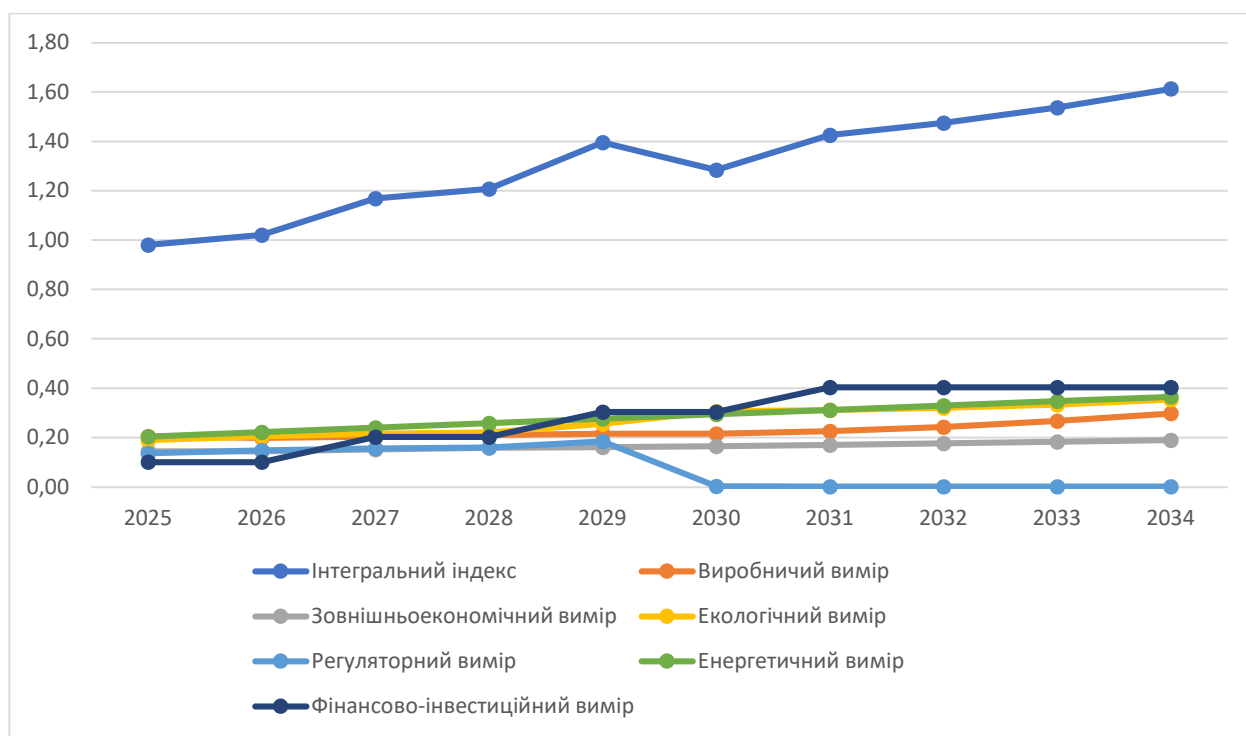


Рисунок 3.6. Динаміка інтегрального індексу за трансформаційним сценарієм

Джерело: додаток У

Виробничий вимір демонструє поступове посилення промислової бази після воєнного спаду. Нормований показник зростає, що відображає збільшення загального виробництва сталі та перехід від простого відновлення до розширення виробничого потенціалу. Зовнішньоекономічний вимір показує зростання експортної спроможності, насамперед за рахунок ринку ЄС. При цьому важливо підкреслити, що експорт до ЄС у моделі не падає у 2026 р., а поступово зростає. Екологічний вимір є одним із найсильніших елементів сценарію. Його значення постійно зростає, що пояснюється зміною структури виробництва: закриттям мартенівських печей, встановлення DRI–EAF потужностей, збільшення виплавки за технологічним маршрутом scrap–EAF. Регуляторний вимір має найбільш різку динаміку. До 2029 року він залишається відносно високим через припущення про тимчасове регуляторне пом'якшення СВМ. Однак у 2030 р. його значення різко падає, що відображає появу фінансових зобов'язань за СВМ. Саме цей вимір пояснює падіння інтегрального індексу у 2030 році. Енергетичний вимір демонструє сталу позитивну динаміку, що пов'язано зі збільшенням частки ВДЕ у виробництві електроенергії.

Інтегральний індекс декарбонізаційної стійкості демонструє позитивну динаміку. До 2029 року його значення зростає, обсяг виробництва та експорт до ЄС зростають, середня вуглецева інтенсивність зменшується, а регуляторний вимір залишається сприятливим. У 2030 році індекс знижується, однак, таке падіння не означає провал трансформації, а відображає регуляторний шок, пов'язаний із початком фінансових зобов'язань за СВМ. Цей шок максимально пом'якшений за рахунок збільшення виробництва та експорту низьковуглецевої сталі, а також проведеної верифікації викидів на виробничих потужностях для запобігання застосуванню дефолтних значень у розрахунку фінансових зобов'язань СВМ. Після 2030 р. інтегральний індекс знову переходить до зростання, тобто позитивний ефект технологічної, екологічної та енергетичної модернізації поступово компенсує негативний вплив СВМ. Таким чином, трансформаційний сценарій можна трактувати як стратегічно найстійкішу та оптимістичну траєкторію, що залежить від важливих подій: тимчасового звільнення з-під дії СВМ української металопродукції, верифікації викидів на підприємствах, збільшення низьковуглецевого виробництва, зміни енергобалансу на користь ВДЕ.

Воєнно-відновлювальний сценарій. Передбачає проміжну траєкторію розвитку української металургійної індустрії, у межах якої галузь функціонує в умовах збереження воєнних ризиків, але водночас отримує додатковий імпульс завдяки поступовому розгортанню внутрішнього попиту на металопродукцію для відновлення та відбудови. На відміну від інерційного сценарію, воєнно-відновлювальний сценарій не передбачає системного скорочення обсягів виробництва або повного збереження вуглецемісткої виробничої структури. Водночас він не є тотожним трансформаційному сценарію, оскільки не ґрунтується на швидкій технологічній перебудові, масштабному переході на технологічний маршрут DRI–EAF чи радикальному зниженні вуглецевої інтенсивності. Його логіка також відрізняється від адаптаційного сценарію, де ключовим механізмом стабілізації виступає пристосування до СВМ через верифікацію викидів, часткову модернізацію та поступове відновлення експорту. Центральною ознакою воєнно-відновлювального сценарію є пріоритет не на зовнішні ринки збуту, а на посилення внутрішнього

попиту. Обсяг виробництва стимулюється завдяки потребам відновлення житлового фонду, транспортної інфраструктури, мостів, доріг, залізничних об'єктів, енергетичних потужностей, оборонно-промислового комплексу, промислових споруд і критичної інфраструктури. Саме внутрішній попит стає додатковим стабілізаційним чинником, який частково компенсує втрати, пов'язані з регуляторним тиском СВМ, та нестабільністю зовнішніх ринків.

У виробничому вимірі передбачається збереження технологічного маршруту BF-BOF, оскільки він залишається основою наявної виробничої бази та забезпечує випуск значних обсягів металопродукції. Водночас мартенівські печі як найбільш застарілі й енергоінтенсивні потужності поступово обмежуються та виводяться з експлуатації, оскільки їх подальша робота є ресурсно та екологічно неефективною. Фінансово-інвестиційна спроможність є помірною, розвиваються більш гнучкі виробничі формати, такі як малі металургійні заводи, що виражається у поступовому зростанні значення електросталеплавильного виробництва на основі металобрухту або заліза прямого відновлення, орієнтованого на потреби конкретних регіонів або інфраструктурних проєктів. Така зміна не означає швидкої технологічної перебудови, а має переважно прагматичний характер і пов'язана з потребою забезпечити гнучкість, швидше реагувати на внутрішній попит і використовувати доступну сировинну базу. Металобрухт у цьому сценарії відіграє важливу роль, оскільки його пропозиція може збільшуватися внаслідок демонтажу зруйнованих об'єктів, списання пошкодженої техніки, реконструкції промислових активів, заміни інфраструктурних конструкцій і відновлення транспортних мереж.

У зовнішньоекономічному вимірі експорт до ЄС залишається частковим каналом реалізації української металургійної продукції, однак його роль поступово заміщується внутрішнім попитом. Внутрішній попит створює додатковий ринок збуту, який може пом'якшувати негативні наслідки скорочення експорту або зниження його дохідності. Європейський ринок залишається стратегічно важливим через географічну близькість, однак фінансове навантаження СВМ і конкуренція з боку виробників із нижчим вуглецевим слідом обмежують експортну конкурентоспроможність. Підприємства можуть частково переорієнтовувати

поставки на інші ринки, проте така диверсифікація не розглядається як повна альтернатива європейському напрямку, а пріоритет надається внутрішньому ринку.

Регуляторний вимір характеризується поєднанням зовнішнього тиску та поступової інституційної адаптації. СВМ продовжує створювати фінансове навантаження для української металургійної продукції, особливо у випадку використання дефолтних значень викидів. Тому підприємства змушені верифікувати викиди до 2028 року, щоб зменшити ризик завищеного розрахунку фінансових зобов'язань і зберегти доступ до ринку ЄС. На відміну від трансформаційного сценарію, воєнно-відновлювальний сценарій не залежить від звільнення металопродукції з-під дії СВМ. Стійкість галузі формується через поєднання часткової регуляторної адаптації, верифікації викидів, збереження меншої частки експорту та зростання внутрішнього попиту.

В екологічному вимірі передбачено помірне зниження середньої вуглецевої інтенсивності виробництва. Це зниження не має радикального характеру, оскільки традиційні технологічні маршрути зберігають значну частку у виробничій структурі. Водночас поступове зростання ролі технологічних маршрутів scrap-EAF і DRI-EAF та обмеження найбільш застарілих потужностей сприяють поступовому поліпшенню вуглецевого профілю галузі. Екологічна динаміка цього сценарію має еволюційний, а не революційний характер. Вона відображає не повну декарбонізацію, а прагматичне зниження викидів у межах наявних обмежень.

Енергетичний вимір сценарію полягає у відновленні енергетики, що створює передумови для розвитку більш стійкої, розподіленої та гнучкої енергетичної інфраструктури. У межах сценарію пріоритет надається нарощуванню розподіленої генерації, розвитку маневреної газової генерації, суттєвому збільшенню частки ВДЕ. Масштаб таких змін є достатнім для повної декарбонізації енергетичного сектору, формування повноцінної низьковуглецевої енергетичної бази для всієї галузі.

Динаміка інтегрального індексу декарбонізаційної стійкості у воєнно-відновлювальному сценарії має нерівномірний, але загалом відновлювальний характер (рис. 3.7).

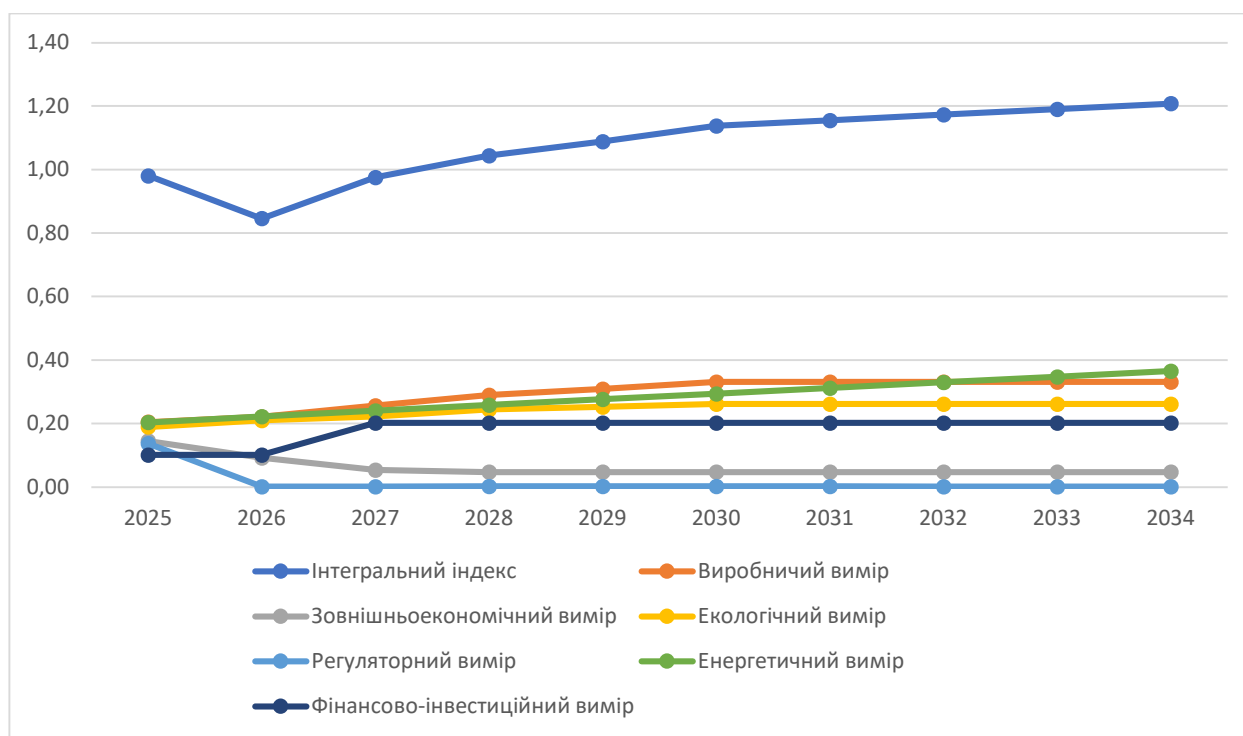


Рисунок 3.7. Динаміка інтегрального індексу за воєнно-відновлювальним сценарієм

Джерело: додаток Ф

На початковому етапі спостерігається помітне зниження інтегрального індексу, що пояснюється насамперед негативним впливом зовнішньоекономічного та регуляторного вимірів. Скорочення експортних можливостей, послаблення ролі ринку ЄС та посилення фінансового навантаження СВМ формують зовнішній шок, який не може бути повністю компенсований навіть за умов поступового зростання виробництва, поліпшення екологічних параметрів і відновлення енергетичної бази. У подальшому інтегральний індекс переходить до поступового зростання, що пояснюється позитивним впливом виробничого, екологічного та енергетичного вимірів. Виробничий вимір посилюється завдяки нарощуванню внутрішнього попиту на металопродукцію для потреб відбудови, що частково компенсує втрату експортної динаміки. Екологічний вимір поліпшується внаслідок виведення найбільш застарілих потужностей і поступового зростання частки менш вуглецемістких технологічних маршрутів. Енергетичний вимір демонструє стабільно позитивний внесок завдяки відновленню енергетичної інфраструктури, розвитку ВДЕ. Водночас зростання інтегрального індексу не означає повного усунення структурних обмежень.

Зовнішньоекономічний вимір залишається слабким через зменшення ролі експорту, а регуляторний вимір продовжує стримувати загальну сценарну стійкість через збереження фінансових зобов'язань СВМ. Отже, позитивна динаміка інтегрального індексу формується не внаслідок повного подолання зовнішніх ризиків, а завдяки їх частковій компенсації внутрішніми чинниками – передусім внутрішнім попитом, помірною технологічною модернізацією та поступовим посиленням енергетичної стійкості. Інтегральний індекс відображає компромісну природу воєнно-відновлювального сценарію, оскільки його початкове зниження демонструє вразливість галузі до СВМ і скорочення експорту, але подальше зростання свідчить про поступове формування нової моделі стійкості, заснованої переважно на внутрішньому попиті, частковій екологічній модернізації та відновленні енергетичної бази. Саме тому цей сценарій не можна трактувати як повноцінно трансформаційний, однак він є стійкішим за інерційну траєкторію, оскільки передбачає поступове посилення внутрішніх компенсаторів розвитку галузі. Для узагальнення результатів сценарного моделювання доцільно зіставити динаміку інтегрального індексу за всіма чотирма сценаріями (рис. 3.8).

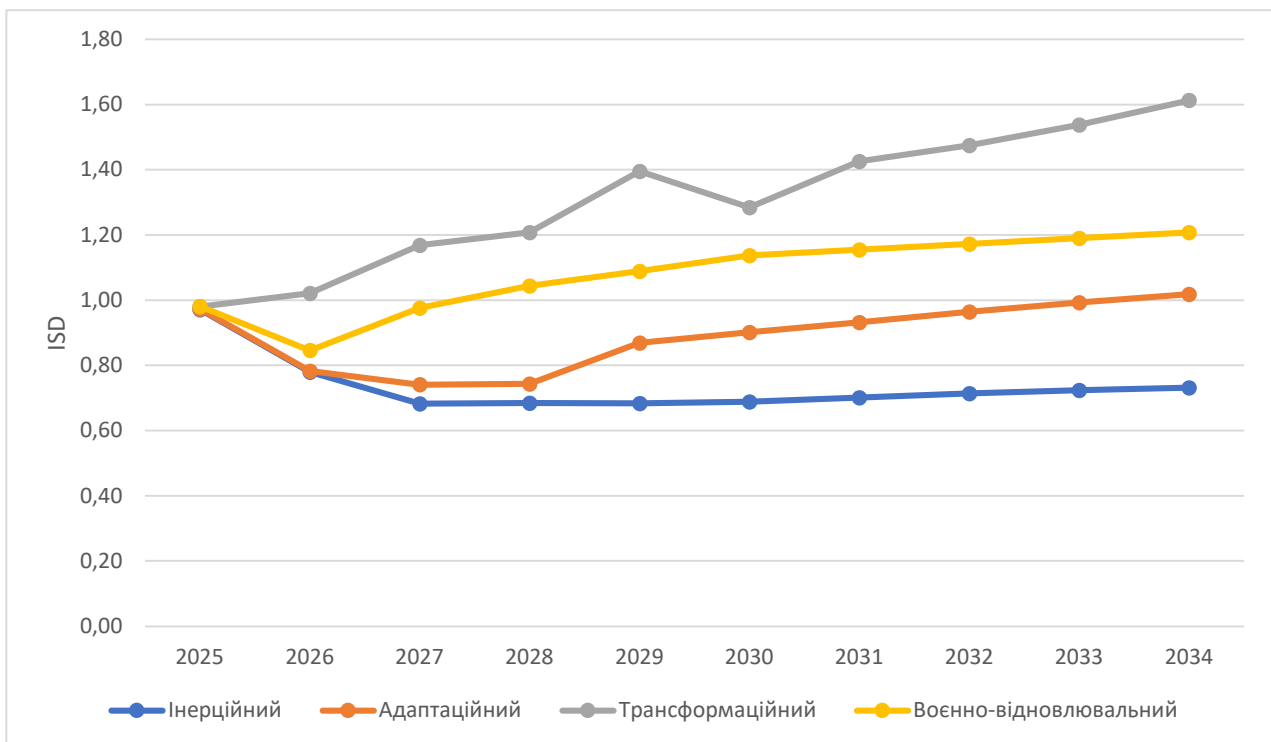


Рисунок 3.8. Динаміка інтегрального індексу за сценаріями

Джерело: Додатки С-Ф

Отримані результати демонструють чітку диференціацію сценаріїв за рівнем декарбонізаційної стійкості металургійної індустрії України. Найнижчу траєкторію формує інерційний сценарій, що є логічним наслідком збереження вуглецемісткої виробничої структури, відсутності модернізації, високої вразливості до СВАМ та обмежених експортних можливостей. Після початкового падіння інтегральний індекс у цьому сценарії стабілізується на низькому рівні, що свідчить не про відновлення, а радше про закріплення структурної слабкості галузі.

Адаптаційний сценарій демонструє помірно висхідну динаміку після початкового зниження. Його падіння на початку прогностного періоду пояснюється впливом зовнішньоекономічних та регуляторних обмежень, насамперед скороченням експорту та посиленням фінансового СВАМ-навантаження. Водночас подальше поступове зростання інтегрального індексу відображає ефект часткової модернізації, верифікації викидів, певного поліпшення екологічних параметрів та адаптації підприємств до нових умов. Проте цей сценарій не забезпечує якісного прориву, оскільки його позитивна динаміка має переважно компенсаторний характер.

Трансформаційний сценарій очікувано формує найвищу траєкторію інтегрального індексу. Його перевага зумовлена синхронним позитивним впливом всіх розглянутих вимірів. Активна технологічна модернізація, зростання ролі низьковуглецевих маршрутів, скорочення вуглецевої інтенсивності та поліпшення енергетичної бази забезпечують найбільший приріст декарбонізаційної стійкості. Тимчасове зниження показника в середині періоду пояснюється запровадженням СВАМ після завершення тимчасового виведення української металопродукції з-під дії цього інструмента екологічної політики. Водночас після цього сценарій швидко відновлює висхідну динаміку, що свідчить про здатність глибокої модернізації компенсувати зовнішній регуляторний тиск.

Воєнно-відновлювальний сценарій займає проміжне положення між адаптаційним і трансформаційним сценаріями. Його початкове зниження зумовлене тими самими обмеженнями, що й в інших сценаріях. Однак надалі інтегральний індекс демонструє стійке поступове зростання завдяки посиленню виробничого виміру через внутрішній попит на металопродукцію для відбудови, помірного

поліпшенню екологічного виміру та поступовому збільшенню частки ВДЕ в енергобалансі. Саме внутрішній попит виступає ключовим компенсатором слабшої зовнішньоекономічної динаміки. Водночас воєнно-відновлювальний сценарій не досягає рівня трансформаційного, оскільки його позитивна динаміка не ґрунтується на глибокій технологічній перебудові. Цей сценарій відображає не модель низьковуглецевого прориву, а модель прагматичного відновлення, у якій галузь поступово підвищує стійкість завдяки внутрішнім чинникам розвитку.

Загалом графік підтверджує логіку сценарного моделювання: інерційна траєкторія веде до закріплення слабкості галузі; адаптаційна – до часткового відновлення через пристосування; воєнно-відновлювальна – до більш стійкого зростання завдяки внутрішньому попиту; трансформаційна – до найвищої стійкості через системну модернізацію та декарбонізацію. Водночас важливо підкреслити, що регуляторний вимір у всіх сценаріях залишається негативним чинником впливу на інтегральний індекс, що визначає його одним із ключових системних ризиків для довгострокової стійкості української металургії.

Підсумовуючи сценарне моделювання розвитку металургійного сектору, можна зробити однозначний висновок, що з усіх розглянутих варіантів саме трансформаційний сценарій найбільшою мірою відповідає концепції зеленої конкурентоспроможності, євроінтеграційному вектору розвитку України, СВМ та глобальному переходу до виробництва зеленої сталі. Цей сценарій формує найвищу траєкторію інтегрального індексу декарбонізаційної стійкості, оскільки лише він забезпечує синхронний позитивний вплив майже всіх визначених вимірів. Це саме та модель, що здатна компенсувати зовнішній регуляторний тиск та гарантувати довгострокові конкурентні переваги на європейському ринку.

Водночас воєнно-відновлювальний сценарій є важливим для України, оскільки він дозволяє підтримати галузь завдяки внутрішньому попиту, пов'язаному з масштабною відбудовою інфраструктури, житлового фонду та оборонно-промислового комплексу. Проте з концептуальної точки зору цей сценарій має компромісну природу. Він відіграє роль радше проміжного або спеціального сценарію адаптації до післявоєнних умов, оскільки не ґрунтується на швидкій і глибокій

технологічній перебудові. Тому, попри свою стабілізаційну функцію, воєнно-відновлювальний сценарій не може розглядатися як оптимальна довгострокова модель розвитку металургійного сектору України.

3.3. Стратегічні напрями модернізації металургійної індустрії України

Подальше формування стратегічних пріоритетів модернізації металургійної індустрії України має ґрунтуватися на результатах сценарного моделювання та враховувати ті напрями, які найбільшою мірою впливають на інтегральну декарбонізаційну стійкість галузі. У цьому контексті стратегічні напрями модернізації доцільно розглядати як систему взаємопов'язаних пріоритетів, спрямованих на подолання ключових обмежень, виявлених у межах сценарного аналізу. Відтак стратегічні пріоритети доцільно структурувати за шістьма взаємопов'язаними напрямками: виробничо-технологічним, енергетичним, емісійно-кліматичним, інституційним, зовнішньоекономічним та фінансово-інвестиційним.

Виробничо-технологічний напрям. Одним із ключових стратегічних пріоритетів модернізації металургійної індустрії України має стати поступова зміна технологічної структури виробництва. Домінуючі великі вертикально інтегровані комбінати (87,7% від обсягів виробництва 2024 року) суттєво поступаються малим металургійним заводам (12,3% від обсягів виробництва 2024 року) не тільки за параметрами витрат енергії, а й за параметрами екологічності. Першочерговим завданням має бути остаточна відмова від мартенівського виробництва, яке є технологічно і морально застарілим, енергоінтенсивним і несумісним зі стратегією декарбонізації галузі. Збереження мартенівських печей навіть у скороченому форматі консервує високу вуглецеву інтенсивність виробництва та погіршує позиції української продукції на ринку ЄС.

Найбільш реалістичним коротко- та середньостроковим напрямом модернізації є розвиток електросталеплавильного виробництва на основі металобрухту. Цей

маршрут є технологічно зрілим, менш капіталомістким та краще відповідає умовам післявоєнного відновлення, оскільки в Україні може сформуватися значний ресурс металобрухту внаслідок демонтажу зруйнованої інфраструктури та промислових об'єктів. Технологічний маршрут DRI-EAF доцільно розглядати як перспективний середньо- та довгостроковий напрям, особливо з урахуванням наявності в Україні серйозної матеріальної бази у вигляді одних з найбільших у світі запасів залізної руди. На початковому етапі більш реалістичним є використання в процесі відновлення залізної руди природного газу, з потенційною подальшою заміною на водень за умови розвитку відповідної інфраструктури. Виробництво «зеленого» водню у короткостроковій перспективі для України обмежене високою вартістю технологій, недостатнім обсягом встановлених потужностей ВДЕ та відсутністю розвинутої водневої інфраструктури. Воднева металургія може бути розглянута як стратегічна опція для пізнішого етапу модернізації.

Системи уловлення, використання та зберігання вуглецю також навряд чи можуть стати пріоритетним інструментом для української металургії. Їх застосування потребує значних інвестицій, спеціалізованої транспортної та геологічної інфраструктури, розвиненої системи регулювання й довгострокових гарантій зберігання CO₂. За нинішніх умов такі технології можуть мати лише допоміжне значення. Ще менш реалістичним у практичному вимірі найближчого десятиліття є масштабне впровадження технологій електролізу заліза, оскільки наразі вони перебувають на ранніх стадіях формування і не можуть розглядатися як основа модернізаційної стратегії України до 2030-х років.

З огляду на воєнні ризики, руйнування великих промислових вузлів та вразливість централізованих виробничих комплексів, доцільним є перехід до моделі розподіленого металургійного виробництва. Йдеться про розвиток менших за масштабом, більш гнучких електросталеплавильних підприємств, орієнтованих на регіональний попит, використання місцевої сировини та забезпечення потреб післявоєнної відбудови. Така модель може знизити логістичні витрати, зменшити залежність від великих інтегрованих комбінатів і підвищити стійкість галузі до воєнних ризиків.

Оскільки одним з стратегічних пріоритетів є зміна технологічних маршрутів виробництва, принципового значення набуває формування стійкої сировинної бази для визначених низьковуглецевих технологічних маршрутів. Перш за все це доступ до металобрухту високої якості, а також залізорудної сировини належних характеристик. Стратегічною перевагою України є наявність значних запасів залізної руди, однак її потенціал може бути реалізований лише за умови технологічної адаптації до потреб низьковуглецевої металургії. На відміну від традиційних технологічних маршрутів, пряме відновлення заліза потребує більш якісної та стабільної за характеристиками сировини, що передбачає глибше збагачення руди, підвищення якості концентрату, зниження вмісту домішок.

Важливою складовою забезпечення металургійної галузі сировиною є функціонування циркулярної економіки: максимальне повернення металу у виробничий цикл через повторне використання, демонтаж та переробку. Для України це має не лише екологічне, а й промислово-стратегічне значення: ефективне використання металобрухту дозволяє зменшити потребу у залізній руді, скоротити енергоінтенсивність виробництва, знизити викиди. Таким чином, сировинне забезпечення декарбонізації має розглядатися як один із базових елементів модернізації української металургії. Без повноцінного впровадження принципів циркулярної економіки перехід до низьковуглецевих технологій залишатиметься неповним і структурно вразливим.

Стратегія модернізації металургійної індустрії України має передбачати не лише зміну технологічних маршрутів виробництва, а й зміну сировинно-експортної моделі розвитку галузі. Результати дослідження, проведеного у другому розділі, засвідчили, що Україна має один із найвищих показників індексу вбудованих викидів (EEI) у розрахунку на одиницю створеної доданої вартості. Це може вказувати не лише на високу вуглецеву інтенсивність виробництва, а й на відносно низький рівень створення вартості, оскільки українська металургія значною мірою залишається орієнтованою на виробництво та експорт залізорудної сировини, напівфабрикатів і продукції нижчих переділів. В умовах посилення кліматичного регулювання така модель стає дедалі менш стійкою, оскільки значні обсяги вбудованих викидів не

компенсуються достатнім рівнем створеної доданої вартості. Тому одним із пріоритетів має стати поступовий перехід до виробництва товарів з вищою доданою вартістю. В той час як зміна виробничої структури спрямована на зниження вуглецевої інтенсивності в екологічному вимірі, продуктова модернізація формує її економічний вимір, оскільки передбачає перехід до випуску товарів з вищою доданою вартістю та підвищення економічного результату в розрахунку на одиницю сформованих викидів.

Енергетичний напрям. Оскільки перехід до електросталеплавильного виробництва не є «зеленим» за замовчуванням, значна частка його вуглецевого сліду (а саме Scope 2) залежатиме від обсягу генерації та доступності низьковуглецевої електроенергії, зокрема з відновлювальних джерел енергії. Якщо електроенергія для металургійної промисловості генеруватиметься на вугільних електростанціях, результати декарбонізаційних зусиль будуть суттєво обмеженими. Відтак модернізація енергосистеми має бути узгоджена не тільки з внутрішніми потребами енергетичного сектору, а й зі стратегічними потребами промисловості. Йдеться не лише про збільшення встановленої потужності ВДЕ, а й про розвиток мережевої інфраструктури, систем накопичення енергії, механізмів балансування та довгострокових контрактів на постачання низьковуглецевої електроенергії. Для металургійних підприємств особливого значення можуть набути прямі договори купівлі-продажу електроенергії з виробниками ВДЕ, власні встановлені потужності ВДЕ, енергетичні коопераційні проекти. Крім того, розвиток ВДЕ формує базові передумови для потенційного виробництва «зеленого» водню, який у довгостроковій перспективі може використовуватися у низьковуглецевому процесі прямого відновлення заліза

Емісійно-кліматичний напрям. Одним з найважливіших складових є належна верифікація викидів за стандартами ЄС. За наявних умов українські підприємства стикаються з інституційним розривом: українські верифікатори мають отримати відповідну акредитацію в ЄС, тоді як європейські верифікатори не завжди мають зрозумілий механізм роботи та підтвердження акредитації в Україні як третій країні. У результаті за відсутності підтверджених фактичних показників викидів при

розрахунку СВМ-платежів виникає ризик застосування дефолтних значень, які можуть не відповідати реальному технологічному маршруту виробництва. Зокрема, навіть якщо сталь вироблена за технологічним маршрутом scrap-EAF, застосування значень за замовчуванням може істотно збільшити потенційне фінансове навантаження за СВМ. За авторськими розрахунками, у такому випадку вже у першому кварталі 2026 року воно зросте з 2,74 євро/т до 98,50 євро/т, що фактично нівелює декарбонізаційні зусилля підприємств і послаблює їхню конкурентоспроможність на ринку ЄС. Для окремих українських металургійних товаровиробників це уже призводить до втрати клієнтів і контрактів [180]. Окремим завданням є документальне підтвердження рівня викидів прекурсорів (чавуну, DRI тощо), оскільки їхній вуглецевий слід прямо переноситься на кінцевий продукт. Емісійно-кліматичний напрям вимагає від українських виробників перетворити екологічну звітність на повноцінний бізнес-процес. Здатність заводу або комбінату поррахувати, документально підтвердити та верифікувати кожен тону CO₂ на всіх етапах виробництва (від руди і струму до готового прокату) стає такою ж важливою конкурентною перевагою, як і ціна самої сталі.

Інституційний напрям. Запровадження власної СТВ має бути одним із пріоритетів національної екологічної політики. Ринкове ціноутворення на викиди вуглецю замість фіксованого екологічного податку у 30 грн/т CO₂ трансформує систему моніторингу, звітності та верифікації у функціональний елемент вуглецевого ринку, а також стимулюватиме енергоінтенсивні та вуглецемісткі українські підприємства поступово зменшувати вуглецевий слід своєї продукції шляхом переходу на менш енергоінтенсивні та «зелені» технології.

Окрім того, запровадження національної СТВ має і євроінтеграційний вимір. Згідно зі статтею 363 Угоди про асоціацію між Україною та ЄС наближення законодавства України до права та політики ЄС у сфері охорони навколишнього природного середовища здійснюється відповідно до Додатка XXX до цієї Угоди [182]. Водночас відповідний додаток передбачає наближення українського законодавства до Директиви 2003/87/ЄС, що передбачає встановлення системи торгівлі квотами на викиди парникових газів у межах ЄС [183]. Отже, створення національної СТВ є не

лише інструментом внутрішньої кліматичної політики, а й складовою поступового наближення української кліматичної політики до європейської.

Іншим важливим інституційним напрямом у контексті проведення декарбонізації має стати створення попиту на низьковуглецеву сталь. Перехід до «зеленої» сталі не може ґрунтуватися виключно на технологічному оновленні виробництва, оскільки для окупності таких інвестицій необхідним є стабільний попит з боку кінцевих споживачів. У цьому контексті внутрішній ринок має виконувати функцію не лише споживача металопродукції, а й інструменту стимулювання декарбонізації сектору, де держава виступає основним регулятором. Значну роль відіграватимуть вимоги до меншого рівня вбудованих викидів продукції у публічних закупівлях, будівельних стандартах та інфраструктурних проєктах. Це дозволить перетворити внутрішній ринок на інструмент стимулювання декарбонізації, а післявоєнну відбудову – на чинник не лише відновлення, а й структурної модернізації української металургії.

Що стосується металобрухту, стратегія сировинного забезпечення не має зводитися до адміністративного обмеження реалізації металобрухту за кордон. За умов встановлення українським урядом нульових квот на експорт внутрішнє ціноутворення відбувається під впливом штучно звуженого попиту. З одного боку, це може короткостроково здешевлювати сировину для внутрішніх споживачів, втім, з іншого – знижує дохідність переробки, послаблює стимули до збирання та заготівлі, обмежує інвестиції в розвиток брухтозаготівельної галузі та у довгостроковій перспективі призводить до дефіциту металобрухту. Проблема має і важливий євроінтеграційний вимір: наближення України до економічного простору ЄС передбачає не штучну ізоляцію внутрішнього ринку, а формування прозорих і конкурентних правил його функціонування. Відтак пріоритетом мають бути не адміністративні обмеження, а формування економічно збалансованого ринку з метою як забезпечення потреб металургійних підприємств всередині країни, так і збереження інвестиційних стимулів для заготівельників металобрухту.

Найбільш серйозний негативний вплив в рамках сценарного аналізу на українську металургію показав інструмент кліматичної політики СВМ. За умов

верифікації викидів лише електросталеплавильне виробництво залишиться конкурентоспроможним, тому основний пріоритет – застосування пункту 7 статті 30 Регламенту (ЄС) 2023/956, що стверджує: «Якщо сталася непередбачувана, виняткова та неспровокована подія, що перебуває поза контролем однієї або кількох третіх країн, на які поширюється СВАМ, і така подія має руйнівні наслідки для економічної та промислової інфраструктури відповідної країни або країн, Комісія оцінює ситуацію та подає Європейському Парламенту і Раді звіт, супроводжений, за доцільності, законодавчою пропозицією щодо внесення змін до цього Регламенту шляхом визначення необхідних тимчасових заходів для реагування на такі виняткові обставини».

Позиція Європейської Комісії щодо можливості застосування винятків для України в межах СВАМ була викладена у звіті від 16 грудня 2025 року [179]. Ключовий висновок Комісії полягає у тому, що на цьому етапі відсутні достатні підстави для запровадження спеціального режиму звільнення або тимчасових послаблень для українських товарів. Оцінивши вплив механізму транскордонного вуглецевого коригування на економіку України в умовах російської агресії, Європейська Комісія дійшла висновку, що СВАМ наразі не створює істотного негативного впливу на здатність країни до економічного відновлення. Відповідно, застосування форс-мажорного підходу або надання тимчасових винятків для українського експорту не вважається виправданим.

Водночас у звіті наголошується на збереженні експортної стійкості України на ринку ЄС. Попри повномасштабну війну, Україна залишається одним із найбільших постачальників товарів, охоплених СВАМ, до Європейського Союзу, насамперед завдяки експорту чавуну, сталі та цементу. Крім того, українські підприємства продемонстрували здатність адаптуватися до нових регуляторних вимог: до другого кварталу 2025 року значна частина імпорту звітувалася на основі фактичних показників викидів, а для великих партій така практика стала майже повсюдною.

Окремо Європейська Комісія звертає увагу на потенційну конкурентну перевагу українських виробників на ринку ЄС. Оскільки вуглецемісткість окремих видів української металургійної та алюмінієвої продукції є нижчою порівняно з продукцією

основних конкурентів, зокрема з Індії та Китаю, СВМ може не лише створювати додаткове регуляторне навантаження, а й частково посилювати позиції України у європейській торгівлі. У цьому контексті механізм транскордонного вуглецевого коригування розглядається Комісією не стільки як загроза для українського експорту, скільки як інструмент, що може стимулювати його подальшу адаптацію до кліматичних стандартів ЄС.

З економічної точки зору очікуваний вплив СВМ на Україну оцінюється як обмежений. Фінансові зобов'язання за цим механізмом запроваджуватимуться поступово, а їх повномасштабне застосування передбачене лише у довгостроковій перспективі. За результатами моделювання, загальний вплив СВМ на ВВП України має бути мінімальним, що додатково обґрунтовує позицію Комісії щодо відсутності необхідності у спеціальних винятках на цьому етапі, а замість тимчасового звільнення України від дії СВМ Європейська Комісія пропонує зосередитися на фінансовій та інституційній підтримці відновлення країни. Така підтримка, зокрема в межах програми Ukraine Facility, має бути спрямована на відбудову інфраструктури, модернізацію енергетичного сектору та прискорення «зеленого» переходу. Додатково передбачається процедурне спрощення звітності для українських експортерів, що має зменшити адміністративне навантаження та сприяти їхній глибшій інтеграції до ринку ЄС.

Автор вважає висновок Європейської Комісії про відсутність достатніх підстав для запровадження спеціальних тимчасових заходів щодо України в межах СВМ недостатньо обґрунтованим. Така позиція не повною мірою враховує специфіку функціонування української металургійної індустрії в умовах повномасштабної війни.

Перш за все, наслідки російської агресії для металургійного комплексу України мають не кон'юнктурний, а структурний характер. У 2022 році виробництво сталі в Україні скоротилося більш ніж на 70% порівняно з довоєнним рівнем, що було зумовлено втратою контролю над частиною територій, руйнуванням або окупацією виробничих потужностей, розривом логістичних ланцюгів та загальним воєнним шоком. Навіть у 2025 році обсяг виробництва сталі в Україні становив лише близько

7,4 млн т, тоді як у ЄС – 126,2 млн т, що свідчить про відсутність у України надлишкових виробничих потужностей, здатних створювати системний конкурентний тиск на європейський ринок.

Українська промисловість функціонує в умовах, які істотно відрізняються від умов роботи промислових виробників у третіх країнах, для яких СВМБ був розроблений як інструмент запобігання «вуглецевому витоку». Йдеться не лише про вищі витрати на енергоресурси чи необхідність декарбонізації, а про постійні ракетні удари по промислових об'єктах та енергетичній інфраструктурі, дефіцит електроенергії, перебої з логістикою, нестачу робочої сили та загальну невизначеність воєнного періоду.

Для України ринок ЄС має не лише комерційне, а й логістично-стратегічне значення. В умовах блокування або обмеження традиційних експортних маршрутів та загального переорієнтування зовнішньої торгівлі Європейський Союз став ключовим напрямом збуту для української продукції. Зростання ролі ринку ЄС для українського експорту не слід розглядати лише як ознаку адаптації. Значною мірою воно є наслідком вимушеної переорієнтації торгівлі в умовах руйнування традиційних логістичних маршрутів, втрати доступу до окремих зовнішніх ринків.

Запропонована Європейським Союзом фінансова підтримка, хоча й має важливе значення для відновлення України, не є співмірною з масштабом інвестиційних потреб модернізації. Ukraine Investment Framework у межах Ukraine Facility передбачає фінансові інструменти на рівні близько 9,5 млрд євро, зокрема кредитні гарантії та інструменти змішаного фінансування, однак ці ресурси мають бути спрямовані не лише на металургію, а на широкий спектр потреб відновлення, включаючи інфраструктуру, енергетику, транспорт, муніципальні послуги та приватний сектор [181]. Така підтримка не може розглядатися як повноцінна компенсація витрат, необхідних для декарбонізації української металургійної індустрії.

У цьому контексті повномасштабне вторгнення Російської Федерації, руйнування значної частини виробничої та енергетичної інфраструктури, а також різке скорочення промислового потенціалу України цілком можуть розглядатися як

обставини, що за своїм характером відповідають логіці статті 30(7) Регламенту СВМ. Відповідно, більш обґрунтованим видається не повне та безумовне звільнення України від дії СВМ, а запровадження спеціального перехідного режиму звільнення з-під дії СВМ української металургійної продукції. В іншому випадку цей інструмент екологічної політики тільки посилить інвестиційний дефіцит галузі, обмежить її експортну спроможність та ускладнить саме той «зелений» перехід, який СВМ формально має стимулювати.

Зовнішньоекономічний напрям. Європейський Союз фактично є безальтернативним стратегічним ринком для української металопродукції. Головним пріоритетом в даному контексті має стати адаптація до жорстких кліматичних стандартів ЄС та максимальна інтеграція в низьковуглецеві глобальні ланцюги створення вартості. У короткостроковому періоді, доки триває адаптація до СВМ, можлива вимушена часткова переорієнтація експорту на менш вимогливі до екології ринки (країни Африки, Азії), попри вищі логістичні витрати.

Фінансово-інвестиційний напрям. Масштабний перехід на низьковуглецеві технологічні маршрути вимагає значних капіталовкладень. В даному контексті важливе використання можливостей євроінтеграційного процесу для доступу до декарбонізаційних фондів ЄС та інструментів Ukraine Facility. Окремого значення набуває спрямування коштів, акумульованих у межах майбутньої національної СТВ, на співфінансування «зеленого» переходу вітчизняних підприємств. Водночас державна підтримка має поєднуватися із залученням приватного капіталу через механізми державно-приватного партнерства, участь транснаціональних корпорацій, міжнародних фінансових інституцій та провідних постачальників низьковуглецевих технологій. Додатковим джерелом фінансування можуть стати зелені облігації, пільгове кредитування, гарантійні механізми та інструменти змішаного фінансування, спрямовані на реалізацію проєктів технологічної модернізації, підвищення енергоефективності та декарбонізації металургійного комплексу України.

Висновки до розділу 3

1. На основі проведеної оцінки конкурентної диспозиції металургійного комплексу України встановлено високу залежність від традиційних вуглецевих технологічних маршрутів та обмеженість існуючих електросталеплавильних потужностей. Частка великих вертикально інтегрованих підприємств із традиційним повним вуглецевим циклом у металургійному комплексі України залишається домінуючою: у 2021 році вона становила 94,2%, а у 2023 році – 87,7%, що перевищує загальносвітовий показник 71,1%. Доведено, що конкурентоспроможність української металургії й надалі значною мірою обмежується технологічною інерційністю, зношеністю основних фондів, наслідками воєнних руйнувань, логістичними обмеженнями та недостатніми темпами низьковуглецевої модернізації.

2. Визначено, що, попри спричинені повномасштабним вторгненням руйнування та збитки, металургійний комплекс України зберігає важливі ресурсні передумови для формування зеленої конкурентоспроможності. Доведено, що Україна зберігає значний сировинний потенціал: за обсягами експорту залізної руди у 2023 році вона посіла дев'яте місце у світі, володіє 18% розвіданих світових запасів залізної руди, а в перерахунку на вміст заліза – 10,5-11% світових запасів. Встановлено, що після 2015 року понад 80% заготовленого брухту залишалося на внутрішньому ринку, а імпортна частка протягом десятирічного періоду не перевищувала 2% у структурі споживання металургійними підприємствами, що не підтверджує наявності системного дефіциту металобрухту в Україні. Обґрунтовано, що зазначені передумови формують потенціал для розвитку технологічних маршрутів DRI-EAF та scrap-EAF, однак його реалізація потребує комплексної модернізації виробничих потужностей, поглиблення переробки та збагачення залізорудної сировини, розвитку низьковуглецевої електроенергетики, інфраструктури металобрухту та інвестиційних механізмів підтримки декарбонізації.

3. Проаналізовано основні ринки збуту української металопродукції та встановлено високу залежність від ринку ЄС (82% експорту металопродукції у 2025 році та 80,2% у січні-квітні 2026 р.). Обґрунтовано, що за таких умов СВМ

трансформується з інструменту кліматичної політики ЄС у визначальний торговельно-конкурентний фактор для української металургії. На основі проведених розрахунків потенційного CBAM-навантаження для сталевих продукції (код УКТЗЕД 7207 11 11) доведено екзистенційну вразливість української металургії перед CBAM. За повної верифікації викидів потенційне фінансове CBAM-навантаження становить 94,31 євро/т для технологічного маршруту BF-ONF, 71,87 євро/т для BF-BOF, 54,42 євро/т для DRI-EAF і лише 2,74 євро/т для scrap-EAF, тоді як за відсутності верифікації для всіх технологічних маршрутів застосовується однакове дефолтне навантаження – 98,50 євро/т. Доведено, що ключовою умовою збереження конкурентоспроможності українського металургійного сектору на ринку ЄС є не лише фактичне скорочення викидів, а й верифікація та простежуваність вбудованих викидів вуглецю у межах усього виробничого ланцюга.

4. Оцінено конкурентну диспозицію металургійного комплексу України. Встановлено, що внаслідок повномасштабної війни, руйнування активів та розриву логістичних ланцюгів галузь зазнала катастрофічних втрат. Проте збереження доступу до високоякісної залізничної сировини створює фундаментальні передумови для відновлення галузі. Водночас доведено екзистенційну вразливість експортоорієнтованої вітчизняної металургії до механізму CBAM: за відсутності належної системи верифікації викидів застосування дефолтних значень ЄС призведе до стрімкого зростання фінансового навантаження (до 234,9 євро/т у 2034 р. для певних маршрутів) і втрати європейських ринків.

5. Розроблено економіко-математичну модель оцінювання декарбонізаційної стійкості, ядром якої є авторський інтегральний індекс декарбонізаційної стійкості. Індекс шляхом нормування агрегує показники обсягу виробництва, частки зеленої електроенергії, питомих викидів CO₂, обсягу експорту, витрат на вуглецеве регулювання та рівня інвестицій, що дає змогу кількісно виміряти здатність галузі до низьковуглецевої трансформації.

6. Здійснено сценарне моделювання розвитку металургійного сектору України до 2034 року. Оцінено чотири траєкторії: інерційну, адаптаційну, воєнно-відновлювальну та трансформаційну. Доведено, що інерційний сценарій консервує

структурну слабкість галузі, а воєнно-відновлювальний має лише тимчасовий компенсаторний ефект за рахунок внутрішнього попиту. Обґрунтовано, що максимізацію інтегрального індексу декарбонізаційної стійкості забезпечує винятково трансформаційний сценарій. Він передбачає відмову від мартенівського виробництва, перехід на технологічні маршрути EAF та DRI-EAF, повну верифікацію викидів для зниження тиску СВМ, значне зростання частки ВДЕ в енергобалансі та залучення міжнародних декарбонізаційних фондів.

7. Обґрунтовано стратегічні пріоритети низьковуглецевої трансформації металургійного сектору України, що ґрунтуються на результатах сценарного моделювання та авторській систематизації детермінантів модернізації металургійної індустрії. Запропоновано структурування стратегічних пріоритетів за шістьма напрямками: виробничо-технологічний (відмова від мартенівського виробництва, розвиток гнучких електросталеплавильних потужностей і технологій прямого відновлення заліза, а також системна зміна сировинно-експортної моделі); енергетичний (суттєве збільшення частки ВДЕ у загальному енергобалансі у поєднанні з розвитком маневреної газової генерації для балансування енергосистеми); емісійно-кліматичний (забезпечення повноцінної верифікації викидів парникових газів за стандартами ЄС на всіх етапах виробництва для мінімізації регуляторного навантаження та зниження прямої і непрямой емісії); інституційний (запровадження національної СТВ, створення внутрішнього ринкового попиту на зелену сталь та отримання перехідного режиму звільнення з-під дії СВМ); зовнішньоекономічний (адаптація до кліматичних стандартів ЄС та стратегічна інтеграція вітчизняних підприємств у низьковуглецеві глобальні ланцюги створення вартості); фінансово-інвестиційний (стимулювання державно-приватного партнерства та залучення міжнародного фінансування, зокрема декарбонізаційних фондів ЄС та інструментів програми Ukraine Facility).

Основні результати розділу опубліковано в наукових працях автора [184; 185; 186; 187].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі здійснено теоретичне узагальнення та запропоновано нове вирішення наукового завдання щодо розкриття теоретико-методологічних засад модернізації світової металургійної індустрії в умовах глобальних кліматичних змін, комплексної характеристики детермінантів її сучасної трансформації та обґрунтування стратегічних напрямів модернізації металургії України з метою формування зелених конкурентних переваг. Отримані результати дозволили зробити такі висновки:

1. На основі дослідження еволюції підходів до трактування концепції сталого розвитку, було виокремлено чотири ключові віхи, а саме: 1) Звіт ООН (1987 р.) – закладання глобальної політичної та філософської основи сучасної екологічної політики; 2) Саміт Землі (1992 р.) – закріплення сталого розвитку як практичного напрямку міжнародної політики; 3) Порядок денний 2030 (2015) – побудова сучасної універсальної рамки сталого розвитку із системою конкретних цілей і завдань, що виступає базою для формування ESG-парадигми.

У процесі узагальнення фундаментальних теоретичних засад кліматичних змін було доведено об'єктивну невідворотність декарбонізації світової економіки. Встановлено, що трансформація металургійного комплексу ускладнюється структурним дуалізмом сталі: галузь одночасно генерує колосальні обсяги вуглецевих екстерналій та є матеріальною основою для розбудови інфраструктури «зеленого» переходу. Декарбонізацію металургії концептуалізовано як системну технологічну, енергетичну, інституційну та економічну трансформацію ланцюгів вартості, орієнтовану на кліматичну нейтральність.

2. За результатами критичного аналізу концептуальних моделей екологічної модернізації було здійснено їх систематизацію з виокремленням трьох взаємопов'язаних напрямів осмислення модернізації металургійної промисловості, а саме: технологічний (концепція екологічної модернізації та теорія технологічних переходів), конкурентний (гіпотеза Портера та концепція зеленої

конкурентоспроможності), мережевий (концепція інноваційних систем). Це дозволило ствердити, що сукупність досліджених концепцій формує теоретико-методологічну основу дослідження модернізації металургійної індустрії в умовах кліматичних трансформацій світової економіки, а їх поєднання дозволяє розглядати декарбонізацію металургійного комплексу не лише як комплексну трансформацію технологічних маршрутів, а й енергетичної бази, інфраструктури та механізмів міжнародної конкурентоспроможності галузі. Було визначено роль зеленої конкурентоспроможності як ключової аналітичної категорії для оцінювання модернізації металургійного сектору, що інтегрує екологічну ефективність, інноваційність, технологічне оновлення та довгострокову сталість галузі.

3. У ході комплексного дослідження інституційно-регуляторного середовища декарбонізації металургії обґрунтовано доцільність розгляду її як багаторівневої системи глобального кліматичного регулювання, в рамках якої екологічні параметри сталі трансформуються в одну з ключових складових конкурентоспроможності галузі. Визначено міждержавний та наднаціональний рівні кліматичного регулювання з акцентуванням галузевої координації, представленої професійними організаціями, промисловими об'єднаннями та міжнародними ініціативами сталеварного сектору.

На основі всебічного аналізу методичних підходів до оцінювання рівня декарбонізації металургійного комплексу виявлено обмеженість використання ізольованих індикаторів. В якості комплексного методологічного інструменту запропоновано неологічну категорію «декарбонізаційна стійкість металургійної індустрії». Головний зміст даної категорії полягає у її спроможності забезпечувати безперервність, конкурентоспроможність, екологізацію та стратегічну адаптивність свого розвитку до умов посилення глобальних кліматичних обмежень, низьковуглецевого переходу та впровадження міжнародних екологічних вимог і стандартів у виробництво металопродукції. Доведено, що зазначений підхід найбільш релевантно відображає здатність металургійних підприємств перебудовувати чинні виробничі й операційні процеси на засадах зеленої економіки, енергетичної безпеки, ресурсоефективності та кліматичної нейтральності.

4. За результатами компаративного аналізу світового досвіду, визначено сучасні тренди трансформації глобального металургійного сектору, серед яких домінуючим є технологічний перехід від вуглецемісткого технологічного маршруту BF-BOF до технологічних маршрутів scrap-EAF та DRI-EAF. З'ясовано, що ці процеси нерозривно пов'язані зі зростанням стратегічного статусу металобрухту як ресурсу циркулярної економіки та глибинною електрифікацією виробництва з подальшим використанням «зеленого» водню. Також виокремлено і охарактеризовано такі тренди, як: зростання ролі вторинної сировини, формування ринку зеленої сталі, зростання електрифікації виробництва, посилення ролі вуглецевого регулювання, що характеризується набуттям жорстких форм (екологічний податок, СТВ ЄС, СВМ, ESG-звітність тощо), трансформація глобальних ланцюгів вартості. Наразі концепція зеленої конкурентоспроможності виступає ключовою об'єднувальною рамкою, де карбонізація є стратегічною умовою збереження довгострокової ринкової стійкості галузі, формування нових конкурентних переваг та інтеграції виробників у низьковуглецеві глобальні ланцюги створення вартості.

На підставі оцінювання конкурентного середовища світової металургійної індустрії обґрунтовано, що сучасний світовий ринок сталі характеризується високим рівнем концентрації, а його учасники формують стратегічні групи конкурентів залежно від поєднання ринкової сили та рівня декарбонізації виробництва. Доведено, що довгострокове зміцнення міжнародної конкурентоспроможності металургійної індустрії України можливе лише за умови переходу від цінової конкуренції до моделі зеленої конкурентоспроможності, яка ґрунтується на технологічній модернізації, зниженні вуглецевої інтенсивності виробництва, адаптації до вимог міжнародного кліматичного регулювання та інтеграції у низьковуглецеві глобальні ланцюги створення вартості.

5. У результаті дослідження варіативності національних моделей декарбонізації металургійного комплексу (обрані для дослідження країни: ЄС, США, Китай, Японія, Індія) здійснено їх систематизацію за авторськими критеріями щодо характеру державного регулювання декарбонізації, механізмів фінансування низьковуглецевої трансформації, ролі інновацій у технологічному розвитку, ступеня залучення

корпоративного сектору, інтегрованості у міжнародні кліматичні та виробничі мережі, а також глибини структурних змін виробництва, з виокремленням: регуляторно-інноваційної, інвестиційно-стимулюючої, державно-планової, корпоративно-інноваційної та наздоганяючої. Доведено, що світовий ринок поляризується, і безальтернативним орієнтиром для вітчизняної індустрії виступає європейська регуляторно-інноваційна модель. Вона найефективніше стимулює модернізацію шляхом жорсткого адміністрування викидів (CBAM, ETS) у поєднанні з масштабним фінансуванням інноваційних технологій, захищаючи внутрішній ринок від вуглецевого демпінгу.

6. На основі проведеного аналізу ключових детермінантів модернізації металургійної індустрії було визначено та охарактеризовано ключові етапи трансформації виробництва сталі в Україні: 1992-1995 – різке падіння виробництва, пов'язане з дезінтеграційними процесами, втрата зовнішніх ринків; 1996-2007 – поступове зростання сектору, що характеризувалося приватизаційними процесами, притоком інвестицій, підвищенням попиту та зростанням цін на зовнішніх ринках; 2008-2013 – падіння з малоефективними спробами відновлення, що було обумовлено глобальною світовою кризою та загальним спадом економіки; 2014-2021 – спад з подальшою частковою стабілізацією, які відбувалися на тлі бойових дій на Донбасі, втратою контролю над частиною комплексу; 2022-2025 – катастрофічне падіння до історичного мінімуму, що спричинене широкомасштабним вторгненням РФ в Україну, втратою виробничих потужностей (анексія, руйнування, знищення), руйнуванням інфраструктури, порушенням ланцюгів постачання тощо.

Виходячи з зазначеного, справедливо стверджувати, що декарбонізація металургійної індустрії не може розглядатися лише як сукупність окремих технологічних рішень. Її результативність залежить від того, наскільки скорочення викидів поєднується зі створенням економічної цінності в рамках глобальних ланцюгів вартості, що обґрунтовує необхідність запровадження кількісного індикатора, який дозволяє оцінити не лише обсяг викидів парникових газів в абсолютному вимірі, а й їх «вбудованість» у кінцевий продукт інших секторів економіки. На основі авторського індексу вбудованих викидів і кластерного аналізу за

методом K-mean було виявлено змістовні закономірності формування вбудованих викидів вуглецю через канали створення доданої вартості, що дало можливість виділити чотири базових кластери: кластер 0 – країни з надвисокими внутрішніми потоками сектору «вироби з металу» (Україна, рф, Індія, КНР); кластер 1 – країни з низькоінтенсивними міжкраїновими потоками доданої вартості (США, Японія); кластер 2 – країни з середньоінтенсивними промисловими ланцюгами (КНР, Японія, Південна Корея); кластер 3 – країни з високоінтенсивними внутрішніми промислово-будівельними потоками (КНР, рф, Індія). Доведено, що досягнення цілей сталого розвитку передбачає масштабування механізму транскордонного вуглецевого оподаткування на глобальний рівень.

Здійснено систематизацію детермінантів модернізації металургійної індустрії з виокремленням їх у шість груп: виробничо-технологічні (перехід на технологічні маршрути DRI-EAF та scrap-EAF), енергетичні (доступ до ВДЕ), емісійно-кліматичні (вбудовані викиди), зовнішньоекономічні (адаптація до експортних вимог), регуляторно-інституційні (кліматична політика) та фінансово-інвестиційні (залучення капіталу). Доведено, що лише їх синергетична дія дозволяє сформувати нові конкурентні переваги галузі.

7. За результатами оцінювання конкурентної диспозиції металургійного комплексу України, який зазнав руйнівного впливу війни, розриву логістики та втрати активів, було виявлено, що станом на 2025 р. металургійний комплекс України представлено лише шістьма компаніями («АрселорМіттал Кривий Ріг», «Каметсталь», «Дніпровський металургійний завод», «Запоріжсталь», «Інтерпайп» та «Дніпроспецсталь»), з яких найбільш низьковуглецевим є виробництво сталі підприємствами «Інтерпайп» і «Дніпроспецсталь», завдяки використанню електросталеплавильних печей.

Дослідження впливу механізму СВМ на національну економіку України виявило суттєві негативні ефекти, зокрема: прогнозоване падіння ВВП (від 4,8% до 6,4%), скорочення експорту (до 6,3%), зокрема скорочення експорту до ЄС (до 9,8%), скорочення робочих місць, втрата податкових надходжень, зниження заробітної плати та інвестицій. Отже, запровадження СВМ потенційно може створити суттєве

додаткове навантаження на вітчизняних експортерів продукції металургійного сектору.

Також було встановлено, що ключовими експортними ринками українського металопрокату у 2025 р. стали: ЄС (82%), інші європейські країни (8,5%) та країни СНД (5,3%). Висока частка експорту в металургійному секторі та домінування одного регіонального ринку споживання виявили стратегічну вразливість металургійного сектору України щодо впровадження СВАМ. Було з'ясовано, що ключовим чинником конкурентоспроможності металопродукції на ринку ЄС у контексті СВАМ є здатність виробництв забезпечити моніторинг, документування, верифікацію та простежуваність вбудованих викидів у межах всього виробничого ланцюга. Відтак можна констатувати, що формування зелених конкурентних переваг металургійного сектору України визначається поєднанням ресурсних, технологічних, енергетичних, зовнішньоекономічних та інституційних передумов, які створюють потенціал низьковуглецевого переходу галузі.

8. На основі аналізу розвитку металургійного комплексу України в умовах війни було виявлено ряд екзистенційних викликів, з якими доводиться стикатись вітчизняним виробникам, а саме: 1) виклики, пов'язані з повномасштабним вторгненням (втрата контролю над виробничими потужностями та/або їх руйнування, перебої з постачанням електроенергії та сировини, ускладнена логістика, дефіцит кваліфікованих кадрів, застарілі основні фонди); 2) виклики, пов'язані зі зростанням глобальних вимог до мінімізації вуглецевого сліду, зокрема запроваджений з боку ЄС інструмент екологічної політики СВАМ. Виявлення такої структурної невизначеності щодо оцінювання довгострокових перспектив розвитку металургійної галузі обґрунтовує доцільність введення авторського комплексного показника на основі шести взаємопов'язаних вимірів: виробничого (обсяг виробництва сталі), енергетичного (частка зеленої електроенергії у загальному енергобалансі), екологічного (питомі викиди CO₂ на тонну виробленої сталі), зовнішньоекономічного (обсяг експорту металопродукції), регуляторного (витрати на вуглецеве регулювання, зокрема СВАМ та екологічний податок) і фінансово-інвестиційного (інвестиційне забезпечення декарбонізації). Запропонований авторський методичний підхід до

оцінювання декарбонізаційної стійкості металургійного комплексу України базується на систематизованих детермінантах модернізації металургійної індустрії і виступає фундаментом для комплексного оцінювання передумов формування зеленої конкурентоспроможності.

Із застосуванням економіко-математичного моделювання та розрахунку інтегрального індексу декарбонізаційної стійкості обґрунтовано 4 сценарії розвитку металургійної індустрії України до 2034 року в умовах посилення міжнародного кліматичного регулювання: інерційний, адаптаційний, трансформаційний, та воєнно-відновлювальний, що дозволило оцінити вплив кліматичних обмежень, механізму СВAM, енергетичних факторів, інвестиційної спроможності та зовнішньоекономічної орієнтації галузі на перспективи формування її зеленої конкурентоспроможності. Бенчмаркінг сценаріїв виявив, що інерційний сценарій консервує занепад галузі, тоді як найвищу декарбонізаційну стійкість гарантує винятково «трансформаційний сценарій». Він забезпечує максимізацію інтегрального індексу завдяки глибокій технологічній перебудові, впровадженню системи моніторингу викидів, інтеграції з ВДЕ та отриманню доступу до європейських фондів.

9. На засадах сценарного моделювання та авторської систематизації детермінантів модернізації металургійної індустрії було розроблено та обґрунтовано систему взаємопов'язаних пріоритетів, спрямованих на подолання ключових обмежень, виявлених при сценарному аналізі, які логічно структуровані за шістьма вимірами: виробничо-технологічним, енергетичним, емісійно-кліматичним, інституційним, зовнішньоекономічним та фінансово-інвестиційним, що забезпечує їх узгодженість із завданням формування зеленої конкурентоспроможності металургійної індустрії України. Доведено імперативність виведення з експлуатації мартенівського виробництва, переходу на моделі розподіленого виробництва (міні-заводи scrap-EAF), заміни сировинно-експортної моделі на продукцію вищих переділів, забезпечення галузі електроенергією з ВДЕ, а також застосування інструментів економічної дипломатії для отримання відстрочок у сплаті СВAM на період післявоєнного відновлення.

Таким чином, результати проведеного дослідження підтвердили, що модернізація металургійної індустрії в умовах глобальних кліматичних змін є складним багаторівневим процесом, який передбачає одночасну технологічну, енергетичну, інституційну та зовнішньоекономічну трансформацію галузі. Доведено, що забезпечення довгострокової конкурентоспроможності металургійної індустрії України в сучасних умовах безпосередньо залежить від її здатності адаптуватися до міжнародного кліматичного регулювання, інтегруватися у низьковуглецеві глобальні ланцюги створення вартості та реалізувати модель зеленої конкурентоспроможності. Запропоновані теоретико-методологічні положення, економіко-математичний інструментарій та система стратегічних пріоритетів можуть бути використані при формуванні державної промислової та кліматичної політики, а також у процесі розроблення корпоративних стратегій низьковуглецевої модернізації металургійних підприємств України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. The Global Risks Report 2026. World Economic Forum. URL: https://reports.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2026.pdf (дата звернення: 25.03.2026).
2. World Bank Group. Groundswell Report. World Bank. URL: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2021/09/13/climate-change-could-force-216-million-people-to-migrate-within-their-own-countries-by-2050> (дата звернення: 25.03.2026).
3. The 2024 report of the Lancet Countdown on health and climate change: facing record-breaking threats from delayed action / М. Romanello та ін. The Lancet. 2024. URL: [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(24\)01822-1](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(24)01822-1) (дата звернення: 25.03.2026).
4. Impacts of climate change on global agriculture accounting for adaptation / A. Hultgren та ін. Nature. 2025. Т. 642, № 8068. С. 644–652. URL: <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09085-w> (дата звернення: 25.03.2026).
5. 2024 to become the hottest year on record. URL: <https://news.un.org/en/story/2024/12/1158621> (дата звернення: 05.01.2025).
6. Chapter 5: Global Carbon and other Biogeochemical Cycles and Feedbacks. IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-5/> (дата звернення: 05.01.2025).
7. 7SM The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks and Climate Sensitivity Supplementary Material. Intergovernmental Panel on Climate Change. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter07_SM.pdf (дата звернення: 05.01.2025).
8. Chu J. Short-lived greenhouse gases cause centuries of sea-level rise. Massachusetts Institute of Technology. URL: <https://news.mit.edu/2017/short-lived-greenhouse-gases-cause-centuries-sea-level-rise-0109> (дата звернення: 08.01.2025).
9. Data supplement to the Global Carbon Budget 2025. ICOS. URL: <https://www.icos-cp.eu/science-and-impact/global-carbon-budget/2025> (дата звернення: 26.05.2026).

10. Global Temperature Data. Berkeley Earth. URL: https://berkeley-earth-temperature.s3.us-west-1.amazonaws.com/Global/Land_and_Ocean_summary.txt (дата звернення: 24.01.2025).
11. Environment at a Glance Indicators. OECD. URL: https://www.oecd.org/en/publications/environment-at-a-glance-indicators_ac4b8b89-en/full-report/component-8.html (дата звернення: 24.05.2026).
12. Green transition. European Commission. URL: https://reforms-investments.ec.europa.eu/technical-support-instrument-0/green-transition_en (дата звернення: 24.05.2026).
13. Rodrik D., Altenburg T. Green Industrial Policy: Accelerating Structural Change towards Wealthy Green Economies. UN Environment, 2017. URL: https://drodrik.scholars.harvard.edu/sites/g/files/omnuum7106/files/dani-rodrik/files/altenburg_rodrik_green_industrial_policy_webversion.pdf (дата звернення: 24.05.2026).
14. Pigou A. The Economics of Welfare (4th ed.). London : Macmillan, 1932. URL: https://oll-resources.s3.us-east-2.amazonaws.com/oll3/store/titles/1410/Pigou_0316_EBk_v6.0.pdf (дата звернення: 24.05.2026).
15. Nordhaus W. Thinking About Carbon Dioxide: Theoretical and Empirical Aspects of Optimal Control Strategies. Cowles Foundation Discussion Papers. 1980. URL: <https://elischolar.library.yale.edu/cowles-discussion-paper-series/801> (дата звернення: 24.05.2026).
16. Coase R. H. The Problem of Social Cost. The Journal of Law and Economics. 1982. Т. 3. С. 1–44. URL: <https://doi.org/10.1086/466560> (дата звернення: 24.05.2026).
17. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. United Nations. URL: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> (дата звернення: 24.05.2026).
18. United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil, 3-14 June 1992. United Nations. URL: <https://www.un.org/en/conferences/environment/rio1992> (дата звернення: 24.05.2026).

19. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations. URL: <https://sdgs.un.org/2030agenda> (дата звернення: 24.05.2026).
20. Who Cares Wins: Connecting Financial Markets to a Changing World. 2024. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/280911488968799581/pdf/113237-WP-WhoCaresWins-2004.pdf> (дата звернення: 24.05.2026).
21. Chapter 4: Methodological Choice and Identification of Key Categories. IPCC. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_4_Ch4_MethodChoice.pdf (дата звернення: 30.01.2025).
22. GHG emissions of all world countries - Report 2024. EDGAR - The Emissions Database for Global Atmospheric Research. URL: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2024 (дата звернення: 05.01.2025).
23. Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard. GHG Protocol. URL: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613_2.pdf (дата звернення: 01.11.2025).
24. Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector. IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (дата звернення: 24.05.2026).
25. A framework to decarbonise the economy / F. D'Arcangelo та ін. Paris : OECD Publishing, 2022. URL: <https://doi.org/10.1787/4e4d973d-en> (дата звернення: 24.05.2026).
26. Climate change and the production of iron and steel. Worldsteel. URL: <https://worldsteel.org/climate-action/climate-change-and-the-production-of-iron-and-steel/> (дата звернення: 24.05.2026).
27. Decarbonizing Development: Three Steps to a Zero-Carbon Future / M. Fay та ін. Washington, DC : World Bank, 2015. 22 с. URL: <https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/Climate/dd/decarbonizing-development-overview.pdf> (дата звернення: 02.03.2025).
28. European Climate Law. European Commission. URL: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_en (дата звернення: 24.05.2026).

29. Glossary. IPCC. URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/glossary/> (дата звернення: 02.03.2025).
30. Huber J. Towards industrial ecology: sustainable development as a concept of ecological modernization. *Journal of Environmental Policy and Planning*. 2000. Т. 2, № 4. С. 269–285. URL: [https://doi.org/10.1002/1522-7200\(200010/12\)2:4%3C269::aid-jepp58%3E3.0.co;2-u](https://doi.org/10.1002/1522-7200(200010/12)2:4%3C269::aid-jepp58%3E3.0.co;2-u) (дата звернення: 24.05.2026).
31. Mol A. P. J. *Refinement of Production: Ecological Modernization Theory and the Chemical Industry*. International Books, 1996. 452 с. URL: https://www.researchgate.net/publication/261988444_The_Refinement_of_Production_Ecological_Modernization_Theory_and_The_Chemical_Industry (дата звернення: 24.05.2026).
32. Spaargaren G., Mol A. P. J. Sociology, environment, and modernity: Ecological modernization as a theory of social change. *Society & Natural Resources*. 1992. Т. 5, № 4. С. 323–344. URL: <https://doi.org/10.1080/08941929209380797> (дата звернення: 24.05.2026).
33. Spaargaren G. Ecological modernization theory and domestic consumption. *Journal of Environmental Policy & Planning*. 2000. Т. 2, № 4. С. 323–335. URL: <https://doi.org/10.1080/714038564> (дата звернення: 24.05.2026).
34. Porter M. E., Linde C. v. d. Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *Journal of Economic Perspectives*. 1995. Т. 9, № 4. С. 97–118. URL: <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97> (дата звернення: 24.05.2026).
35. Jaffe A. B., Palmer K. Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study. *Review of Economics and Statistics*. 1997. Т. 79, № 4. С. 610–619. URL: <https://doi.org/10.1162/003465397557196> (дата звернення: 24.05.2026).
36. *Towards Green Growth*. OECD, 2011. URL: <https://doi.org/10.1787/9789264111318-en> (дата звернення: 24.05.2026).
37. Moore J. F. Predators and prey: a new ecology of competition. *Harvard business review*. 1993. Т. 71, № 3. С. 75–86.
38. Adner R. Match your innovation strategy to your innovation ecosystem. *Harvard business review*. 2006. Т. 84, № 4. С. 98–107.

39. Adner R., Kapoor R. Value creation in innovation ecosystems: How the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations. *Strategic management journal*. 2010. Т. 31, № 3. С. 306–333. URL: <https://doi.org/10.2139/ssrn.1353582> (дата звернення: 24.05.2026).
40. Adner R. Ecosystem as Structure. *Journal of Management*. 2016. Т. 43, № 1. С. 39–58. URL: <https://doi.org/10.1177/0149206316678451> (дата звернення: 24.05.2026).
41. Geels F. W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*. 2002. Т. 31, № 8-9. С. 1257–1274. URL: [https://doi.org/10.1016/s0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/s0048-7333(02)00062-8) (дата звернення: 24.05.2026).
42. Geels F. W. The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 2011. Т. 1, № 1. С. 24–40. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.02.002> (дата звернення: 24.05.2026).
43. Geels F. W., Schot J. Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*. 2007. Т. 36, № 3. С. 399–417. URL: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003> (дата звернення: 24.05.2026).
44. Kagermann H., Wahlster W., Helbig J. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 // German National Academy of Science and Engineering (acatech). 2013. URL: <https://www.din.de/resource/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf> (дата звернення: 08.08.2025).
45. Koolen D., Vidovic D. Greenhouse gas intensities of the EU steel industry and its trading partners. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2022. 33 с. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129297> (дата звернення: 02.03.2025).
46. Сталь України: відновлення та інновації / О. М. Смірнов та ін. Київ : НВП «Вид-во “Наук. думка” НАН України», 2023. 268 с.
47. Carbon Capture, Utilisation and Storage. IEA. URL: <https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage#how-does-ccus-work> (дата звернення: 03.03.2025).

48. Baylin-Stern A., Berghout N. Is carbon capture too expensive?. IEA. URL: <https://www.iea.org/commentaries/is-carbon-capture-too-expensive> (дата звернення: 03.03.2025).
49. World Steel in Figures 2026. Worldsteel. URL: <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2026/> (дата звернення: 24.05.2026).
50. Global status of CCS 2024. Global CCS Institute. URL: <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2024/11/Global-Status-Report-6-November.pdf> (дата звернення: 03.03.2025).
51. Kleier T. The steel industry in 2050. SMS group. URL: <https://www.sms-group.com/insights/all-insights/the-steel-industry-in-2050> (дата звернення: 03.03.2025).
52. HYBRIT: Six years of research paves the way for fossil-free iron and steel production on an industrial scale. HYBRIT. URL: <https://www.hybritdevelopment.se/en/hybrit-six-years-of-research-paves-the-way-for-fossil-free-iron-and-steel-production-on-an-industrial-scale/> (дата звернення: 03.03.2025).
53. ArcelorMittal and John Cockerill announce plans to develop world's first industrial scale low temperature, iron electrolysis plant. .ArcelorMittal. URL: <https://corporate.arcelormittal.com/media/press-releases/arcelormittal-and-john-cockerill-announce-plans-to-develop-world-s-first-industrial-scale-low-temperature-iron-electrolysis-plant> (дата звернення: 03.03.2025).
54. Addressing steel decarbonisation challenges for industry and policy. Paris : OECD Publishing, 2024. URL: <https://doi.org/10.1787/e6cb2f3c-en> (дата звернення: 02.03.2025).
55. China's Baowu Launches Self-Developed AI Tool for Steel Industry. Yicai Global. URL: <https://www.yicaiglobal.com/news/chinas-baowu-launches-self-developed-ai-tool-for-steel-industry> (дата звернення: 03.03.2025).
56. Nippon Steel DX Specific Initiatives. Nippon Steel. URL: <https://www.nipponsteel.com/en/company/dx/specific.html> (дата звернення: 03.03.2025).
57. Meet the 'AI Blast Furnace' of Pohang Works. Posco. URL: <https://newsroom.posco.com/en/meet-the-ai-blast-furnace-of-pohang-works/> (дата звернення: 04.03.2025).

58. ArcelorMittal chooses Energiency's artificial intelligence to save energy in steel coils processing. ArcelorMittal in Belgium. URL: <https://belgium.arcelormittal.com/en/arcelormittal-chooses-energiencys-artificial-intelligence-to-save-energy-in-steel-coils-processing/> (дата звернення: 04.03.2025).
59. JSW Steel Limited collaborates with ABB to achieve digitalization goals. ABB. URL: <https://new.abb.com/metals/abb-in-metals/insights/jsw-steel-ltd-collaborates-with-abb-to-achieve-digitalization-goals> (дата звернення: 04.03.2025).
60. Fero Labs AI for Steelmakers: Benefits and Use Cases. Fero Labs. URL: <https://www.ferolabs.com/insights/post/fero-labs-ai-for-steelmakers-benefits-and-use-cases> (дата звернення: 05.03.2025).
61. Unlocking potential in the global scrap steel market. URL: https://www.oecd.org/en/publications/unlocking-potential-in-the-global-scrap-steel-market_d7557242-en.html (дата звернення: 18.05.2025).
62. Metal Recycling Factsheet. EuRIC AISBL – Recycling: Bridging Circular Economy & Climate Policy, 2022. 8 с. URL: <https://euric.org/images/Brochures/EuRICMetalRecyclingFactsheet.pdf> (дата звернення: 05.03.2025).
63. Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату : Конвенція Орг. Об'єдн. Націй від 09.05.1992 : станом на 29 жовт. 1996 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_044#Text (дата звернення: 24.05.2026).
64. Паризька угода : Угода Орг. Об'єдн. Націй від 12.12.2015 : станом на 14 лип. 2016 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_161#Text (дата звернення: 09.03.2025).
65. Marrakesh Agreement Establishing the World Trade Organization. WTO. URL: https://www.wto.org/english/docs_e/legal_e/04-wto_e.htm (дата звернення: 09.03.2025).
66. Agreement on Subsidies and Countervailing Measures. WTO. URL: https://www.wto.org/english/docs_e/legal_e/scm_e.htm (дата звернення: 09.03.2025).
67. General Agreement on Tariffs and Trade 1994. WTO. URL: https://www.wto.org/english/docs_e/legal_e/06-gatt_e.htm (дата звернення: 09.03.2025).
68. Who we are. Worldsteel. URL: <https://worldsteel.org/about-us/who-we-are/> (дата звернення: 09.03.2025).

69. Total production of crude steel. Worldsteel. URL: https://worldsteel.org/data/annual-production-steel-data/?ind=P1_crude_steel_total_pub/CHN/IND (дата звернення: 09.03.2025).
70. History of South East Asia Iron and Steel Institute. SEAISI. URL: <https://www.seaisi.org/our-history> (дата звернення: 09.03.2025).
71. Learn about steel. EUROFER. URL: <https://www.eurofer.eu/about-steel/learn-about-steel#About-the-European-Steel-Association-EUROFER> (дата звернення: 09.03.2025).
72. Arab Steel Summit calls for the creation of an alternative Arab regional market in light of the global environmental restrictions. AISU. URL: <https://aisusteel.org/en/23452/> (дата звернення: 09.03.2025).
73. About. Asociación Latinoamericana del Acero. URL: <https://www.alacero.org/sobre> (дата звернення: 09.03.2025).
74. Update on EU sanctions and Russian members. Worldsteel. URL: <https://worldsteel.org/update-on-eu-sanctions-and-russian-members/> (дата звернення: 09.03.2025).
75. Gereffi G., Humphrey J., Sturgeon T. The governance of global value chains. Review of International Political Economy. 2005. Т. 12, № 1. С. 78–104. URL: <https://doi.org/10.1080/09692290500049805> (дата звернення: 24.05.2026).
76. Gereffi G. International trade and industrial upgrading in the apparel commodity chain. Journal of International Economics. 1999. Т. 48, № 1. С. 37–70. URL: [https://doi.org/10.1016/s0022-1996\(98\)00075-0](https://doi.org/10.1016/s0022-1996(98)00075-0) (дата звернення: 24.05.2026).
77. Commodity chains and global capitalism / ред.: G. Gereffi, M. Korzeniewicz. Westport, Conn : Praeger, 1994. 334 с.
78. Yamano N., Guilhoto J. CO2 emissions embodied in international trade and domestic final demand: Methodology and results using the OECD Inter-Country Input-Output Database. Paris : OECD Publishing, 2020. URL: <https://doi.org/10.1787/8f2963b8-en> (дата звернення: 01.03.2026).
79. Steel is the power behind renewable energy. ArcelorMittal. URL: <https://app-arcelormittal-cm-uat.azurewebsites.net/media/case-studies/steel-is-the-power-behind-renewable-energy> (дата звернення: 02.03.2025).

80. Sustainability Report 2024. ArcelorMittal. URL: <https://corporate.arcelormittal.com/media/3fwar2wu/2024-sustainability-report.pdf> (дата звернення: 04.05.2025).
81. Steel facts. Worldsteel. URL: <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/steelFacts-2023-1.pdf> (дата звернення: 04.05.2025).
82. Sustainability Indicators Report 2025. Worldsteel. URL: <https://worldsteel.org/wider-sustainability/sustainability-indicators/> (дата звернення: 24.05.2026).
83. IEA. Emissions Measurement and Data Collection for a Net Zero Steel Industry. Paris, 2023. URL: <https://www.iea.org/reports/emissions-measurement-and-data-collection-for-a-net-zero-steel-industry> (дата звернення: 24.05.2026).
84. Making Net-Zero Steel Possible. Energy Transitions Commission. URL: <https://www.energy-transitions.org/wp-content/uploads/2022/09/Making-Net-Zero-Steel-possible.pdf> (дата звернення: 24.05.2026).
85. Steel Science-Based Target-Setting Guidance. Science Based Targets Initiative. URL: <https://files.sciencebasedtargets.org/production/files/SBTi-Steel-Guidance.pdf> (дата звернення: 24.05.2026).
86. Life Cycle Assessment (LCA). European Platform on LCA. EPLCA. URL: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/lifecycleassessment.html> (дата звернення: 24.05.2026).
87. Логвиненко Є. Заходи торговельного захисту товаровиробників металургійної індустрії в умовах екологічних викликів. Вчені записки. 2023. № 33. С. 79–89. URL: https://doi.org/10.33111/vz_kneu.33.23.04.06.040.046 (дата звернення: 01.06.2026).
88. Черницька Т., Логвиненко Є. Мережевізація товаровиробників сталеливарної промисловості в контексті глобальних кліматичних змін. Економіка та суспільство. 2024. № 63. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-128> (дата звернення: 01.06.2026).
89. Логвиненко Є. Вектори розвитку технологічних інновацій декарбонізації металургійної галузі. Зелена економіка та низьковуглецевий розвиток: дорожня карта для України: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 19 груд. 2024 р.). Львів-Торунь: Liha-Pres, 2024. С. 27-30.

90. Логвиненко Є. Перспективи співробітництва виробників сталі в контексті декарбонізації. «Global trends in the development of educational systems»: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Берген, 21-24 січня 2025 р.). Берген: International Science Group, 2025. С. 35-37.
91. Логвиненко Є. Інвентаризація парникових газів виробництва сталі у контексті декарбонізації. «Innovative scientific research: latest theories, modern methods and practices»: матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції (м. Севілья, 20-23 травня 2025 р.). Севілья: International Science Group, 2025. С. 144-147.
92. Steel Statistical Yearbook 2024. Worldsteel. URL: <https://www.acero.org.ar/wp-content/uploads/2024/12/Steel-Statistical-Yearbook-2024.pdf> (дата звернення: 01.05.2025).
93. Iron Ore Data Sheet - Mineral Commodity Summaries 2020. USGS. URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-iron-ore.pdf> (дата звернення: 01.05.2025).
94. Shen X. China steel analysis. CREA, 2024. URL: https://energyandcleanair.org/wp/wp-content/uploads/2024/03/CREA_2023H2-China-steel-analysis.pdf (дата звернення: 02.05.2025).
95. China officially expands national ETS to cement, steel and aluminum sectors. International Carbon Action Partnership. URL: <https://icapcarbonaction.com/en/news/china-officially-expands-national-ets-cement-steel-and-aluminum-sectors> (дата звернення: 18.05.2025).
96. OECD Steel Outlook 2026. OECD. URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2026/06/oecd-steel-outlook-2026_a79fb861/99ab9b0c-en.pdf (дата звернення: 07.06.2026).
97. India is committed to achieve the Net Zero emissions target by 2070 as announced by PM Modi, says Dr. Jitendra Singh. Press Information Bureau. URL: <https://www.pib.gov.in/PressReleaseIframePage.aspx?PRID=1961797> (дата звернення: 02.05.2025).

98. India adopts regulations for planned compliance carbon market. International Carbon Action Partnership. URL: <https://icapcarbonaction.com/en/news/india-adopts-regulations-planned-compliance-carbon-market> (дата звернення: 02.05.2025).
99. Green Steel Initiative. Steel Ministry. URL: <https://steel.gov.in/green-steel-initiative> (дата звернення: 02.05.2025).
100. Steel decarbonisation in India. Institute for Energy Economics and Financial Analysis. URL: <https://ieefa.org/resources/steel-decarbonisation-india> (дата звернення: 02.05.2025).
101. Commission's Action Plan to secure a competitive and decarbonised steel and metals industry in Europe. European Commission. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_805 (дата звернення: 02.05.2025).
102. Best available techniques reference document for iron and steel production – Industrial emissions Directive 2010/75/EU – Integrated pollution prevention and control / R. Remus та ін. Joint Research Centre: Institute for Prospective Technological Studies, 2013. URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2791/97469> (дата звернення: 02.05.2025).
103. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - A European Steel and Metals Action Plan. European Commission. URL: <https://www.consilium.europa.eu/media/q43dlb5y/communication-steel-and-metals-action-plan.pdf> (дата звернення: 24.05.2026).
104. The Road to Net Zero with Green Steel. The Government of Japan. URL: https://www.japan.go.jp/kizuna/2024/03/net_zero_with_green_steel.html (дата звернення: 03.05.2025).
105. Green Innovation Fund - Hydrogen. IEA. URL: <https://www.iea.org/policies/13515-green-innovation-fund-hydrogen> (дата звернення: 03.05.2025).
106. ETS Status: Japan GX-ETS. Asia Society Policy Institute. URL: <https://asiasociety.org/policy-institute/ets-status-japan> (дата звернення: 03.05.2025).
107. US steel industry applauds Department of Energy's \$6 bln decarbonization investment. Fastmarkets. URL: <https://www.fastmarkets.com/insights/us-steel-industry-applauds-does-6-bln-decarbonization-investment/> (дата звернення: 03.05.2025).

108. Federal Buy Clean Initiative. Office of the Federal Chief Sustainability Officer. URL: <https://www.sustainability.gov/archive/biden46/buyclean/index.html> (дата звернення: 03.05.2025).
109. Cancelling the Buy Clean Program Will Not Cancel Low Embodied Carbon Construction. Climate Law Blog. URL: <https://blogs.law.columbia.edu/climatechange/2025/03/26/cancelling-the-buy-clean-program/> (дата звернення: 03.05.2025).
110. Green steel plant glugs out first ton of molten metal. New Atlas. URL: <https://newatlas.com/energy/green-steel-plant-boston-metal/> (дата звернення: 03.05.2025).
111. Steel Statistical Yearbook 2024. Worldsteel. URL: <https://www.acero.org.ar/wp-content/uploads/2024/12/Steel-Statistical-Yearbook-2024.pdf> (дата звернення: 04.05.2025).
112. Steel Statistical Yearbook 2002. Worldsteel. URL: <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Steel-Statistical-Yearbook-2002.pdf> (дата звернення: 04.05.2025).
113. Колдомасов І. Велика історія металургії. Як Україна втрачала найбільшу галузь економіки. Економічна правда. URL: <https://epravda.com.ua/publications/2024/11/14/721795/> (дата звернення: 04.05.2025).
114. Внесок ГМК в економіку України. GMK Center. URL: https://gmk.center/wp-content/uploads/2025/04/ukr_2025_Econ_Steel-impact.pdf (дата звернення: 04.05.2025).
115. Індустрія «зеленої металургії» здатна генерувати десятки мільярдів доларів інвестицій. Урядовий портал. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/industriia-zelenoi-metalurhii-zdatna-heneruvaty-desiatky-miliardiv-dolariv-investytsii-oleksandr-hryban> (дата звернення: 04.05.2025).
116. BI - Customs UA. Державна митна служба України. URL: <https://bi.customs.gov.ua/uk/trade/> (дата звернення: 05.05.2025).
117. Експорт металопродукції з України (2023-2024pp.). УАВтормет. URL: https://www.facebook.com/photo/?fbid=1168528965272241&set=a.513249837466827&locale=ru_RU (дата звернення: 05.05.2025).

118. Про вивізне (експортне) мито на відходи та брухт чорних металів. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/216-15#Text> (дата звернення: 05.05.2025).

119. Рішення № 2/2018 Комітету асоціації Україна - ЄС у торговельному складі від 14 травня 2018 року. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_002-18#n2 (дата звернення: 05.05.2025).

120. Про внесення змін до деяких законів України щодо зменшення дефіциту брухту чорних металів на внутрішньому ринку. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1455-19/ed20211209#Text> (дата звернення: 05.05.2025).

121. Про затвердження переліків товарів, експорт та імпорт яких підлягає ліцензуванню, та квот на 2026 рік : Постанова Каб. Міністрів України від 31.12.2025 № 1795 : станом на 30 січ. 2026 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1795-2025-п#Text> (дата звернення: 10.03.2026).

122. Відсутність експорту брухту галузь втрачає свій потенціал: знижує заготівлю та скорочує працівників. Інтерфакс-Україна. URL: <https://interfax.com.ua/news/press-conference/1153995.html> (дата звернення: 24.05.2026)

123. Рік роботи Українського коридору: експортовано понад 64 млн тонн продукції. Міністерство інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua/news/35854.html> (дата звернення: 05.05.2025).

124. Григоренко Ю. Удари по енергоінфраструктурі ускладнили роботу ГМК. ГМК. URL: <https://gmk.center/ua/posts/udari-po-energoinfrastrukturi-uskladnili-robotu-gmk/> (дата звернення: 05.05.2025).

125. Індекси РДН та середньозважені ціни. Оператор ринку. URL: <https://www.oree.com.ua/index.php/indexes> (дата звернення: 05.05.2025).

126. 2024: річний звіт про роботу спотового ринку електроенергії України. Оператор ринку. URL: <https://www.oree.com.ua/index.php/newsctr/n/26409> (дата звернення: 06.05.2025).

127. Department for International Trade. UK announces new trade measures to support Ukraine. URL: <https://www.gov.uk/government/news/uk-announces-new-trade-measures-to-support-ukraine> (дата звернення: 06.05.2025).
128. Продовження режиму безмитної торгівлі для України – це надзвичайно важливий аспект політичної підтримки з боку ЄС, - Юлія Свириденко. Міністерство економіки України. URL: <https://me.gov.ua/News/Detail?lang=uk-UA&id=0d47eef5-b63f-4ae6-ae04-a0895162e37a&title=RezhimBezmitnoiTorgivli> (дата звернення: 06.05.2025).
129. Перелік чинних антидемпінгових, компенсаційних та захисних заходів щодо української продукції. Міністерство економіки України. URL: <https://me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=082485da-0071-490a-9ec0-a5e520b3ca02&title=CHinniAntidempingovi-KompensatsiiniTaZakhisniZakhodiSchodoUkrainskoiProduktsii> (дата звернення: 06.05.2025).
130. A Proclamation on Adjusting Imports of Steel Into the United States. The White House. URL: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2024/05/31/a-proclamation-on-adjusting-imports-of-steel-into-the-united-states-6/> (дата звернення: 06.05.2025).
131. Australia extends tariff relief for Ukraine. Minister for Trade and Tourism. URL: <https://www.trademinister.gov.au/minister/don-farrell/media-release/australia-extends-tariff-relief-ukraine> (дата звернення: 06.05.2025).
132. Об'єднання підприємств «Укрметалургпром». Укрметалургпром. URL: <https://www.ukrmetprom.org/> (дата звернення: 06.05.2025).
133. Офіційний курс гривні до іноземних валют (середній за період). НБУ. URL: <https://bank.gov.ua/ua/markets/exchangerates> (дата звернення: 06.05.2025).
134. Стратегія розвитку морських портів України на період до 2038 року - проект. Міністерство розвитку громад та територій України. URL: <https://mtu.gov.ua/files/Стратегія%20розвитку%20морпортів%20до%202038.pdf> (дата звернення: 06.05.2025).

135. Global Hydrogen Review 2024. IEA. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/89c1e382-dc59-46ca-aa47-9f7d41531ab5/GlobalHydrogenReview2024.pdf> (дата звернення: 06.05.2025).
136. Greenhouse Gas Footprints: Emissions embodied in production by scope. OECD Data Explorer. URL: <https://stats.oecd.org/wbos/fileview2.aspx?IDFile=f76594ba-12e5-485f-847b-707a40596f6a> (дата звернення: 14.04.2026).
137. Trade in Value Added 2025 edition: Principal Indicators, levels. OECD Data Explorer. URL: <https://stats.oecd.org/wbos/fileview2.aspx?IDFile=7c1d8d13-fb8f-4fa3-b238-a71f9d1f54be> (дата звернення: 14.04.2026).
138. Trade in Value Added 2025 edition: Origin of value added in final demand. OECD Data Explorer. URL: <https://stats.oecd.org/wbos/fileview2.aspx?IDFile=d9af84b5-4ea4-4f93-8c75-5b30f50116f1> (дата звернення: 14.04.2026).
139. Hoffmann C., Elout K., Gurlit W. Green-steel hubs: A pathway to decarbonize the steel industry. McKinsey & Company. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/green-steel-hubs-a-pathway-to-decarbonize-the-steel-industry> (дата звернення: 07.05.2025).
140. Scrap use in the steel industry. Worldsteel. URL: https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Fact-sheet-on-scrap_2021.pdf (дата звернення: 07.05.2025).
141. Ritchie H., Rosado P. Electricity Mix. Our World in Data. URL: <https://ourworldindata.org/electricity-mix> (дата звернення: 07.05.2025).
142. Логвиненко Є. Вплив лібералізації зовнішньої торгівлі на експорт металопродукції з України. *Економічний аналіз*. 2024. № 34(3). С. 484–496. URL: <https://doi.org/10.35774/econa2024.03.484> (дата звернення: 01.06.2026).
143. Логвиненко Є. Металургія як джерело вуглецевих екстерналій у глобальних ланцюгах вартості. *Актуальні проблеми сталого розвитку*. 2026. Т. 3, № 4. С. 274–280. URL: [https://doi.org/10.60022/3\(4\)-33s](https://doi.org/10.60022/3(4)-33s) (дата звернення: 01.06.2026).
144. Ukraine rapid damage and needs assessment (RDNA4) / World Bank et al. World Bank. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099022025114040022/pdf/P180174-ca39eccd-ea67-4bd8-b537-ff73a675a0a8.pdf> (дата звернення: 17.05.2025).

145. A Green Steel pathway would turbocharge Ukraine's post-war recovery, new study shows. Smith School of Enterprise and the Environment. URL: <https://www.smithschool.ox.ac.uk/news/green-steel-pathway-would-turbocharge-ukraines-post-war-recovery-new-study-shows> (дата звернення: 17.05.2025).
146. "Green" recovery of the metallurgical sector of Ukraine. Steel Radar. URL: <https://www.steelradar.com/en/green-recovery-of-the-metallurgical-sector-of-ukraine/> (дата звернення: 17.05.2025).
147. Україна спільно з Республікою Корея розвиватиме проєкти в галузях зеленої металургії та енергетики. Міністерство економіки України. URL: <https://me.gov.ua/News/Detail/e631648c-6f2d-45a8-b9a3-dfd78dcaaeec?lang=uk-UA&title=UkrainaSpilnoZRespublikoiuKoreiaRozvivatimeProktiVGaluziakhZelenoiMetalurgiiTaEnergetiki> (дата звернення: 17.05.2025).
148. Інструмент «Ukraine Facility». European Commission. URL: https://commission.europa.eu/topics/eu-solidarity-ukraine/eu-assistance-ukraine/ukraine-facility_uk (дата звернення: 17.05.2025).
149. RLF - AMKR Working Capital. European Bank for Reconstruction and Development. URL: <https://www.ebrd.com/home/work-with-us/projects/psd/54193.html> (дата звернення: 17.05.2025).
150. Половина власної генерації до 2030 року. Як війна та СВМ змінюють енергостратегію компанії. Метінвест. URL: <https://metinvest.media/ua/page/polovina-vlasno-generac-do-2030-roku-yak-vyna-ta-sbam-zmnyuyut-energostrategyu-kompan-soo-grupi-oleksandr-mironenko-dlya-forbes> (дата звернення: 17.05.2025).
151. Єрмоленко Г. «АрселорМіттал Кривий Ріг» закладає основу для майбутніх перетворень. GMK Center. URL: <https://gmk.center/ua/news/arselormittal-krivij-rig-zakladaie-osnovu-dlya-masshtabnih-peretvoren-ceo/> (дата звернення: 17.05.2025).
152. Ukraine's green hydrogen potential. Emerging Europe. URL: <https://emerging-europe.com/analysis/ukraines-green-hydrogen-potential/> (дата звернення: 18.05.2025).
153. Проєкт водневої стратегії України: шлях до зеленого енергетичного майбутнього. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. URL: <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/0.1.Рєпкін-pptx.pdf> (дата звернення: 18.05.2025).

154. Баланс українського ринку металобрухту 2022-2024 pp. УАВтормет. URL: <https://www.facebook.com/share/p/1DrSpti9P7/> (дата звернення: 18.05.2025).
155. Баланс українського ринку металобрухту 2021-2023 pp. УАВтормет. URL: <https://www.facebook.com/share/p/1X9ehftegB/> (дата звернення: 18.05.2025).
156. Баланс українського ринку металобрухту (січень-грудень 2019/2020 pp.) – Українська асоціація вторинних металів. УАВтормет. URL: <https://uavtormet.com/statistical-information/balance-of-the-ukrainian-scrap-market-january-december-2019-2020/> (дата звернення: 18.05.2025).
157. Україна серед світових лідерів по запасах залізних руд. Держзовнішінформ ДП. URL: <https://dzi.gov.ua/press-centre/press-release/ukrayina-sered-svitovyh-lideriv-po-zapasah-zaliznyh-rud/> (дата звернення: 18.05.2025).
158. «Залізорудна економіка»: вчені пропонують зробити ставку на ЗРС. Уапром. URL: <https://uaprom.info/article/zalizadorudna-ekonomika-vcheni-stavku-na-zrs/> (дата звернення: 18.05.2025).
159. Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-p#n381> (дата звернення: 18.05.2025).
160. Україна планує впровадити національну систему торгівлі викидами CO₂ у 2026 році. Урядовий портал. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/ukraina-planuie-vprovadyty-natsionalnu-systemu-torhivli-vykydamy-co2-u-2026-rotsi-mindovkillia> (дата звернення: 24.05.2026).
161. Про затвердження плану заходів щодо створення національної системи торгівлі квотами на викиди парникових газів : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 21.02.2025 № 146-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/146-2025-p#Text> (дата звернення: 24.05.2026).
162. Linking of Switzerland to the EU emissions trading system. Council of the European Union. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2019/12/09/linking-of-switzerland-to-the-eu-emissions-trading-system-entry-into-force-on-1-january-2020/> (дата звернення: 17.05.2025).

163. Податковий кодекс України : Кодекс України від 02.12.2010 № 2755-VI : станом на 15 квіт. 2026 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text> (дата звернення: 24.04.2026).
164. Policy framework for green reconstruction: Towards an EU-readiness of Ukraine's carbon pricing. Deloitte. URL: <https://www.deloitte.com/de/de/services/risk-advisory/research/policy-framework-green-reconstruction-ukraine.html> (дата звернення: 17.05.2025).
165. Григоренко Ю. Унаслідок введення CBAM Україна може втратити \$7,2 млрд ВВП до 2030 року. GMK Center. URL: <https://gmk.center/ua/posts/unaslidok-vvedennia-cbam-ukraina-mozhe-vtratyty-7-2-mlrd-vvp-do-2030-roku/> (дата звернення: 17.05.2025).
166. The impact of the CBAM on the economy of Ukraine. Federation of employers of Ukraine. URL: https://fru.ua/images/doc/2025/Research_impact_assessment_EN.pdf (дата звернення: 17.05.2025).
167. Григоренко Ю. Через CBAM Україна може втратити 6,4% від ВВП до 2030 року. GMK Center. URL: <https://gmk.center/ua/posts/cherez-cbam-ukraina-mozhe-vtratyty-6-4-vid-vvp-do-2030-roku/> (дата звернення: 17.05.2025).
168. CBAM's effects on Ukraine's economy & its decarbonisation efforts / М. Chepeliev та ін. Green Deal Ukraïna. URL: <https://greendealukraina.org/assets/images/reports/cbam.pdf> (дата звернення: 17.05.2025).
169. Виробництво та споживання металопрокату в Україні за 12 місяців 2025 р. Укрметалургпром. URL: <https://www.ukrmetprom.org/virobnictvo-ta-spozhyvannya-metalopro-52/> (дата звернення: 24.05.2026).
170. Виробництво та споживання металопрокату в Україні за 4 міс. 2026 р. Укрметалургпром. URL: <https://www.ukrmetprom.org/virobnictvo-ta-spozhyvannya-metalopro-56/> (дата звернення: 24.05.2026).
171. Найбільший меткомбінат України повністю припинив експорт до ЄС. NV бізнес. URL: <https://biz.nv.ua/ukr/markets/arselormittal-kriviy-rig-povnistyuu-zupiniv-eksport-do-yes-vtrativ-polovinu-zamovlen-na-2026-50596634.html> (дата звернення: 24.05.2026).

172. Price of CBAM certificates. Taxation and Customs Union. URL: https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism/price-cbam-certificates_en (дата звернення: 24.05.2026).
173. Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003. EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2003/87/2024-03-01> (дата звернення: 24.05.2026).
174. Commission Implementing Decision (EU) 2021/927 of 31 May 2021. EUR-Lex. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dec_impl/2021/927/oj/eng (дата звернення: 24.05.2026).
175. Commission Implementing Regulation (EU) 2025/2620 of 16 December 2025. EUR-Lex. URL: http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2025/2620/oj (дата звернення: 24.05.2026).
176. Commission Implementing Regulation (EU) 2025/2621 of 16 December 2025. URL: http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2025/2621/oj (дата звернення: 24.05.2026).
177. Steel Statistical Yearbook 2025. Worldsteel. URL: <https://www.acero.org.ar/wp-content/uploads/2025/12/Steel-Statistical-Yearbook-2025.pdf> (дата звернення: 24.05.2025).
178. 2025 Statistical Review of World Energy. Energy Institute. URL: <https://www.energyinst.org/statistical-review/home> (дата звернення: 24.05.2026).
179. Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the application of the Regulation on the Carbon Border Adjustment Mechanism COM/2025/783 final. EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52025DC0783> (дата звернення: 24.05.2026).
180. Проблеми дії регламенту CBAM та дефолтних значень для EAF і негативний вплив на експорт до ЄС. Interpipe. URL: <https://interpipe.biz/ua/problemy-dii-rehlamentu-svam-ta-defoltnykh-znachen-dlia-eaf-i-nehatyvnyi-vplyv-na-eksport-do-yes/> (дата звернення: 24.05.2026).
181. Ukraine Facility. Enlargement and Eastern Neighbourhood. URL: https://enlargement.ec.europa.eu/funding-technical-assistance/ukraine-facility_en (дата звернення: 24.05.2026).
182. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої

сторони : Угода Україна від 27.06.2014 : станом на 14 жовт. 2025 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text (дата звернення: 24.05.2026).

183. Додаток XXX до глави 6 «Навколишнє природне середовище» Розділу V Угоди про асоціацію між Україною та ЄС. Урядовий портал. URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/ugoda-pro-asociaciyu/30_Annex.pdf (дата звернення: 24.05.2026).

184. Lohvynenko Y. «Green» restoration of the steel industry of Ukraine. SWorldJournal. 2025. № 29-02. С. 60–68. URL: <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2025-29-02-015> (дата звернення: 01.06.2026).

185. Логвиненко Є. Екологічний та євроінтеграційний аспекти виробництва сталі в Україні в умовах війни. «Наукова весна» 2023: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (м. Дніпро, 1-3 березня 2023 р.). Дніпро: НТУ «ДП», 2023. С. 108-111.

186. Логвиненко Є. Перспективи екологізації вітчизняної металургійної індустрії. Міжнародний вимір відновлення економіки України: Зб. матеріалів студентської наук.-практ. Інтернет-конф. (м. Київ, 23 листопада 2023 р.). Київ: КНЕУ, 2023. С. 109-113.

187. Логвиненко Є. СВАН та виробництво сталі в Україні. «Економічний та соціальний вплив конфліктів на сучасний світ»: книга абстрактів міжнародної наукової конференції (м. Седльце, 23 травня 2024 р.). Седльце: Академія Прикладних Наук Мазовія, 2024. С. 157-159.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Обсяг виробництва сирової сталі у світі за процесами у 2023 році (тис.

т)

№	Країна / регіон	Кисневий конвертер	Електропіч	Інше	Всього
1	Китай	927 000,00	101 860,00	-	1 028 860,00
2	Індія	61 352,00	79 410,00	-	140 762,00
3	ЄС	70 279,00	55 989,00	-	126 268,00
4	Японія	64 167,00	22 834,00	-	87 001,00
5	США	25 765,00	55 620,00	-	81 385,00
6	росія	49 470,00	24 335,00	2 230,00	76 035,00
7	Південна Корея	46 999,00	19 684,00	-	66 683,00
8	Туреччина	9 559,00	24 155,00	-	33 714,00
9	Бразилія	24 326,00	7 290,00	413,00	32 029,00
10	Іран	2 445,00	28 585,00	-	31 030,00
11	В'єтнам	12 745,00	2 883,00	3 586,00	19 214,00
12	Тайвань, Китай	11 333,00	7 816,00	-	19 149,00
13	Індонезія	11 850,00	5 000,00	-	16 850,00
14	Мексика	1 065,00	15 358,00	-	16 423,00
15	Канада	7 084,00	5 084,00	-	12 168,00
16	Єгипет	-	10 354,00	-	10 354,00
17	Саудівська Аравія	-	9 940,00	-	9 940,00
18	Малайзія	5 671,00	1 859,00	-	7 530,00
19	Україна	2 996,00	764,00	2 467,00	6 227,00
20	Велика Британія	4 473,00	1 143,00	-	5 616,00
21	Австралія	3 998,00	1 461,00	-	5 459,00
22	Пакистан	-	5 337,00	-	5 337,00
23	Бангладеш	-	5 000,00	-	5 000,00
24	Таїланд	-	4 976,00	-	4 976,00
25	Аргентина	2 112,00	2 816,00	-	4 928,00
26	Південна Африка	2 767,00	2 104,00	-	4 871,00
27	Алжир	400,00	4 025,00	-	4 425,00
28	Казахстан	3 840,00	75,00	-	3 915,00
29	ОАЕ	-	3 773,00	-	3 773,00
30	Оман	-	2 900,00	-	2 900,00
31	Ірак	-	2 755,00	-	2 755,00
32	Білорусь	-	2 300,00	-	2 300,00
33	Філіппіни	-	1 851,00	-	1 851,00
34	Перу	-	1 559,00	-	1 559,00
35	Сербія	1 130,00	324,00	-	1 454,00
36	Марокко	-	1 397,00	-	1 397,00
37	Колумбія	225,00	1 145,00	-	1 370,00
38	Кенія	-	1 365,00	-	1 365,00
39	Бахрейн	-	1 265,00	-	1 265,00
40	Швейцарія	-	1 200,00	-	1 200,00
41	Нігерія	-	1 190,00	-	1 190,00
42	Чилі	715,00	447,00	-	1 162,00
43	Катар	-	1 146,00	-	1 146,00

44	Кувейт	-	1 000,00	-	1 000,00
45	Узбекистан	-	1 000,00	-	1 000,00
46	Лівія	-	902,00	-	902,00
47	Танзанія	-	695,00	-	695,00
48	Норвегія	-	690,00	-	690,00
49	Уганда	-	630,00	-	630,00
50	Боснія та Герцеговина	620,00	-	-	620,00
51	Нова Зеландія	555,00	-	-	555,00
52	Молдова	-	500,00	-	500,00
53	М'янма	-	500,00	-	500,00
54	Еквадор	-	484,00	-	484,00
55	Сінгапур	-	465,00	-	465,00
56	Азербайджан	-	349,00	-	349,00
57	Ізраїль	-	300,00	-	300,00
58	Йорданія	-	300,00	-	300,00
59	Північна Македонія	-	296,00	-	296,00
60	КНДР	150,00	140,00	-	290,00
61	Замбія	-	260,00	-	260,00
62	Гватемала	-	241,00	-	241,00
63	Гана	-	220,00	-	220,00
64	Ангола	-	190,00	-	190,00
65	Куба	-	175,00	-	175,00
66	Грузія	-	-	128,00	128,00
67	Ємен	-	100,00	-	100,00
68	Сальвадор	-	84,00	-	84,00
69	Туніс	-	69,00	-	69,00
70	Уругвай	-	48,00	-	48,00
71	Монголія	-	38,00	-	38,00
72	Шрі-Ланка	-	30,00	-	30,00
73	Демократична Республіка Конго	-	30,00	-	30,00
74	Венесуела	-	27,00	-	27,00
75	Парагвай	21,00	-	-	21,00
76	Мавританія	-	-	5,00	5,00

Джерело: складено автором за даними [92]

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Порівняльна характеристика національних моделей модернізації металургійної індустрії в умовах декарбонізації

Країна / регіон і тип моделі	Основні інструменти	Технологічний фокус	Переваги	Обмеження
Китай (державно-планова)	СТВ (безкоштовні квоти), рекордні державні субсидії	Екологічна модернізація існуючих потужностей без їх закриття, будівництво нових доменних печей за кордоном	Висока державна спроможність для швидкого масштабування, координація інвестицій, поєднання модернізації із збереженням промисловості	Глобальна надлишкова потужність, високе субсидування знижує роль ринку, ускладнене закриття старих активів, домінування вугілля в енергобалансі
Індія (наздоганяюча)	Національна місія з водневої енергетики, СТВ, таксономія «зеленої сталі»	Паралельні інвестиції у традиційний маршрут BF-BOF та пілотні проекти DRI-H ₂	Динамічність і реальна перспектива інтеграції нових маршрутів під час росту галузі	Висока капіталомісткість, слабка фінансова спроможність виробників, конфлікт ціни та темпів екологізації, висока частка вугілля в енергобалансі
ЄС (регуляторно-інноваційна)	СТВ ЄС, СВAM, галузеві стандарти, Угода про чисту промисловість, Інноваційний фонд	DRI-H ₂ як головний шлях зниження викидів	Стабільне регулювання, стандартизований ринок, фінансування інновацій та зелена енергетика	Нерівномірність фіскальних можливостей країн ЄС, ризик втрати експортної конкурентоспроможності, дефіцит дешевої низьковуглецевої електрики та водню
Японія (корпоративно-інноваційна)	Фонд зелених інновацій, добровільна СТВ, державні субсидії	Воднева металургія (вдування водню в доменні печі), вловлювання та зберігання вуглецю, заміна доменних печей на DRI-H ₂	Технологічна глибина, врахування проблем чистоти металу та інерційності інтегрованих комбінатів	Залежність від доступу до дешевої енергії та водню, тривалий цикл комерціалізації, висока капіталомісткість, низька частка низьковуглецевих джерел
США (інвестиційно-стимулююча)	Закон про зниження інфляції, Закон про інфраструктуру, державні закупівлі	Перехід від BF-BOF до DRI-EAF, інновації (електроліз заліза)	Приватні інвестиції, прискорення комерціалізації через альянси, домінування електродугових печей	Менша регуляторна жорсткість у порівнянні з ЄС, що уповільнює виведення неекологічних потужностей, слабший загальногалузевий тиск

Джерело: узагальнено на основі [49; 94-110; 141]

ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Дані для проведення кореляційно-регресійного аналізу

Місяць/ рік	Вир- цтво (Y), тис. т	Пропускна спром. мор. портів (X1), млн т/рік	Середній курс НБУ (X2), грн/долар	Фактор лібералізації (X3)	Середні місячні ціни РДН (X4), грн/МВт*год	Лаг (X5), тис. т
Лип.19	1 784,00	276,1	25,75	0	1 635,39	1 663,00
Сер.19	1 938,00	276,1	25,25	0	1 670,19	1 784,00
Вер.19	1 747,00	276,1	24,77	0	1 602,54	1 938,00
Жов.19	1 561,00	276,1	24,81	0	1 537,23	1 747,00
Лис.19	1 325,00	276,1	24,37	0	1 311,38	1 561,00
Гру.19	1 560,00	276,1	23,61	0	1 187,62	1 325,00
Січ.20	1 800,00	276,1	24,12	0	1 399,10	1 560,00
Лют.20	1 734,00	276,1	24,60	0	1 227,76	1 800,00
Бер.20	1 972,00	276,1	26,41	0	1 377,06	1 734,00
Кві.20	1 225,00	276,1	27,22	0	1 230,80	1 972,00
Тра.20	1 550,00	276,1	26,81	0	1 175,83	1 225,00
Чер.20	1 815,00	276,1	26,71	0	1 214,05	1 550,00
Лип.20	1 771,00	276,1	27,31	0	1 193,80	1 815,00
Сер.20	1 875,00	276,1	27,52	0	1 286,80	1 771,00
Вер.20	1 644,00	276,1	27,98	0	1 479,17	1 875,00
Жов.20	1 630,00	276,1	28,32	0	1 295,99	1 644,00
Лис.20	1 607,00	276,1	28,31	0	1 520,64	1 630,00
Гру.20	1 926,00	276,1	28,17	0	1 538,07	1 607,00
Січ.21	1 839,00	276,1	28,22	0	1 438,13	1 926,00
Лют.21	1 674,00	276,1	27,88	0	1 635,42	1 839,00
Бер.21	1 780,00	276,1	27,80	0	1 369,87	1 674,00
Кві.21	1 845,00	276,1	27,93	0	1 449,28	1 780,00
Тра.21	1 850,00	276,1	27,60	0	1 001,87	1 845,00
Чер.21	1 869,00	276,1	27,24	0	1 416,83	1 850,00
Лип.21	1 875,00	276,1	27,21	0	1 391,98	1 869,00
Сер.21	1 858,00	276,1	26,78	0	2 073,67	1 875,00
Вер.21	1 704,00	276,1	26,73	0	2 229,29	1 858,00
Жов.21	1 609,00	276,1	26,37	0	2 774,47	1 704,00
Лис.21	1 719,00	276,1	26,45	0	3 294,61	1 609,00
Гру.21	1 744,00	276,1	27,21	0	3 147,13	1 719,00
Січ.22	1 857,00	276,1	27,98	0	2 836,14	1 744,00
Лют.22	1 547,10	276,1	28,41	0	2 096,72	1 857,00
Бер.22	245,90	22,3	29,25	0	2 295,63	1 547,10
Кві.22	208,00	22,3	29,25	0	2 322,18	245,90
Тра.22	386,00	22,3	29,25	0	2 262,75	208,00
Чер.22	295,00	22,3	29,25	1	2 255,66	386,00
Лип.22	281,00	22,3	31,85	1	2 624,37	295,00
Сер.22	366,00	22,3	36,57	1	2 985,85	281,00
Вер.22	340,00	22,3	36,57	1	3 473,85	366,00
Жов.22	318,00	22,3	36,57	1	3 530,61	340,00
Лис.22	313,00	22,3	36,57	1	3 429,34	318,00

Гру.22	106,00	22,3	36,57	1	3 330,43	313,00
Січ.23	284,00	22,3	36,57	1	3 458,17	106,00
Лют.23	424,00	22,3	36,57	1	3 152,40	284,00
Бер.23	527,00	22,3	36,57	1	3 219,04	424,00
Кві.23	574,00	22,3	36,57	1	2 764,65	527,00
Тра.23	583,00	22,3	36,57	1	2 878,46	574,00
Чер.23	437,00	22,3	36,57	1	2 986,73	583,00
Лип.23	601,00	22,3	36,57	1	3 622,62	437,00
Сер.23	602,00	204,1	36,57	1	4 163,48	601,00
Вер.23	558,00	204,1	36,57	1	3 880,70	602,00
Жов.23	572,00	204,1	36,52	1	4 021,77	558,00
Лис.23	545,00	204,1	36,16	1	4 321,28	572,00
Гру.23	296,00	204,1	37,09	1	4 027,69	545,00
Січ.24	544,00	204,1	37,87	1	3 596,60	296,00
Лют.24	532,00	204,1	37,97	1	3 246,63	544,00
Бер.24	611,00	204,1	38,66	1	3 049,49	532,00
Кві.24	715,00	204,1	39,36	1	3 313,56	611,00
Тра.24	737,00	204,1	39,71	1	4 221,91	715,00
Чер.24	735,00	204,1	40,48	1	5 382,80	737,00
Лип.24	709,00	204,1	40,99	1	5 952,72	735,00
Сер.24	690,70	204,1	41,19	1	5 734,68	709,00
Вер.24	610	204,1	41,25	1	5 657,53	690,70
Жов.24	603,8	204,1	41,24	1	5 534,38	610,00
Лис.24	540,8	204,1	41,35	1	5 544,32	603,80
Гру.24	547	204,1	41,75	1	5 958,34	540,80

Джерело: складено автором за даними [125; 132; 133; 134]

ДОДАТОК Д

Таблиця Д.1 – Розрахунок ЕЕІ-внеску сектору С24 країн-джерел у кінцевому попиті секторів Китаю, 2020 р.

Країна-джерело ДВ	Сектор країни-джерела ДВ	Країна кінцевого попиту	Сектор країни кінцевого попиту	Втілена ДВ сектору країни-джерела у кінцевому попиті сектору країни кінцевого попиту, млн дол. США	Загальна втілена ДВ у кінцевому попиті сектору країни кінцевого попиту, млн дол. США	Частка втіленої ДВ сектору країни-джерела у загальній втіленій ДВ кінцевого попиту сектору країни кінцевого попиту	Викиди парникових газів сектору країни-джерела (S1+S2+S3U), млн т CO ₂ -екв.	ДВ, створена сектором країни-джерела, млн дол. США	Вуглецева інтенсивність сектору країни-джерела, кг CO ₂ -екв./дол. ДВ	ЕЕІ-внесок сектору країни-джерела у кінцевий попит сектору країни кінцевого попиту, кг CO ₂ -екв./дол. ДВ
CHN	C24	CHN	C25	18 066,710	158 699,126	0,11384	4 400,355	443 028,795	9,93244	1,13073
JPN	C24	CHN	C25	388,728	158 699,126	0,00245	320,686	77 952,569	4,11386	0,01008
RUS	C24	CHN	C25	171,489	158 699,126	0,00108	512,625	37 336,500	13,72986	0,01484
IDN	C24	CHN	C25	162,393	158 699,126	0,00102	13,765	8 664,175	1,58873	0,00163
KOR	C24	CHN	C25	126,698	158 699,126	0,00080	216,596	24 570,535	8,81527	0,00704
USA	C24	CHN	C25	100,218	158 699,126	0,00063	199,913	69 916,032	2,85933	0,00181
CHN	C24	CHN	C27	15 500,466	174 590,969	0,08878	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,88182
JPN	C24	CHN	C27	670,636	174 590,969	0,00384	320,686	77 952,569	4,11386	0,01580
RUS	C24	CHN	C27	281,636	174 590,969	0,00161	512,625	37 336,500	13,72986	0,02215
USA	C24	CHN	C27	181,957	174 590,969	0,00104	199,913	69 916,032	2,85933	0,00298
KOR	C24	CHN	C27	147,844	174 590,969	0,00085	216,596	24 570,535	8,81527	0,00746
TWN	C24	CHN	C27	105,721	174 590,969	0,00061	171,721	9 530,777	18,01752	0,01091
CHN	C24	CHN	C28	38 955,164	576 912,911	0,06752	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,67067
JPN	C24	CHN	C28	1 676,587	576 912,911	0,00291	320,686	77 952,569	4,11386	0,01196
KOR	C24	CHN	C28	470,518	576 912,911	0,00082	216,596	24 570,535	8,81527	0,00719

RUS	C24	CHN	C28	469,538	576 912,911	0,00081	512,625	37 336,500	13,72986	0,01117
USA	C24	CHN	C28	388,181	576 912,911	0,00067	199,913	69 916,032	2,85933	0,00192
IDN	C24	CHN	C28	346,608	576 912,911	0,00060	13,765	8 664,175	1,58873	0,00095
CHN	C24	CHN	C29	28 537,930	523 359,904	0,05453	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,54160
JPN	C24	CHN	C29	1 445,483	523 359,904	0,00276	320,686	77 952,569	4,11386	0,01136
RUS	C24	CHN	C29	413,966	523 359,904	0,00079	512,625	37 336,500	13,72986	0,01086
USA	C24	CHN	C29	354,945	523 359,904	0,00068	199,913	69 916,032	2,85933	0,00194
KOR	C24	CHN	C29	268,518	523 359,904	0,00051	216,596	24 570,535	8,81527	0,00452
DEU	C24	CHN	C29	249,861	523 359,904	0,00048	123,854	20 670,835	5,99173	0,00286
CHN	C24	CHN	C30	7 806,744	119 209,812	0,06549	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,65045
JPN	C24	CHN	C30	297,058	119 209,812	0,00249	320,686	77 952,569	4,11386	0,01025
RUS	C24	CHN	C30	106,151	119 209,812	0,00089	512,625	37 336,500	13,72986	0,01223
KOR	C24	CHN	C30	97,434	119 209,812	0,00082	216,596	24 570,535	8,81527	0,00721
USA	C24	CHN	C30	87,070	119 209,812	0,00073	199,913	69 916,032	2,85933	0,00209
IDN	C24	CHN	C30	61,766	119 209,812	0,00052	13,765	8 664,175	1,58873	0,00082
CHN	C24	CHN	F	185 055,392	3 584 191,128	0,05163	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,51282
JPN	C24	CHN	F	2 944,038	3 584 191,128	0,00082	320,686	77 952,569	4,11386	0,00338
IDN	C24	CHN	F	1 848,882	3 584 191,128	0,00052	13,765	8 664,175	1,58873	0,00082
RUS	C24	CHN	F	1 254,213	3 584 191,128	0,00035	512,625	37 336,500	13,72986	0,00480
KOR	C24	CHN	F	1 181,146	3 584 191,128	0,00033	216,596	24 570,535	8,81527	0,00291
IND	C24	CHN	F	771,695	3 584 191,128	0,00022	642,827	49 762,490	12,91790	0,00278
CHN	C24	CHN	C10T12	3 281,193	877 757,180	0,00374	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,03713
JPN	C24	CHN	C10T12	144,029	877 757,180	0,00016	320,686	77 952,569	4,11386	0,00068
RUS	C24	CHN	C10T12	73,082	877 757,180	0,00008	512,625	37 336,500	13,72986	0,00114
USA	C24	CHN	C10T12	63,354	877 757,180	0,00007	199,913	69 916,032	2,85933	0,00021
KOR	C24	CHN	C10T12	48,384	877 757,180	0,00006	216,596	24 570,535	8,81527	0,00049
IND	C24	CHN	C10T12	34,107	877 757,180	0,00004	642,827	49 762,490	12,91790	0,00050

Примітка: ДВ – додана вартість

Джерело: розраховано на основі [136; 137; 138]

ДОДАТОК Е

Таблиця Е.1 – Розрахунок ЕЕІ-внеску сектору С24 країн-джерел у кінцевому попиті секторів Німеччини, 2020 р.

Країна-джерело ДВ	Сектор країни-джерела ДВ	Країна кінцевого попиту	Сектор країни кінцевого попиту	Втілена ДВ сектору країни-джерела у кінцевому попиті сектору країни кінцевого попиту, млн дол. США	Загальна втілена ДВ у кінцевому попиті сектору країни кінцевого попиту, млн дол. США	Частка втіленої ДВ сектору країни-джерела у загальній втіленій ДВ кінцевого попиту сектору країни кінцевого попиту	Викиди парникових газів сектору країни-джерела (S1+S2+S3U), млн т CO ₂ -екв.	ДВ, створена сектором країни-джерела, млн дол. США	Вуглецева інтенсивність сектору країни-джерела, кг CO ₂ -екв./дол. ДВ	ЕЕІ-внесок сектору країни-джерела у кінцевий попит сектору країни кінцевого попиту, кг CO ₂ -екв./дол. ДВ
DEU	C24	DEU	C25	611,624	36 572,547	0,01672	123,854	20 670,835	5,99173	0,10020
CHN	C24	DEU	C25	185,622	36 572,547	0,00508	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,05041
RUS	C24	DEU	C25	92,168	36 572,547	0,00252	512,625	37 336,500	13,72986	0,03460
ITA	C24	DEU	C25	83,878	36 572,547	0,00229	49,218	9 653,643	5,09839	0,01169
AUT	C24	DEU	C25	82,979	36 572,547	0,00227	22,656	4 643,225	4,87937	0,01107
USA	C24	DEU	C25	69,302	36 572,547	0,00189	199,913	69 916,032	2,85933	0,00542
CHN	C24	DEU	C27	586,212	174 590,969	0,00336	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,03335
DEU	C24	DEU	C27	243,569	174 590,969	0,00140	123,854	20 670,835	5,99173	0,00836
RUS	C24	DEU	C27	81,828	174 590,969	0,00047	512,625	37 336,500	13,72986	0,00643
USA	C24	DEU	C27	76,872	174 590,969	0,00044	199,913	69 916,032	2,85933	0,00126
JPN	C24	DEU	C27	68,831	174 590,969	0,00039	320,686	77 952,569	4,11386	0,00162
ITA	C24	DEU	C27	57,008	174 590,969	0,00033	49,218	9 653,643	5,09839	0,00166
DEU	C24	DEU	C28	632,259	86 156,268	0,00734	123,854	20 670,835	5,99173	0,04397
CHN	C24	DEU	C28	367,725	86 156,268	0,00427	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,04239
ITA	C24	DEU	C28	107,410	86 156,268	0,00125	49,218	9 653,643	5,09839	0,00636

JPN	C24	DEU	C28	103,578	86 156,268	0,00120	320,686	77 952,569	4,11386	0,00495
USA	C24	DEU	C28	101,849	86 156,268	0,00118	199,913	69 916,032	2,85933	0,00338
RUS	C24	DEU	C28	95,691	86 156,268	0,00111	512,625	37 336,500	13,72986	0,01525
DEU	C24	DEU	C29	1 142,720	155 726,909	0,00734	123,854	20 670,835	5,99173	0,04397
CHN	C24	DEU	C29	354,537	155 726,909	0,00228	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,02261
ITA	C24	DEU	C29	181,304	155 726,909	0,00116	49,218	9 653,643	5,09839	0,00594
USA	C24	DEU	C29	167,197	155 726,909	0,00107	199,913	69 916,032	2,85933	0,00307
JPN	C24	DEU	C29	152,803	155 726,909	0,00098	320,686	77 952,569	4,11386	0,00404
AUT	C24	DEU	C29	150,249	155 726,909	0,00096	22,656	4 643,225	4,87937	0,00471
CHN	C24	DEU	C30	176,513	119 209,812	0,00148	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,01471
DEU	C24	DEU	C30	108,719	119 209,812	0,00091	123,854	20 670,835	5,99173	0,00546
JPN	C24	DEU	C30	56,365	119 209,812	0,00047	320,686	77 952,569	4,11386	0,00195
USA	C24	DEU	C30	46,355	119 209,812	0,00039	199,913	69 916,032	2,85933	0,00111
RUS	C24	DEU	C30	23,890	119 209,812	0,00020	512,625	37 336,500	13,72986	0,00275
ITA	C24	DEU	C30	19,416	119 209,812	0,00016	49,218	9 653,643	5,09839	0,00083
DEU	C24	DEU	F	1 055,170	281 472,909	0,00375	123,854	20 670,835	5,99173	0,02246
CHN	C24	DEU	F	344,986	281 472,909	0,00123	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,01217
RUS	C24	DEU	F	170,173	281 472,909	0,00060	512,625	37 336,500	13,72986	0,00830
USA	C24	DEU	F	137,689	281 472,909	0,00049	199,913	69 916,032	2,85933	0,00140
ITA	C24	DEU	F	134,353	281 472,909	0,00048	49,218	9 653,643	5,09839	0,00243
AUT	C24	DEU	F	124,779	281 472,909	0,00044	22,656	4 643,225	4,87937	0,00216
DEU	C24	DEU	C10T12	120,973	160 240,092	0,00075	123,854	20 670,835	5,99173	0,00452
CHN	C24	DEU	C10T12	71,938	160 240,092	0,00045	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,00446
RUS	C24	DEU	C10T12	32,904	160 240,092	0,00021	512,625	37 336,500	13,72986	0,00282
USA	C24	DEU	C10T12	27,393	160 240,092	0,00017	199,913	69 916,032	2,85933	0,00049
ITA	C24	DEU	C10T12	26,196	160 240,092	0,00016	49,218	9 653,643	5,09839	0,00083
AUT	C24	DEU	C10T12	19,886	160 240,092	0,00012	22,656	4 643,225	4,87937	0,00061

Примітка: ДВ – додана вартість

Джерело: розраховано на основі [136; 137; 138]

ДОДАТОК Ж

Таблиця Ж.1 – Розрахунок ЕЕІ-внеску сектору С24 країн-джерел у кінцевому попиті секторів США, 2020 р.

Країна-джерело ДВ	Сектор країни-джерела ДВ	Країна кінцевого попиту	Сектор країни кінцевого попиту	Втілена ДВ сектору країни-джерела у кінцевому попиті сектору країни кінцевого попиту, млн дол. США	Загальна втілена ДВ у кінцевому попиті сектору країни кінцевого попиту, млн дол. США	Частка втіленої ДВ сектору країни-джерела у загальній втіленій ДВ кінцевого попиту сектору країни кінцевого попиту	Викиди парникових газів сектору країни-джерела (S1+S2+S3U), млн т CO ₂ -екв.	ДВ, створена сектором країни-джерела, млн дол. США	Вуглецева інтенсивність сектору країни-джерела, кг CO ₂ -екв./дол. ДВ	ЕЕІ-внесок сектору країни-джерела у кінцевий попит сектору країни кінцевого попиту, кг CO ₂ -екв./дол. ДВ
USA	C24	USA	C25	4 322,439	104 815,373	0,04124	199,913	69 916,032	2,85933	0,11791
CHN	C24	USA	C25	654,455	104 815,373	0,00624	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,06202
CAN	C24	USA	C25	279,972	104 815,373	0,00267	64,237	8 005,199	8,02441	0,02143
MEX	C24	USA	C25	269,241	104 815,373	0,00257	42,627	12 437,476	3,42730	0,00880
JPN	C24	USA	C25	170,390	104 815,373	0,00163	320,686	77 952,569	4,11386	0,00669
RUS	C24	USA	C25	131,640	104 815,373	0,00126	512,625	37 336,500	13,72986	0,01724
USA	C24	USA	C27	2 572,241	124 446,261	0,02067	199,913	69 916,032	2,85933	0,05910
CHN	C24	USA	C27	2 472,104	124 446,261	0,01986	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,19731
MEX	C24	USA	C27	500,728	124 446,261	0,00402	42,627	12 437,476	3,42730	0,01379
JPN	C24	USA	C27	372,067	124 446,261	0,00299	320,686	77 952,569	4,11386	0,01230
CAN	C24	USA	C27	233,147	124 446,261	0,00187	64,237	8 005,199	8,02441	0,01503
RUS	C24	USA	C27	172,277	124 446,261	0,00138	512,625	37 336,500	13,72986	0,01901
USA	C24	USA	C28	5 023,511	283 676,187	0,01771	199,913	69 916,032	2,85933	0,05063
CHN	C24	USA	C28	1 963,041	283 676,187	0,00692	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,06873
JPN	C24	USA	C28	964,899	283 676,187	0,00340	320,686	77 952,569	4,11386	0,01399
MEX	C24	USA	C28	495,706	283 676,187	0,00175	42,627	12 437,476	3,42730	0,00599

CAN	C24	USA	C28	410,791	283 676,187	0,00145	64,237	8 005,199	8,02441	0,01162
KOR	C24	USA	C28	300,147	283 676,187	0,00106	216,596	24 570,535	8,81527	0,00933
USA	C24	USA	C29	11 261,364	620 490,336	0,01815	199,913	69 916,032	2,85933	0,05189
JPN	C24	USA	C29	2 638,848	620 490,336	0,00425	320,686	77 952,569	4,11386	0,01750
CHN	C24	USA	C29	2 441,283	620 490,336	0,00393	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,03908
MEX	C24	USA	C29	2 088,952	620 490,336	0,00337	42,627	12 437,476	3,42730	0,01154
CAN	C24	USA	C29	957,245	620 490,336	0,00154	64,237	8 005,199	8,02441	0,01238
KOR	C24	USA	C29	898,656	620 490,336	0,00145	216,596	24 570,535	8,81527	0,01277
USA	C24	USA	C30	1 808,540	175 309,411	0,01032	199,913	69 916,032	2,85933	0,02950
CHN	C24	USA	C30	353,355	175 309,411	0,00202	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,02002
JPN	C24	USA	C30	172,621	175 309,411	0,00098	320,686	77 952,569	4,11386	0,00405
CAN	C24	USA	C30	137,144	175 309,411	0,00078	64,237	8 005,199	8,02441	0,00628
MEX	C24	USA	C30	135,336	175 309,411	0,00077	42,627	12 437,476	3,42730	0,00265
RUS	C24	USA	C30	77,246	175 309,411	0,00044	512,625	37 336,500	13,72986	0,00605
USA	C24	USA	F	6 569,695	1 435 559,462	0,00458	199,913	69 916,032	2,85933	0,01309
CHN	C24	USA	F	1 317,561	1 435 559,462	0,00092	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,00912
MEX	C24	USA	F	424,214	1 435 559,462	0,00030	42,627	12 437,476	3,42730	0,00101
CAN	C24	USA	F	418,109	1 435 559,462	0,00029	64,237	8 005,199	8,02441	0,00234
JPN	C24	USA	F	327,982	1 435 559,462	0,00023	320,686	77 952,569	4,11386	0,00094
RUS	C24	USA	F	206,899	1 435 559,462	0,00014	512,625	37 336,500	13,72986	0,00198
USA	C24	USA	C10T12	2 434,841	839 312,424	0,00290	199,913	69 916,032	2,85933	0,00829
CHN	C24	USA	C10T12	400,759	839 312,424	0,00048	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,00474
CAN	C24	USA	C10T12	207,713	839 312,424	0,00025	64,237	8 005,199	8,02441	0,00199
MEX	C24	USA	C10T12	173,244	839 312,424	0,00021	42,627	12 437,476	3,42730	0,00071
JPN	C24	USA	C10T12	117,541	839 312,424	0,00014	320,686	77 952,569	4,11386	0,00058
RUS	C24	USA	C10T12	104,181	839 312,424	0,00012	512,625	37 336,500	13,72986	0,00170

Примітка: ДВ – додана вартість

Джерело: розраховано на основі [136; 137; 138]

ДОДАТОК 3

Таблиця 3.1 – Розрахунок ЕЕІ-внеску сектору C24 країн-джерел у кінцевому попиті секторів Японії, 2020 р.

Країна-джерело ДВ	Сектор країни-джерела ДВ	Країна кінцевого попиту	Сектор країни кінцевого попиту	Втілена ДВ сектору країни-джерела у кінцевому попиті сектору країни кінцевого попиту, млн дол. США	Загальна втілена ДВ у кінцевому попиті сектору країни кінцевого попиту, млн дол. США	Частка втіленої ДВ сектору країни-джерела у загальній втіленій ДВ кінцевого попиту сектору країни кінцевого попиту	Викиди парникових газів сектору країни-джерела (S1+S2+S3U), млн т CO ₂ -екв.	ДВ, створена сектором країни-джерела, млн дол. США	Вуглецева інтенсивність сектору країни-джерела, кг CO ₂ -екв./дол. ДВ	ЕЕІ-внесок сектору країни-джерела у кінцевий попит сектору країни кінцевого попиту, кг CO ₂ -екв./дол. ДВ
JPN	C24	JPN	C25	981,648	9 387,476	0,10457	320,686	77 952,569	4,11386	0,43019
CHN	C24	JPN	C25	73,163	9 387,476	0,00779	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,07741
KOR	C24	JPN	C25	20,426	9 387,476	0,00218	216,596	24 570,535	8,81527	0,01918
RUS	C24	JPN	C25	12,536	9 387,476	0,00134	512,625	37 336,500	13,72986	0,01833
USA	C24	JPN	C25	11,522	9 387,476	0,00123	199,913	69 916,032	2,85933	0,00351
IDN	C24	JPN	C25	10,704	9 387,476	0,00114	13,765	8 664,175	1,58873	0,00181
JPN	C24	JPN	C27	2 770,854	79 836,678	0,03471	320,686	77 952,569	4,11386	0,14278
CHN	C24	JPN	C27	1 233,616	79 836,678	0,01545	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,15347
USA	C24	JPN	C27	113,452	79 836,678	0,00142	199,913	69 916,032	2,85933	0,00406
RUS	C24	JPN	C27	110,713	79 836,678	0,00139	512,625	37 336,500	13,72986	0,01904
IDN	C24	JPN	C27	92,055	79 836,678	0,00115	13,765	8 664,175	1,58873	0,00183
KOR	C24	JPN	C27	87,206	79 836,678	0,00109	216,596	24 570,535	8,81527	0,00963
JPN	C24	JPN	C28	4 891,260	113 665,619	0,04303	320,686	77 952,569	4,11386	0,17703
CHN	C24	JPN	C28	672,142	113 665,619	0,00591	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,05873
KOR	C24	JPN	C28	131,831	113 665,619	0,00116	216,596	24 570,535	8,81527	0,01022
USA	C24	JPN	C28	113,605	113 665,619	0,00100	199,913	69 916,032	2,85933	0,00286

RUS	C24	JPN	C28	72,926	113 665,619	0,00064	512,625	37 336,500	13,72986	0,00881
IDN	C24	JPN	C28	62,905	113 665,619	0,00055	13,765	8 664,175	1,58873	0,00088
JPN	C24	JPN	C29	5 752,542	121 428,294	0,04737	320,686	77 952,569	4,11386	0,19489
CHN	C24	JPN	C29	498,508	121 428,294	0,00411	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,04078
KOR	C24	JPN	C29	131,128	121 428,294	0,00108	216,596	24 570,535	8,81527	0,00952
RUS	C24	JPN	C29	114,716	121 428,294	0,00094	512,625	37 336,500	13,72986	0,01297
USA	C24	JPN	C29	106,504	121 428,294	0,00088	199,913	69 916,032	2,85933	0,00251
IDN	C24	JPN	C29	100,144	121 428,294	0,00082	13,765	8 664,175	1,58873	0,00131
JPN	C24	JPN	C30	946,966	22 032,198	0,04298	320,686	77 952,569	4,11386	0,17682
CHN	C24	JPN	C30	101,617	22 032,198	0,00461	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,04581
USA	C24	JPN	C30	39,327	22 032,198	0,00178	199,913	69 916,032	2,85933	0,00510
KOR	C24	JPN	C30	22,011	22 032,198	0,00100	216,596	24 570,535	8,81527	0,00881
RUS	C24	JPN	C30	13,597	22 032,198	0,00062	512,625	37 336,500	13,72986	0,00847
IDN	C24	JPN	C30	10,337	22 032,198	0,00047	13,765	8 664,175	1,58873	0,00075
JPN	C24	JPN	F	11 851,719	496 950,158	0,02385	320,686	77 952,569	4,11386	0,09811
CHN	C24	JPN	F	789,546	496 950,158	0,00159	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,01578
KOR	C24	JPN	F	226,520	496 950,158	0,00046	216,596	24 570,535	8,81527	0,00402
RUS	C24	JPN	F	179,533	496 950,158	0,00036	512,625	37 336,500	13,72986	0,00496
IDN	C24	JPN	F	158,590	496 950,158	0,00032	13,765	8 664,175	1,58873	0,00051
USA	C24	JPN	F	153,359	496 950,158	0,00031	199,913	69 916,032	2,85933	0,00088
JPN	C24	JPN	C10T12	1 061,845	267 820,883	0,00396	320,686	77 952,569	4,11386	0,01631
CHN	C24	JPN	C10T12	180,086	267 820,883	0,00067	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,00668
USA	C24	JPN	C10T12	47,423	267 820,883	0,00018	199,913	69 916,032	2,85933	0,00051
RUS	C24	JPN	C10T12	36,021	267 820,883	0,00013	512,625	37 336,500	13,72986	0,00185
KOR	C24	JPN	C10T12	32,679	267 820,883	0,00012	216,596	24 570,535	8,81527	0,00108
IDN	C24	JPN	C10T12	24,815	267 820,883	0,00009	13,765	8 664,175	1,58873	0,00015

Примітка: ДВ – додана вартість

Джерело: розраховано на основі [136; 137; 138]

ДОДАТОК И

Таблиця И.1 – Розрахунок ЕЕІ-внеску сектору С24 країн-джерел у кінцевому попиті секторів Туреччини, 2020 р.

Країна-джерело ДВ	Сектор країни-джерела ДВ	Країна кінцевого попиту	Сектор країни кінцевого попиту	Втілена ДВ сектору країни-джерела у кінцевому попиті сектору країни кінцевого попиту, млн дол. США	Загальна втілена ДВ у кінцевому попиті сектору країни кінцевого попиту, млн дол. США	Частка втіленої ДВ сектору країни-джерела у загальній втіленій ДВ кінцевого попиту сектору країни кінцевого попиту	Викиди парникових газів сектору країни-джерела (S1+S2+S3U), млн т CO ₂ -екв.	ДВ, створена сектором країни-джерела, млн дол. США	Вуглецева інтенсивність сектору країни-джерела, кг CO ₂ -екв./дол. ДВ	ЕЕІ-внесок сектору країни-джерела у кінцевий попит сектору країни кінцевого попиту, кг CO ₂ -екв./дол. ДВ
TUR	C24	TUR	C25	303,888	9 668,888	0,03143	77,482	7 724,832	10,03025	0,31525
RUS	C24	TUR	C25	116,876	9 668,888	0,01209	512,625	37 336,500	13,72986	0,16596
CHN	C24	TUR	C25	79,293	9 668,888	0,00820	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,08145
DEU	C24	TUR	C25	26,970	9 668,888	0,00279	123,854	20 670,835	5,99173	0,01671
USA	C24	TUR	C25	25,554	9 668,888	0,00264	199,913	69 916,032	2,85933	0,00756
KOR	C24	TUR	C25	20,595	9 668,888	0,00213	216,596	24 570,535	8,81527	0,01878
TUR	C24	TUR	C27	189,810	9 441,120	0,02010	77,482	7 724,832	10,03025	0,20165
CHN	C24	TUR	C27	164,116	9 441,120	0,01738	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,17266
RUS	C24	TUR	C27	63,645	9 441,120	0,00674	512,625	37 336,500	13,72986	0,09256
DEU	C24	TUR	C27	24,998	9 441,120	0,00265	123,854	20 670,835	5,99173	0,01586
JPN	C24	TUR	C27	24,901	9 441,120	0,00264	320,686	77 952,569	4,11386	0,01085
USA	C24	TUR	C27	22,138	9 441,120	0,00234	199,913	69 916,032	2,85933	0,00670
CHN	C24	TUR	C28	216,627	15 281,129	0,01418	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,14080
TUR	C24	TUR	C28	160,681	15 281,129	0,01051	77,482	7 724,832	10,03025	0,10547
RUS	C24	TUR	C28	50,692	15 281,129	0,00332	512,625	37 336,500	13,72986	0,04555
JPN	C24	TUR	C28	46,006	15 281,129	0,00301	320,686	77 952,569	4,11386	0,01239

DEU	C24	TUR	C28	40,211	15 281,129	0,00263	123,854	20 670,835	5,99173	0,01577
USA	C24	TUR	C28	29,647	15 281,129	0,00194	199,913	69 916,032	2,85933	0,00555
TUR	C24	TUR	C29	142,738	18 162,688	0,00786	77,482	7 724,832	10,03025	0,07883
CHN	C24	TUR	C29	80,311	18 162,688	0,00442	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,04392
DEU	C24	TUR	C29	57,227	18 162,688	0,00315	123,854	20 670,835	5,99173	0,01888
JPN	C24	TUR	C29	50,086	18 162,688	0,00276	320,686	77 952,569	4,11386	0,01134
RUS	C24	TUR	C29	45,822	18 162,688	0,00252	512,625	37 336,500	13,72986	0,03464
IND	C24	TUR	C29	28,366	18 162,688	0,00156	642,827	49 762,490	12,91790	0,02017
TUR	C24	TUR	C30	23,304	4 762,416	0,00489	77,482	7 724,832	10,03025	0,04908
CHN	C24	TUR	C30	23,249	4 762,416	0,00488	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,04849
USA	C24	TUR	C30	15,394	4 762,416	0,00323	199,913	69 916,032	2,85933	0,00924
JPN	C24	TUR	C30	12,653	4 762,416	0,00266	320,686	77 952,569	4,11386	0,01093
KOR	C24	TUR	C30	11,773	4 762,416	0,00247	216,596	24 570,535	8,81527	0,02179
RUS	C24	TUR	C30	8,264	4 762,416	0,00174	512,625	37 336,500	13,72986	0,02382
TUR	C24	TUR	F	2 416,595	118 570,387	0,02038	77,482	7 724,832	10,03025	0,20443
RUS	C24	TUR	F	554,684	118 570,387	0,00468	512,625	37 336,500	13,72986	0,06423
CHN	C24	TUR	F	273,770	118 570,387	0,00231	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,02293
USA	C24	TUR	F	167,691	118 570,387	0,00141	199,913	69 916,032	2,85933	0,00404
KOR	C24	TUR	F	151,424	118 570,387	0,00128	216,596	24 570,535	8,81527	0,01126
DEU	C24	TUR	F	146,076	118 570,387	0,00123	123,854	20 670,835	5,99173	0,00738
TUR	C24	TUR	C10T12	30,404	44 423,568	0,00068	77,482	7 724,832	10,03025	0,00686
RUS	C24	TUR	C10T12	18,038	44 423,568	0,00041	512,625	37 336,500	13,72986	0,00557
CHN	C24	TUR	C10T12	14,917	44 423,568	0,00034	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,00334
USA	C24	TUR	C10T12	4,855	44 423,568	0,00011	199,913	69 916,032	2,85933	0,00031
DEU	C24	TUR	C10T12	4,290	44 423,568	0,00010	123,854	20 670,835	5,99173	0,00058
JPN	C24	TUR	C10T12	3,212	44 423,568	0,00007	320,686	77 952,569	4,11386	0,00030

Примітка: ДВ – додана вартість

Джерело: розраховано на основі [136; 137; 138]

ДОДАТОК К

Таблиця К.1 – Розрахунок ЕЕІ-внеску сектору С24 країн-джерел у кінцевому попиті секторів росії, 2020 р.

Країна-джерело ДВ	Сектор країни-джерела ДВ	Країна кінцевого попиту	Сектор країни кінцевого попиту	Втілена ДВ сектору країни-джерела у кінцевому попиті сектору країни кінцевого попиту, млн дол. США	Загальна втілена ДВ у кінцевому попиті сектору країни кінцевого попиту, млн дол. США	Частка втіленої ДВ сектору країни-джерела у загальній втіленій ДВ кінцевого попиту сектору країни кінцевого попиту	Викиди парникових газів сектору країни-джерела (S1+S2+S3U), млн т CO ₂ -екв.	ДВ, створена сектором країни-джерела, млн дол. США	Вуглецева інтенсивність сектору країни-джерела, кг CO ₂ -екв./дол. ДВ	ЕЕІ-внесок сектору країни-джерела у кінцевий попит сектору країни кінцевого попиту, кг CO ₂ -екв./дол. ДВ
RUS	C24	RUS	C25	1 470,129	11 538,969	0,12741	512,625	37 336,500	13,72986	1,74926
CHN	C24	RUS	C25	134,067	11 538,969	0,01162	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,11540
KAZ	C24	RUS	C25	47,167	11 538,969	0,00409	76,728	8 544,953	8,97934	0,03670
BLR	C24	RUS	C25	22,243	11 538,969	0,00193	6,871	858,183	8,00645	0,01543
DEU	C24	RUS	C25	20,452	11 538,969	0,00177	123,854	20 670,835	5,99173	0,01062
UKR	C24	RUS	C25	13,845	11 538,969	0,00120	70,378	2 364,910	29,75927	0,03571
RUS	C24	RUS	C27	732,101	11 585,673	0,06319	512,625	37 336,500	13,72986	0,86759
CHN	C24	RUS	C27	301,674	11 585,673	0,02604	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,25863
BLR	C24	RUS	C27	30,184	11 585,673	0,00261	6,871	858,183	8,00645	0,02086
JPN	C24	RUS	C27	22,512	11 585,673	0,00194	320,686	77 952,569	4,11386	0,00799
DEU	C24	RUS	C27	20,578	11 585,673	0,00178	123,854	20 670,835	5,99173	0,01064
KAZ	C24	RUS	C27	19,526	11 585,673	0,00169	76,728	8 544,953	8,97934	0,01513
RUS	C24	RUS	C28	1 073,794	26 293,049	0,04084	512,625	37 336,500	13,72986	0,56072
CHN	C24	RUS	C28	371,448	26 293,049	0,01413	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,14032
JPN	C24	RUS	C28	58,650	26 293,049	0,00223	320,686	77 952,569	4,11386	0,00918
DEU	C24	RUS	C28	51,019	26 293,049	0,00194	123,854	20 670,835	5,99173	0,01163

BLR	C24	RUS	C28	48,248	26 293,049	0,00184	6,871	858,183	8,00645	0,01469
KAZ	C24	RUS	C28	46,702	26 293,049	0,00178	76,728	8 544,953	8,97934	0,01595
RUS	C24	RUS	C29	1 878,389	39 405,763	0,04767	512,625	37 336,500	13,72986	0,65447
CHN	C24	RUS	C29	296,758	39 405,763	0,00753	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,07480
JPN	C24	RUS	C29	193,088	39 405,763	0,00490	320,686	77 952,569	4,11386	0,02016
KOR	C24	RUS	C29	72,932	39 405,763	0,00185	216,596	24 570,535	8,81527	0,01632
DEU	C24	RUS	C29	62,763	39 405,763	0,00159	123,854	20 670,835	5,99173	0,00954
KAZ	C24	RUS	C29	59,368	39 405,763	0,00151	76,728	8 544,953	8,97934	0,01353
RUS	C24	RUS	C30	748,161	20 624,968	0,03627	512,625	37 336,500	13,72986	0,49804
CHN	C24	RUS	C30	222,448	20 624,968	0,01079	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,10713
KOR	C24	RUS	C30	50,479	20 624,968	0,00245	216,596	24 570,535	8,81527	0,02158
JPN	C24	RUS	C30	34,478	20 624,968	0,00167	320,686	77 952,569	4,11386	0,00688
KAZ	C24	RUS	C30	31,864	20 624,968	0,00154	76,728	8 544,953	8,97934	0,01387
USA	C24	RUS	C30	16,001	20 624,968	0,00078	199,913	69 916,032	2,85933	0,00222
RUS	C24	RUS	F	5 069,339	140 870,060	0,03599	512,625	37 336,500	13,72986	0,49408
CHN	C24	RUS	F	327,232	140 870,060	0,00232	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,02307
KAZ	C24	RUS	F	185,591	140 870,060	0,00132	76,728	8 544,953	8,97934	0,01183
BLR	C24	RUS	F	51,064	140 870,060	0,00036	6,871	858,183	8,00645	0,00290
DEU	C24	RUS	F	49,378	140 870,060	0,00035	123,854	20 670,835	5,99173	0,00210
UKR	C24	RUS	F	47,409	140 870,060	0,00034	70,378	2 364,910	29,75927	0,01002
RUS	C24	RUS	C10T12	477,518	90 857,050	0,00526	512,625	37 336,500	13,72986	0,07216
CHN	C24	RUS	C10T12	60,974	90 857,050	0,00067	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,00667
KAZ	C24	RUS	C10T12	24,057	90 857,050	0,00026	76,728	8 544,953	8,97934	0,00238
DEU	C24	RUS	C10T12	10,052	90 857,050	0,00011	123,854	20 670,835	5,99173	0,00066
BLR	C24	RUS	C10T12	10,041	90 857,050	0,00011	6,871	858,183	8,00645	0,00088
JPN	C24	RUS	C10T12	8,943	90 857,050	0,00010	320,686	77 952,569	4,11386	0,00040

Примітка: ДВ – додана вартість

Джерело: розраховано на основі [136; 137; 138]

ДОДАТОК Л

Таблиця Л.1 – Розрахунок ЕЕІ-внеску сектору С24 країн-джерел у кінцевому попиті секторів Південної Кореї, 2020 р.

Країна-джерело ДВ	Сектор країни-джерела ДВ	Країна кінцевого попиту	Сектор країни кінцевого попиту	Втілена ДВ сектору країни-джерела у кінцевому попиті сектору країни кінцевого попиту, млн дол. США	Загальна втілена ДВ у кінцевому попиті сектору країни кінцевого попиту, млн дол. США	Частка втіленої ДВ сектору країни-джерела у загальній втіленій ДВ кінцевого попиту сектору країни кінцевого попиту	Викиди парникових газів сектору країни-джерела (S1+S2+S3U), млн т CO ₂ -екв.	ДВ, створена сектором країни-джерела, млн дол. США	Вуглецева інтенсивність сектору країни-джерела, кг CO ₂ -екв./дол. ДВ	ЕЕІ-внесок сектору країни-джерела у кінцевий попит сектору країни кінцевого попиту, кг CO ₂ -екв./дол. ДВ
KOR	C24	KOR	C25	560,580	12 772,752	0,04389	216,596	24 570,535	8,81527	0,38689
CHN	C24	KOR	C25	148,321	12 772,752	0,01161	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,11534
JPN	C24	KOR	C25	95,878	12 772,752	0,00751	320,686	77 952,569	4,11386	0,03088
USA	C24	KOR	C25	24,843	12 772,752	0,00194	199,913	69 916,032	2,85933	0,00556
RUS	C24	KOR	C25	16,088	12 772,752	0,00126	512,625	37 336,500	13,72986	0,01729
IND	C24	KOR	C25	13,114	12 772,752	0,00103	642,827	49 762,490	12,91790	0,01326
KOR	C24	KOR	C27	366,419	22 570,485	0,01623	216,596	24 570,535	8,81527	0,14311
CHN	C24	KOR	C27	335,136	22 570,485	0,01485	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,14748
JPN	C24	KOR	C27	120,573	22 570,485	0,00534	320,686	77 952,569	4,11386	0,02198
USA	C24	KOR	C27	56,750	22 570,485	0,00251	199,913	69 916,032	2,85933	0,00719
RUS	C24	KOR	C27	31,289	22 570,485	0,00139	512,625	37 336,500	13,72986	0,01903
IND	C24	KOR	C27	22,720	22 570,485	0,00101	642,827	49 762,490	12,91790	0,01300
KOR	C24	KOR	C28	1 184,199	60 090,769	0,01971	216,596	24 570,535	8,81527	0,17372
CHN	C24	KOR	C28	516,417	60 090,769	0,00859	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,08536
JPN	C24	KOR	C28	389,755	60 090,769	0,00649	320,686	77 952,569	4,11386	0,02668
USA	C24	KOR	C28	107,818	60 090,769	0,00179	199,913	69 916,032	2,85933	0,00513

RUS	C24	KOR	C28	40,717	60 090,769	0,00068	512,625	37 336,500	13,72986	0,00930
IND	C24	KOR	C28	37,923	60 090,769	0,00063	642,827	49 762,490	12,91790	0,00815
KOR	C24	KOR	C29	1 622,531	66 989,574	0,02422	216,596	24 570,535	8,81527	0,21351
CHN	C24	KOR	C29	478,361	66 989,574	0,00714	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,07093
JPN	C24	KOR	C29	321,489	66 989,574	0,00480	320,686	77 952,569	4,11386	0,01974
USA	C24	KOR	C29	93,504	66 989,574	0,00140	199,913	69 916,032	2,85933	0,00399
DEU	C24	KOR	C29	50,205	66 989,574	0,00075	123,854	20 670,835	5,99173	0,00449
RUS	C24	KOR	C29	48,072	66 989,574	0,00072	512,625	37 336,500	13,72986	0,00985
KOR	C24	KOR	C30	476,246	17 856,793	0,02667	216,596	24 570,535	8,81527	0,23511
CHN	C24	KOR	C30	237,149	17 856,793	0,01328	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,13191
JPN	C24	KOR	C30	129,652	17 856,793	0,00726	320,686	77 952,569	4,11386	0,02987
USA	C24	KOR	C30	35,393	17 856,793	0,00198	199,913	69 916,032	2,85933	0,00567
RUS	C24	KOR	C30	14,173	17 856,793	0,00079	512,625	37 336,500	13,72986	0,01090
IND	C24	KOR	C30	12,153	17 856,793	0,00068	642,827	49 762,490	12,91790	0,00879
KOR	C24	KOR	F	3 358,111	172 205,959	0,01950	216,596	24 570,535	8,81527	0,17190
CHN	C24	KOR	F	659,598	172 205,959	0,00383	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,03804
JPN	C24	KOR	F	502,292	172 205,959	0,00292	320,686	77 952,569	4,11386	0,01200
USA	C24	KOR	F	88,958	172 205,959	0,00052	199,913	69 916,032	2,85933	0,00148
RUS	C24	KOR	F	65,736	172 205,959	0,00038	512,625	37 336,500	13,72986	0,00524
IDN	C24	KOR	F	60,380	172 205,959	0,00035	13,765	8 664,175	1,58873	0,00056
KOR	C24	KOR	C10T12	107,354	62 421,756	0,00172	216,596	24 570,535	8,81527	0,01516
CHN	C24	KOR	C10T12	70,287	62 421,756	0,00113	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,01118
JPN	C24	KOR	C10T12	27,485	62 421,756	0,00044	320,686	77 952,569	4,11386	0,00181
USA	C24	KOR	C10T12	19,100	62 421,756	0,00031	199,913	69 916,032	2,85933	0,00087
RUS	C24	KOR	C10T12	10,343	62 421,756	0,00017	512,625	37 336,500	13,72986	0,00227
IND	C24	KOR	C10T12	7,425	62 421,756	0,00012	642,827	49 762,490	12,91790	0,00154

Примітка: ДВ – додана вартість

Джерело: розраховано на основі [136; 137; 138]

ДОДАТОК М

Таблиця М.1 – Розрахунок ЕЕІ-внеску сектору С24 країн-джерел у кінцевому попиті секторів Індії, 2020 р.

Країна-джерело ДВ	Сектор країни-джерела ДВ	Країна кінцевого попиту	Сектор країни кінцевого попиту	Втілена ДВ сектору країни-джерела у кінцевому попиті сектору країни кінцевого попиту, млн дол. США	Загальна втілена ДВ у кінцевому попиті сектору країни кінцевого попиту, млн дол. США	Частка втіленої ДВ сектору країни-джерела у загальній втіленій ДВ кінцевого попиту сектору країни кінцевого попиту	Викиди парникових газів сектору країни-джерела (S1+S2+S3U), млн т CO ₂ -екв.	ДВ, створена сектором країни-джерела, млн дол. США	Вуглецева інтенсивність сектору країни-джерела, кг CO ₂ -екв./дол. ДВ	ЕЕІ-внесок сектору країни-джерела у кінцевий попит сектору країни кінцевого попиту, кг CO ₂ -екв./дол. ДВ
IND	C24	IND	C25	802,700	7 041,160	0,11400	642,827	49 762,490	12,91790	1,47266
CHN	C24	IND	C25	60,099	7 041,160	0,00854	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,08478
JPN	C24	IND	C25	18,239	7 041,160	0,00259	320,686	77 952,569	4,11386	0,01066
KOR	C24	IND	C25	17,664	7 041,160	0,00251	216,596	24 570,535	8,81527	0,02211
USA	C24	IND	C25	13,000	7 041,160	0,00185	199,913	69 916,032	2,85933	0,00528
RUS	C24	IND	C25	7,409	7 041,160	0,00105	512,625	37 336,500	13,72986	0,01445
IND	C24	IND	C27	2 215,172	35 668,689	0,06210	642,827	49 762,490	12,91790	0,80225
CHN	C24	IND	C27	462,936	35 668,689	0,01298	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,12891
JPN	C24	IND	C27	82,489	35 668,689	0,00231	320,686	77 952,569	4,11386	0,00951
USA	C24	IND	C27	79,865	35 668,689	0,00224	199,913	69 916,032	2,85933	0,00640
KOR	C24	IND	C27	51,600	35 668,689	0,00145	216,596	24 570,535	8,81527	0,01275
RUS	C24	IND	C27	43,124	35 668,689	0,00121	512,625	37 336,500	13,72986	0,01660
IND	C24	IND	C28	3 627,266	54 300,236	0,06680	642,827	49 762,490	12,91790	0,86292
CHN	C24	IND	C28	532,531	54 300,236	0,00981	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,09741
JPN	C24	IND	C28	147,690	54 300,236	0,00272	320,686	77 952,569	4,11386	0,01119
KOR	C24	IND	C28	95,176	54 300,236	0,00175	216,596	24 570,535	8,81527	0,01545

USA	C24	IND	C28	77,111	54 300,236	0,00142	199,913	69 916,032	2,85933	0,00406
DEU	C24	IND	C28	38,012	54 300,236	0,00070	123,854	20 670,835	5,99173	0,00419
IND	C24	IND	C29	4 530,476	65 527,996	0,06914	642,827	49 762,490	12,91790	0,89312
CHN	C24	IND	C29	237,653	65 527,996	0,00363	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,03602
JPN	C24	IND	C29	105,889	65 527,996	0,00162	320,686	77 952,569	4,11386	0,00665
KOR	C24	IND	C29	103,988	65 527,996	0,00159	216,596	24 570,535	8,81527	0,01399
USA	C24	IND	C29	70,777	65 527,996	0,00108	199,913	69 916,032	2,85933	0,00309
IND	C24	IND	C30	930,734	21 316,955	0,04366	642,827	49 762,490	12,91790	0,56402
JPN	C24	IND	C30	172,172	21 316,955	0,00808	320,686	77 952,569	4,11386	0,03323
CHN	C24	IND	C30	127,704	21 316,955	0,00599	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,05950
KOR	C24	IND	C30	46,774	21 316,955	0,00219	216,596	24 570,535	8,81527	0,01934
USA	C24	IND	C30	33,038	21 316,955	0,00155	199,913	69 916,032	2,85933	0,00443
RUS	C24	IND	C30	20,639	21 316,955	0,00097	512,625	37 336,500	13,72986	0,01329
IND	C24	IND	F	13 604,110	375 004,053	0,03628	642,827	49 762,490	12,91790	0,46863
CHN	C24	IND	F	568,818	375 004,053	0,00152	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,01507
KOR	C24	IND	F	234,384	375 004,053	0,00063	216,596	24 570,535	8,81527	0,00551
JPN	C24	IND	F	208,247	375 004,053	0,00056	320,686	77 952,569	4,11386	0,00228
USA	C24	IND	F	159,100	375 004,053	0,00042	199,913	69 916,032	2,85933	0,00121
IND	C24	IND	C10T12	482,487	178 531,182	0,00270	642,827	49 762,490	12,91790	0,03491
CHN	C24	IND	C10T12	55,177	178 531,182	0,00031	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,00307
JPN	C24	IND	C10T12	16,057	178 531,182	0,00009	320,686	77 952,569	4,11386	0,00037
USA	C24	IND	C10T12	14,244	178 531,182	0,00008	199,913	69 916,032	2,85933	0,00023
KOR	C24	IND	C10T12	11,591	178 531,182	0,00006	216,596	24 570,535	8,81527	0,00057
RUS	C24	IND	C10T12	11,366	178 531,182	0,00006	512,625	37 336,500	13,72986	0,00087

Примітка: ДВ – додана вартість

Джерело: розраховано на основі [136; 137; 138]

ДОДАТОК Н

Таблиця Н.1 – Розрахунок ЕЕІ-внеску сектору С24 країн-джерел у кінцевому попиті секторів України, 2020 р.

Країна-джерело ДВ	Сектор країни-джерела ДВ	Країна кінцевого попиту	Сектор країни кінцевого попиту	Втілена ДВ сектору країни-джерела у кінцевому попиті сектору країни кінцевого попиту, млн дол. США	Загальна втілена ДВ у кінцевому попиті сектору країни кінцевого попиту, млн дол. США	Частка втіленої ДВ сектору країни-джерела у загальній втіленій ДВ кінцевого попиту сектору країни кінцевого попиту	Викиди парникових газів сектору країни-джерела (S1+S2+S3U), млн т CO ₂ -екв.	ДВ, створена сектором країни-джерела, млн дол. США	Вуглецева інтенсивність сектору країни-джерела, кг CO ₂ -екв./дол. ДВ	ЕЕІ-внесок сектору країни-джерела у кінцевий попит сектору країни кінцевого попиту, кг CO ₂ -екв./дол. ДВ
UKR	C24	UKR	C25	59,766	840,546	0,07110	70,378	2 364,910	29,75927	2,11600
RUS	C24	UKR	C25	12,206	840,546	0,01452	512,625	37 336,500	13,72986	0,19938
CHN	C24	UKR	C25	11,453	840,546	0,01363	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,13534
DEU	C24	UKR	C25	2,443	840,546	0,00291	123,854	20 670,835	5,99173	0,01741
TUR	C24	UKR	C25	1,715	840,546	0,00204	77,482	7 724,832	10,03025	0,02047
POL	C24	UKR	C25	1,376	840,546	0,00164	25,689	2 088,540	12,29998	0,02014
UKR	C24	UKR	C27	16,436	1 712,313	0,00960	70,378	2 364,910	29,75927	0,28565
CHN	C24	UKR	C27	48,557	1 712,313	0,02836	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,28166
RUS	C24	UKR	C27	14,863	1 712,313	0,00868	512,625	37 336,500	13,72986	0,11918
DEU	C24	UKR	C27	5,021	1 712,313	0,00293	123,854	20 670,835	5,99173	0,01757
TUR	C24	UKR	C27	3,764	1 712,313	0,00220	77,482	7 724,832	10,03025	0,02205
JPN	C24	UKR	C27	3,053	1 712,313	0,00178	320,686	77 952,569	4,11386	0,00733
UKR	C24	UKR	C28	64,224	2 974,580	0,02159	70,378	2 364,910	29,75927	0,64253
CHN	C24	UKR	C28	40,403	2 974,580	0,01358	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,13491
RUS	C24	UKR	C28	15,691	2 974,580	0,00528	512,625	37 336,500	13,72986	0,07243
DEU	C24	UKR	C28	7,613	2 974,580	0,00256	123,854	20 670,835	5,99173	0,01533

USA	C24	UKR	C28	5,002	2 974,580	0,00168	199,913	69 916,032	2,85933	0,00481
JPN	C24	UKR	C28	4,637	2 974,580	0,00156	320,686	77 952,569	4,11386	0,00641
UKR	C24	UKR	C29	28,498	3 923,832	0,00726	70,378	2 364,910	29,75927	0,21614
JPN	C24	UKR	C29	28,269	3 923,832	0,00720	320,686	77 952,569	4,11386	0,02964
CHN	C24	UKR	C29	22,102	3 923,832	0,00563	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,05595
RUS	C24	UKR	C29	11,868	3 923,832	0,00302	512,625	37 336,500	13,72986	0,04153
USA	C24	UKR	C29	11,805	3 923,832	0,00301	199,913	69 916,032	2,85933	0,00860
DEU	C24	UKR	C29	10,009	3 923,832	0,00255	123,854	20 670,835	5,99173	0,01528
UKR	C24	UKR	C30	25,447	773,839	0,03288	70,378	2 364,910	29,75927	0,97861
CHN	C24	UKR	C30	6,335	773,839	0,00819	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,08131
RUS	C24	UKR	C30	3,751	773,839	0,00485	512,625	37 336,500	13,72986	0,06655
JPN	C24	UKR	C30	1,120	773,839	0,00145	320,686	77 952,569	4,11386	0,00595
DEU	C24	UKR	C30	0,827	773,839	0,00107	123,854	20 670,835	5,99173	0,00640
IND	C24	UKR	C30	0,530	773,839	0,00068	642,827	49 762,490	12,91790	0,00885
UKR	C24	UKR	F	94,464	6 523,407	0,01448	70,378	2 364,910	29,75927	0,43094
CHN	C24	UKR	F	11,070	6 523,407	0,00170	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,01686
RUS	C24	UKR	F	9,043	6 523,407	0,00139	512,625	37 336,500	13,72986	0,01903
DEU	C24	UKR	F	1,954	6 523,407	0,00030	123,854	20 670,835	5,99173	0,00179
TUR	C24	UKR	F	1,610	6 523,407	0,00025	77,482	7 724,832	10,03025	0,00248
KAZ	C24	UKR	F	1,156	6 523,407	0,00018	76,728	8 544,953	8,97934	0,00159
UKR	C24	UKR	C10T12	102,454	18 140,966	0,00565	70,378	2 364,910	29,75927	0,16807
CHN	C24	UKR	C10T12	24,070	18 140,966	0,00133	4 400,355	443 028,795	9,93244	0,01318
RUS	C24	UKR	C10T12	20,086	18 140,966	0,00111	512,625	37 336,500	13,72986	0,01520
DEU	C24	UKR	C10T12	5,010	18 140,966	0,00028	123,854	20 670,835	5,99173	0,00165
USA	C24	UKR	C10T12	3,031	18 140,966	0,00017	199,913	69 916,032	2,85933	0,00048
JPN	C24	UKR	C10T12	3,015	18 140,966	0,00017	320,686	77 952,569	4,11386	0,00068

Примітка: ДВ – додана вартість

Джерело: розраховано на основі [136; 137; 138]

ДОДАТОК П

Таблиця П.1 – Сталеплавильні потужності України на початок 2022 року

№	Найменування підприємства (компанія-власник)	Виплавка (місткість агрегата, т)	Внесок у виробництво, %
1	ПАТ «Азовсталь», м. Маріуполь (Метінвест)	2×КК (350)	21
2	ПАТ «МК ім. Ілліча», м. Маріуполь (Метінвест)	3×КК (160)	19
3	ПАТ «АрселорМіттал», м. Кривий Ріг (ArcelorMittal)	6×КК (160)	23
4	ПАТ «Запоріжсталь», м. Запоріжжя (Метінвест)	7×МП, 1×ДВСА	19
5	ПрАТ «Камет-Сталь», м. Кам'янське (Метінвест)	2×КК (250)	12
6	ПрАТ «Дніпровський металургійний завод», м. Дніпро (ДСН)	3×КК (60)	не працював
7	АТ «Інтерпайп Сталь», м. Дніпро (Інтерпайп)	1×ДСП (160)	2,0
8	ПАТ «Дніпроспецсталь», м. Запоріжжя	1×ДСП (50), 3×ДСП (60), 1×ІП (4)	1,6
9	ПАТ «Енергомашспецсталь», м. Краматорськ	1×ДСП (70), 1×ДСП (50)	1,0
10	ПрАТ «НКМЗ», м. Краматорськ	1×ДСП (50), 1×ДСП (15)	<1
11	ДП «ЗОБІВТ», м. Суми	2×ДСП (18)	<1
12	ТОВ ПП «Електросталь-Курахово» (ДМПЗ)	1×ДСП (50)	не працював
13	ПАТ «Електросталь», м. Маріуполь	1×ДСП (60)	не працював
14	ТСА, м. Павлоград (ТСА Стіл груп)	2×ДСП (15)	не працював
15	ТОВ «Дніпропрес Сталь», м. Дніпро	1×ДСП (12)	<1
16	ПАТ «Кременчуцький сталеливарний завод» (ТАС)	4×ДСП (25)	не працював
17	ПАТ «Нововолинський ливарний завод»	3×ДСП (5), 3×ІП (3)	<1
18	МП «Кам'янський сталеливарний завод», м. Кам'янське	4×ДСП (3)	<1

Примітка: КК – кисневий конвертер, ДСП – дугова електросталеплавильна піч, МП – мартенівська піч, ДВСА – дований сталеплавильний агрегат, ІП – індукційна піч
Джерело: [46, с. 14-15]

ДОДАТОК Р

Таблиця Р.1 – Розрахунок потенційних СВМ-платежів у цінах першого кварталу 2026 р.

Технологічний маршрут BF-OHF			
Рік	Повна верифікація	Часткова верифікація	Верифікація відсутня
2026	94,31	112,61	98,50
2027	96,49	115,00	119,16
2028	100,86	119,78	142,39
2029	111,78	131,71	155,23
2030	134,49	156,54	181,96
2031	145,41	168,48	194,81
2032	156,32	180,41	207,66
2033	167,24	192,35	220,51
2034	179,47	205,72	234,90
Технологічний маршрут BF-BOF			
Рік	Повна верифікація	Часткова верифікація	Верифікація відсутня
2026	71,87	90,18	98,50
2027	74,06	92,57	119,16
2028	78,42	97,34	142,39
2029	89,34	109,28	155,23
2030	112,05	134,11	181,96
2031	122,97	146,04	194,81
2032	133,89	157,98	207,66
2033	144,81	169,92	220,51
2034	157,04	183,29	234,90
Технологічний маршрут DRI-EAF			
Рік	Повна верифікація	Часткова верифікація	Верифікація відсутня
2026	54,42	69,60	98,50
2027	55,04	70,39	119,16
2028	56,28	71,97	142,39
2029	59,37	75,92	155,23
2030	65,79	84,13	181,96
2031	68,88	88,08	194,81
2032	71,97	92,02	207,66
2033	75,06	95,97	220,51
2034	78,52	100,39	234,90
Технологічний маршрут scrap-EAF			
Рік	Повна верифікація	Часткова верифікація	Верифікація відсутня
2026	2,74	2,74	98,50
2027	2,86	2,86	119,16
2028	3,10	3,10	142,39
2029	3,71	3,71	155,23
2030	4,97	4,97	181,96
2031	5,58	5,58	194,81
2032	6,19	6,19	207,66
2033	6,80	6,80	220,51
2034	7,48	7,48	234,90

Джерело: авторські розрахунки

ДОДАТОК С

Таблиця С.1 – Розрахунок інтегрального індексу декарбонізаційної стійкості металургійної індустрії України за інерційним сценарієм

Найменування	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Обсяг виробництва сталі в Україні, млн т	7,58	7,41	6,30	4,60	4,60	4,60	4,60	4,80	5,00	5,20	5,30
w1	-	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209
Виробничий вимір	-	0,2045	0,1738	0,1269	0,1269	0,1269	0,1269	0,1324	0,1379	0,1435	0,1462
Експорт металопродукції, млн т	4,78	4,60	3,50	1,70	1,70	1,60	1,70	1,90	2,10	2,20	2,30
Внутрішній попит, млн т	2,79	2,81	2,80	2,90	2,90	3,00	2,90	2,90	2,90	3,00	3,00
w2	-	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151
Зовнішньоекономічний вимір	-	0,1453	0,1105	0,0537	0,0537	0,0505	0,0537	0,0600	0,0663	0,0695	0,0726
Виробництво сталі BF-OHF, млн т	2,89	3,21	2,50	1,80	1,80	1,80	1,80	1,90	2,00	2,10	2,10
Виробництво сталі BF-BOF, млн т	3,75	3,70	3,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,30	2,40	2,50	2,60
Виробництво сталі DRI-EAF, млн т	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Виробництво сталі scrap-EAF, млн т	0,934	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Вуглецемісткість BF-OHF, т CO ₂ -екв/т	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35
Вуглецемісткість BF-BOF, т CO ₂ -екв/т	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Вуглецемісткість DRI-EAF, т CO ₂ -екв/т	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Вуглецемісткість scrap-EAF, т CO ₂ -екв/т	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Середня вуглецемісткість, т CO ₂ -екв/т	1,83	1,94	1,88	1,83	1,83	1,83	1,83	1,84	1,85	1,85	1,85
w3	-	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201
Екологічний вимір	-	0,1897	0,1958	0,2016	0,2016	0,2016	0,2016	0,2004	0,1994	0,1984	0,1985
експорт в інші країни, млн т	1,43	0,92	1,00	1,20	1,40	1,50	1,60	1,80	2,00	2,10	2,20
експорт в ЄС, млн т, в тому числі:	3,35	3,68	2,50	0,50	0,30	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
– за маршрутом BF-OHF, млн т	1,28	1,59	0,99	0,20	0,12	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
– за маршрутом BF-BOF, млн т	1,66	1,84	1,27	0,24	0,14	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
– за маршрутом DRI-EAF, млн т	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
– за маршрутом scrap-EAF, млн т	0,41	0,25	0,24	0,07	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

СВАМ-платежі (BF-OHF), євро/т	0	0,00	98,50	119,16	142,39	155,23	181,96	194,81	207,66	220,51	234,90
СВАМ-платежі (BF-BOF), євро/т	0	0,00	98,50	119,16	142,39	155,23	181,96	194,81	207,66	220,51	234,90
СВАМ-платежі (DRI-EAF), євро/т	0	0,00	98,50	119,16	142,39	155,23	181,96	194,81	207,66	220,51	234,90
СВАМ-платежі (scrap-EAF), євро/т	0	0,00	98,50	119,16	142,39	155,23	181,96	194,81	207,66	220,51	234,90
Екологічний податок в Україні, євро/т	1,06	1,13	1,09	1,06	1,06	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08
Середнє СВАМ-навантаження, євро/т	0,00	0,00	98,50	119,16	142,39	155,23	181,96	194,81	207,66	220,51	234,90
Загальні фінансові зобов'язання, євро/т	1,06	1,13	99,59	120,22	143,44	156,29	183,02	195,87	208,73	221,58	235,97
w4	-	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145
Регуляторний вимір	-	0,1368	0,0015	0,0013	0,0011	0,0010	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007
Виробництво є/є, всього	101,12	100,52	101,38	102,17	103,00	103,88	104,80	105,76	106,78	107,84	108,96
Виробництво є/є на АЕС, ТВт·год	53,00	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60
Виробництво є/є з нафти, ТВт·год	0,58	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Виробництво є/є з газу, ТВт·год	8,10	8,51	8,93	9,38	9,85	10,34	10,85	11,40	11,97	12,57	13,19
Виробництво є/є з вугілля, ТВт·год	19,62	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
Виробництво є/є на ГЕС, ТВт·год	12,76	12,40	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
Виробництво є/є на СЕС, ТВт·год	6,05	6,35	6,67	7,00	7,35	7,72	8,11	8,51	8,94	9,39	9,85
Виробництво є/є на ВЕС, ТВт·год	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30	0,32	0,34	0,35	0,37	0,39	0,41
Виробництво є/є, інше, ТВт·год	0,76	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Частка ВДЕ у виробництві є/є	0,196	0,197	0,200	0,202	0,203	0,205	0,207	0,210	0,212	0,214	0,216
w5	-	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193
Енергетичний вимір	-	0,1941	0,1966	0,1985	0,2003	0,2023	0,2043	0,2064	0,2085	0,2107	0,2129
Фінансово-інвестиційна спроможність	-	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
w6	-	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101
Фінансово-інвестиційний вимір	-	0,1010	0,1010	0,1010	0,1010	0,1010	0,1010	0,1010	0,1010	0,1010	0,1010
ІНТЕГРАЛЬНИЙ ІНДЕКС	-	0,9713	0,7793	0,6829	0,6846	0,6833	0,6883	0,7010	0,7139	0,7237	0,7320

Джерело: складено автором на основі власних розрахунків та даних [46;177; 178]

ДОДАТОК Т

Таблиця Т.1 – Розрахунок інтегрального індексу декарбонізаційної стійкості металургійної індустрії України за адаптаційним сценарієм

Найменування	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Обсяг виробництва сталі в Україні, млн т	7,58	7,41	6,30	5,60	5,40	5,60	5,90	6,50	7,10	7,60	8,10
w1	-	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209
Виробничий вимір	-	0,2045	0,1738	0,1545	0,1490	0,1545	0,1628	0,1793	0,1959	0,2097	0,2235
Експорт металопродукції, млн т	4,78	4,60	3,50	2,60	2,60	2,60	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80
Внутрішній попит, млн т	2,79	2,81	2,80	3,00	2,80	3,00	2,90	3,30	3,70	4,00	4,30
w2	-	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151
Зовнішньоекономічний вимір	-	0,1453	0,1105	0,0821	0,0821	0,0821	0,0947	0,1010	0,1074	0,1137	0,1200
Виробництво сталі BF-OHF, млн т	2,89	3,21	2,50	2,20	2,10	1,90	1,90	2,10	2,20	2,30	2,50
Виробництво сталі BF-BOF, млн т	3,75	3,70	3,20	2,80	2,60	2,40	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80
Виробництво сталі DRI-EAF, млн т	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,70	0,90	1,20	1,40	1,50
Виробництво сталі scrap-EAF, млн т	0,934	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3
Вуглецемісткість BF-OHF, т CO ₂ -екв/т	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35
Вуглецемісткість BF-BOF, т CO ₂ -екв/т	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Вуглецемісткість DRI-EAF, т CO ₂ -екв/т	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Вуглецемісткість scrap-EAF, т CO ₂ -екв/т	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Середня вуглецемісткість, т CO ₂ -екв/т	1,83	1,94	1,88	1,86	1,83	1,70	1,65	1,63	1,59	1,57	1,57
w3	-	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201
Екологічний вимір	-	0,1897	0,1958	0,1978	0,2016	0,2166	0,2232	0,2258	0,2309	0,2342	0,2344
експорт в інші країни, млн т	1,43	0,92	1,00	1,10	1,20	1,30	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00
експорт в ЄС, млн т, в тому числі:	3,35	3,68	2,50	1,50	1,40	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80
– за маршрутом BF-OHF, млн т	1,28	1,59	0,99	0,59	0,54	0,44	0,45	0,48	0,50	0,51	0,56
– за маршрутом BF-BOF, млн т	1,66	1,84	1,27	0,75	0,67	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60	0,62
– за маршрутом DRI-EAF, млн т	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,17	0,21	0,27	0,31	0,33
– за маршрутом scrap-EAF, млн т	0,41	0,25	0,24	0,16	0,18	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29

СВАМ-платежі (BF-OHF), євро/т	0	0,00	98,50	115,00	119,78	111,78	134,49	145,41	156,32	167,24	179,47
СВАМ-платежі (BF-BOF), євро/т	0	0,00	98,50	92,57	97,34	89,34	112,05	122,97	133,89	144,81	157,04
СВАМ-платежі (DRI-EAF), євро/т	0	0,00	98,50	70,39	71,97	59,37	65,79	68,88	71,97	75,06	78,52
СВАМ-платежі (scrap-EAF), євро/т	0	0,00	98,50	2,86	3,10	3,71	4,97	5,58	6,19	6,80	7,48
Екологічний податок в Україні, євро/т	1,06	1,13	1,09	1,08	1,06	0,99	0,96	0,95	0,92	0,91	0,91
Середнє СВАМ-навантаження, євро/т	0,00	0,00	98,50	91,77	93,85	82,04	97,45	104,67	110,59	116,96	125,42
Загальні фінансові зобов'язання, євро/т	1,06	1,13	99,59	92,85	94,91	83,03	98,41	105,62	111,52	117,87	126,33
w4	-	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145
Регуляторний вимір	-	0,1368	0,0015	0,0017	0,0016	0,0019	0,0016	0,0015	0,0014	0,0013	0,0012
Виробництво є/є, всього	101,12	101,24	102,92	104,67	106,58	108,69	111,01	113,56	116,37	119,45	122,85
Виробництво є/є на АЕС, ТВт·год	53,00	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60
Виробництво є/є з нафти, ТВт·год	0,58	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Виробництво є/є з газу, ТВт·год	8,10	8,91	9,80	10,78	11,86	13,05	14,35	15,78	17,36	19,10	21,01
Виробництво є/є з вугілля, ТВт·год	19,62	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
Виробництво є/є на ГЕС, ТВт·год	12,76	12,40	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
Виробництво є/є на СЕС, ТВт·год	6,05	6,66	7,32	8,05	8,86	9,74	10,72	11,79	12,97	14,27	15,69
Виробництво є/є на ВЕС, ТВт·год	0,25	0,28	0,30	0,33	0,37	0,40	0,44	0,49	0,54	0,59	0,65
Виробництво є/є, інше, ТВт·год	0,76	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Частка ВДЕ у виробництві є/є	0,196	0,199	0,203	0,207	0,211	0,216	0,220	0,225	0,230	0,236	0,241
w5	-	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193
Енергетичний вимір	-	0,1958	0,2002	0,2040	0,2081	0,2124	0,2170	0,2218	0,2268	0,2321	0,2376
Фінансово-інвестиційна спроможність	-	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
w6	-	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101
Фінансово-інвестиційний вимір	-	0,1010	0,1010	0,1010	0,1010	0,2020	0,2020	0,2020	0,2020	0,2020	0,2020
ІНТЕГРАЛЬНИЙ ІНДЕКС	-	0,9730	0,7828	0,7411	0,7434	0,8695	0,9012	0,9314	0,9644	0,9929	1,0186

Джерело: складено автором на основі власних розрахунків та даних [46;177; 178]

ДОДАТОК У

Таблиця У.1 – Розрахунок інтегрального індексу декарбонізаційної стійкості металургійної індустрії України за трансформаційним сценарієм

Найменування	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Обсяг виробництва сталі в Україні, млн т	7,58	7,41	7,20	7,40	7,60	7,80	7,80	8,20	8,80	9,70	10,80
w1	-	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209
Виробничий вимір	-	0,2045	0,1986	0,2041	0,2097	0,2152	0,2152	0,2262	0,2428	0,2676	0,2979
Експорт металопродукції, млн т	4,78	4,60	4,60	4,80	5,00	5,10	5,20	5,40	5,60	5,80	6,00
Внутрішній попит, млн т	2,79	2,81	2,60	2,60	2,60	2,70	2,60	2,80	3,20	3,90	4,80
w2	-	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151
Зовнішньоекономічний вимір	-	0,1453	0,1453	0,1516	0,1579	0,1610	0,1642	0,1705	0,1768	0,1831	0,1895
Виробництво сталі BF-OHF, млн т	2,89	3,21	2,50	2,20	2,10	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Виробництво сталі BF-BOF, млн т	3,75	3,70	3,70	3,90	4,00	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10
Виробництво сталі DRI-EAF, млн т	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,30	1,60	2,00	2,50	2,70
Виробництво сталі scrap-EAF, млн т	0,934	0,5	1	1,3	1,5	1,7	2,4	2,5	2,7	3,1	4
Вуглецемісткість BF-OHF, т CO ₂ -екв/т	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35
Вуглецемісткість BF-BOF, т CO ₂ -екв/т	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Вуглецемісткість DRI-EAF, т CO ₂ -екв/т	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Вуглецемісткість scrap-EAF, т CO ₂ -екв/т	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Середня вуглецемісткість, т CO ₂ -екв/т	1,83	1,94	1,79	1,71	1,67	1,44	1,20	1,18	1,15	1,10	1,04
w3	-	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201
Екологічний вимір	-	0,1897	0,2057	0,2154	0,2209	0,2558	0,3057	0,3113	0,3199	0,3332	0,3546
експорт в інші країни, млн т	1,43	0,92	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
експорт в ЄС, млн т, в тому числі:	3,35	3,68	3,70	3,80	4,00	4,10	4,20	4,40	4,60	4,80	5,00
– за маршрутом BF-OHF, млн т	1,28	1,59	1,28	1,13	1,11	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
– за маршрутом BF-BOF, млн т	1,66	1,84	1,90	2,00	2,11	2,16	2,21	2,20	2,14	2,03	1,90
– за маршрутом DRI-EAF, млн т	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	0,70	0,86	1,05	1,24	1,25
– за маршрутом scrap-EAF, млн т	0,41	0,25	0,51	0,67	0,79	0,89	1,29	1,34	1,41	1,53	1,85

СВАМ-платежі (BF-OHF), євро/т	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	134,49	145,41	156,32	167,24	179,47
СВАМ-платежі (BF-BOF), євро/т	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	112,05	122,97	133,89	144,81	157,04
СВАМ-платежі (DRI-EAF), євро/т	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	65,79	68,88	71,97	75,06	78,52
СВАМ-платежі (scrap-EAF), євро/т	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,97	5,58	6,19	6,80	7,48
Екологічний податок в Україні, євро/т	1,06	1,13	1,04	0,99	0,97	0,83	0,70	0,69	0,67	0,64	0,60
Середнє СВАМ-навантаження, євро/т	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	71,40	76,63	80,64	82,73	82,02
Загальні фінансові зобов'язання, євро/т	1,06	1,13	1,04	0,99	0,97	0,83	72,09	77,31	81,30	83,37	82,62
w4	-	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145
Регуляторний вимір	-	0,1368	0,1484	0,1554	0,1594	0,1845	0,0021	0,0020	0,0019	0,0018	0,0019
Виробництво є/є, всього	101,12	102,27	105,86	109,74	113,92	118,46	123,39	128,77	134,64	141,08	148,16
Виробництво є/є на АЕС, ТВт·год	53,00	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60
Виробництво є/є з нафти, ТВт·год	0,58	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Виробництво є/є з газу, ТВт·год	8,10	8,91	9,80	10,78	11,86	13,05	14,35	15,78	17,36	19,10	21,01
Виробництво є/є з вугілля, ТВт·год	19,62	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
Виробництво є/є на ГЕС, ТВт·год	12,76	12,40	13,02	13,67	14,35	15,07	15,83	16,62	17,45	18,32	19,24
Виробництво є/є на СЕС, ТВт·год	6,05	6,96	8,00	9,20	10,58	12,17	13,99	16,09	18,51	21,28	24,48
Виробництво є/є на ВЕС, ТВт·год	0,25	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
Виробництво є/є, інше, ТВт·год	0,76	0,80	0,84	0,88	0,93	0,97	1,02	1,07	1,13	1,18	1,24
Частка ВДЕ у виробництві є/є	0,196	0,207	0,225	0,244	0,262	0,280	0,299	0,317	0,335	0,353	0,371
w5	-	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193
Енергетичний вимір	-	0,2037	0,2219	0,2401	0,2581	0,2761	0,2940	0,3119	0,3297	0,3475	0,3652
Фінансово-інвестиційна спроможність	-	0,25	0,25	0,5	0,5	0,75	0,75	1	1	1	1
w6	-	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101
Фінансово-інвестиційний вимір	-	0,1010	0,1010	0,2020	0,2020	0,3030	0,3030	0,4040	0,4040	0,4040	0,4040
ІНТЕГРАЛЬНИЙ ІНДЕКС	-	0,9809	1,0209	1,1686	1,2080	1,3956	1,2842	1,4259	1,4751	1,5372	1,6131

Джерело: складено автором на основі власних розрахунків та даних [46;177; 178]

ДОДАТОК Ф

Таблиця Ф.1 – Розрахунок інтегрального індексу декарбонізаційної стійкості металургійної індустрії України за воєнно-відновлювальним сценарієм

Найменування	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Обсяг виробництва сталі в Україні, млн т	7,58	7,41	8,00	9,30	10,50	11,20	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
w1	-	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209
Виробничий вимір	-	0,2045	0,2207	0,2566	0,2897	0,3090	0,3310	0,3310	0,3310	0,3310	0,3310
Експорт металопродукції, млн т	4,78	4,60	2,90	1,70	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Внутрішній попит, млн т	2,79	2,81	5,10	7,60	9,00	9,70	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50
w2	-	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151
Зовнішньоекономічний вимір	-	0,1453	0,0916	0,0537	0,0474	0,0474	0,0474	0,0474	0,0474	0,0474	0,0474
Виробництво сталі BF-OHF, млн т	2,89	3,21	2,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Виробництво сталі BF-BOF, млн т	3,75	3,70	5,00	7,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Виробництво сталі DRI-EAF, млн т	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,50	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Виробництво сталі scrap-EAF, млн т	0,934	0,5	1	1,3	1,5	1,7	2	2	2	2	2
Вуглецемісткість BF-OHF, т CO ₂ -екв/т	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35
Вуглецемісткість BF-BOF, т CO ₂ -екв/т	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Вуглецемісткість DRI-EAF, т CO ₂ -екв/т	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Вуглецемісткість scrap-EAF, т CO ₂ -екв/т	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Середня вуглецемісткість, т CO ₂ -екв/т	1,83	1,94	1,76	1,66	1,51	1,46	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
w3	-	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201
Екологічний вимір	-	0,1897	0,2096	0,2222	0,2442	0,2522	0,2613	0,2613	0,2613	0,2613	0,2613
експорт в інші країни, млн т	1,43	0,92	0,90	0,70	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
експорт в ЄС, млн т, в тому числі:	3,35	3,68	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
– за маршрутом BF-OHF, млн т	1,28	1,59	0,50	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
– за маршрутом BF-BOF, млн т	1,66	1,84	1,25	0,75	0,76	0,71	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
– за маршрутом DRI-EAF, млн т	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,13	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
– за маршрутом scrap-EAF, млн т	0,41	0,25	0,25	0,14	0,14	0,15	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17

СВАМ-платежі (BF-OHF), євро/т	0	0,00	98,50	119,16	100,86	111,78	134,49	145,41	156,32	167,24	179,47
СВАМ-платежі (BF-BOF), євро/т	0	0,00	98,50	119,16	78,42	89,34	112,05	122,97	133,89	144,81	157,04
СВАМ-платежі (DRI-EAF), євро/т	0	0,00	98,50	119,16	56,28	59,37	65,79	68,88	71,97	75,06	78,52
СВАМ-платежі (scrap-EAF), євро/т	0	0,00	98,50	119,16	3,10	3,71	4,97	5,58	6,19	6,80	7,48
Екологічний податок в Україні, євро/т	1,06	1,13	1,02	0,96	0,87	0,85	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
Середнє СВАМ-навантаження, євро/т	0,00	0,00	98,50	119,16	65,55	72,33	86,50	94,39	102,29	110,18	119,02
Загальні фінансові зобов'язання, євро/т	1,06	1,13	99,52	120,12	66,43	73,18	87,31	95,21	103,10	111,00	119,84
w4	-	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145
Регуляторний вимір	-	0,1368	0,0015	0,0013	0,0023	0,0021	0,0018	0,0016	0,0015	0,0014	0,0013
Виробництво є/є, всього	101,12	102,27	105,86	109,74	113,92	118,46	123,39	128,77	134,64	141,08	148,16
Виробництво є/є на АЕС, ТВт·год	53,00	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60	52,60
Виробництво є/є з нафти, ТВт·год	0,58	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Виробництво є/є з газу, ТВт·год	8,10	8,91	9,80	10,78	11,86	13,05	14,35	15,78	17,36	19,10	21,01
Виробництво є/є з вугілля, ТВт·год	19,62	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
Виробництво є/є на ГЕС, ТВт·год	12,76	12,40	13,02	13,67	14,35	15,07	15,83	16,62	17,45	18,32	19,24
Виробництво є/є на СЕС, ТВт·год	6,05	6,96	8,00	9,20	10,58	12,17	13,99	16,09	18,51	21,28	24,48
Виробництво є/є на ВЕС, ТВт·год	0,25	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
Виробництво є/є, інше, ТВт·год	0,76	0,80	0,84	0,88	0,93	0,97	1,02	1,07	1,13	1,18	1,24
Частка ВДЕ у виробництві є/є	0,196	0,207	0,225	0,244	0,262	0,280	0,299	0,317	0,335	0,353	0,371
w5	-	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193
Енергетичний вимір	-	0,2037	0,2219	0,2401	0,2581	0,2761	0,2940	0,3119	0,3297	0,3475	0,3652
Фінансово-інвестиційна спроможність	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
w6	-	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101
Фінансово-інвестиційний вимір	-	0,1010	0,1010	0,2020	0,2020	0,2020	0,2020	0,2020	0,2020	0,2020	0,2020
ІНТЕГРАЛЬНИЙ ІНДЕКС	-	0,9809	0,8463	0,9758	1,0437	1,0887	1,1375	1,1552	1,1729	1,1906	1,2082

Джерело: складено автором на основі власних розрахунків та даних [46;177; 178]

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У зарубіжному періодичному науковому виданні:

1. Lohvynenko Y. «Green» restoration of the steel industry of Ukraine. *SWorldJournal*. 2025. № 29-02. С. 60–68. URL: <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2025-29-02-015> (дата звернення: 01.06.2026) (0,5 д.а.).

У наукових фахових виданнях України

2. Логвиненко Є. Заходи торговельного захисту товаровиробників металургійної індустрії в умовах екологічних викликів. *Збірник наукових праць "Вчені записки"*. 2023. № 33(4). С. 79-89. http://doi.org/10.33111/vz_kneu.33.23.04.06.040.046 (дата звернення: 01.06.2026) (0,6 д.а.).

3. Логвиненко Є., Черницька Т. Мережевізація товаровиробників сталеливарної промисловості в контексті глобальних кліматичних змін. *Економіка та суспільство*. 2024. № 63. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-128> (дата звернення: 01.06.2026) (0,9 д.а.) (особисто автору належить 0,6 д.а.: дослідження ключових профільних організацій товаровиробників сталеливарної промисловості та їх класифікація).

4. Логвиненко Є. Вплив лібералізації зовнішньої торгівлі на експорт металопродукції з України. *Економічний аналіз*. 2024. № 34(3). С. 484–496. URL: <https://doi.org/10.35774/econa2024.03.484> (дата звернення: 01.06.2026) (0,8 д.а.).

5. Логвиненко Є. Металургія як джерело вуглецевих екстерналій у глобальних ланцюгах вартості. *Актуальні проблеми сталого розвитку*. 2026. Т. 3, № 4. С. 274–280. URL: [https://doi.org/10.60022/3\(4\)-33s](https://doi.org/10.60022/3(4)-33s) (дата звернення: 01.06.2026) (0,6 д.а.).

Публікації апробаційного характеру:

6. Логвиненко Є. Екологічний та євроінтеграційний аспекти виробництва сталі в Україні в умовах війни. *«Наукова весна» 2023: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених* (м.

Дніпро, 1-3 березня 2023 р.). Дніпро: НТУ «ДП», 2023. С. 108-111 (0,3 д.а.) (форма участі дистанційна).

7. Логвиненко Є. Перспективи екологізації вітчизняної металургійної індустрії. *Міжнародний вимір відновлення економіки України: Зб. матеріалів студентської наук.-практ. Інтернет-конф.* (м. Київ, 23 листопада 2023 р.). Київ: КНЕУ, 2023. С. 109-113 (0,2 д.а.) (форма участі дистанційна).

8. Логвиненко Є. СВAM та виробництво сталі в Україні. *«Економічний та соціальний вплив конфліктів на сучасний світ»: книга абстрактів міжнародної наукової конференції* (м. Седльце, 23 травня 2024 р.). Седльце: Академія Прикладних Наук Мазовія, 2024. С. 157-159 (0,1 д.а.) (форма участі дистанційна).

9. Логвиненко Є. Вектори розвитку технологічних інновацій декарбонізації металургійної галузі. *Зелена економіка та низьковуглецевий розвиток: дорожня карта для України: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф.* (м. Київ, 19 груд. 2024 р.). Львів-Торунь: Liha-Pres, 2024. С. 27-30 (0,2 д.а.) (форма участі дистанційна).

10. Логвиненко Є. Перспективи співробітництва виробників сталі в контексті декарбонізації. *«Global trends in the development of educational systems»: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Берген, 21-24 січня 2025 р.). Берген: International Science Group, 2025. С. 35-37 (0,1 д.а.) (форма участі дистанційна).

11. Логвиненко Є. Інвентаризація парникових газів виробництва сталі у контексті декарбонізації. *«Innovative scientific research: latest theories, modern methods and practices»: матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Севілья, 20-23 травня 2025 р.). Севілья: International Science Group, 2025. С. 144-147 (0,2 д.а.) (форма участі дистанційна).

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної роботи
Київського національного економічного
університету імені Вадима Гетьмана


Анатолій КОЛОТ
«25» травня 2026 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Київського національного економічного
університету імені Вадима Гетьмана


Лариса АНТОНЮК
«25» травня 2026 р.

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Логвиненка Євгенія Олександровича на тему:
«Модернізація світової металургійної індустрії
в умовах глобальних кліматичних змін»
у навчальний процес у Київському національному
економічному університеті імені Вадима Гетьмана

Деканат факультету міжнародної економіки і менеджменту Київського національного економічного університету імені Вадима Гетьмана підтверджує, що ряд наукових положень і висновків дисертаційної роботи Логвиненка Євгенія Олександровича використовується у навчальному процесі при викладанні нормативних та спеціальних дисциплін для бакалаврів і магістрів з міжнародної економіки:

- **Міжнародна безпека** (у сфері екологічної безпеки: обґрунтування кліматичних змін як чинника посилення економічних та екологічних ризиків у системі міжнародної безпеки; розкриття дуалістичної ролі металургії як джерела емісії парникових викидів і матеріальної основи низьковуглецевої інфраструктури).
- **Міжнародна економіка** (у тематиці дослідження світового товарного ринку: дослідження ролі металургійної індустрії у глобальних ланцюгах створення вартості; розкриття економічної природи вуглецевих екстерналій через формування «вбудованих викидів» та їх транскордонного перенесення; узагальнення механізмів захисту товаровиробників в рамках COT в умовах екологічних викликів).
- **Управління міжнародною конкурентоспроможністю** (у контексті визначення екологічних переваг: порівняння міжнародних моделей декарбонізації; оцінка конкурентоспроможності металургійної індустрії України в умовах декарбонізації світових ринків).
- **Управління діловою досконалістю** (у сфері ESG-рішень: систематизація ключових детермінант декарбонізації металургійної індустрії; сценарне моделювання розвитку галузі та формування стратегічних пріоритетів її модернізації).
- **Європейська інтеграція** (у тематиці дослідження Європейського зеленого курсу як стратегічного напрямку секторальної політики ЄС та обґрунтування значення декарбонізації у процесі конвергенції України з ЄС).

Використання результатів дисертаційної роботи сприяє оновленню змісту навчальних дисциплін відповідно до сучасних глобальних, кліматичних та геоекономічних викликів і підвищенню рівня теоретичної та практичної підготовки здобувачів вищої освіти.

Декан факультету міжнародної
економіки та менеджменту



Юрій СОЛОДКОВСЬКИЙ

ТОВ "ФЕРОКС ГРУП"

LIMITED LIABILITY COMPANY "FEROX GROUP"



☎ + 38 050-326-06-88

ЄДРПОУ - 46153186

tovferoxgroup@gmail.com

✉ 49098, м. Дніпро, вул. Сонячна Набережна, будинок 2, БФЦ Вавілон-1, 6-поверх

№ 35 від 07.04.2016р

До спеціалізованої вченої ради
Київського національного
економічного університету імені
Вадима Гетьмана

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Логвиненка Євгенія Олександровича на тему:
«Модернізація світової металургійної індустрії
в умовах глобальних кліматичних змін»

Товариство з обмеженою відповідальністю «ФЕРОКС ГРУП» підтверджує, що результати дисертаційного дослідження Логвиненка Євгенія Олександровича на тему «Модернізація світової металургійної індустрії в умовах глобальних кліматичних змін», розглянуто і використано у практичній діяльності підприємства.

Здобуті у дисертаційній роботі наукові результати мають практичну цінність для ТОВ «ФЕРОКС ГРУП» зокрема в частині посилення ролі вторинної сировини у низьковуглецевій модернізації металургійної індустрії та адаптації бізнесу до глобальних кліматичних змін.

У діяльності ТОВ «ФЕРОКС ГРУП», використано:

- методичний підхід до оцінювання декарбонізаційного потенціалу металургійної індустрії з урахуванням технологічної структури виробництва, вуглецевої інтенсивності та зовнішньоекономічних кліматичних обмежень під час аналізу ринкових перспектив реалізації товару;
- наукові положення щодо економічної природи негативних вуглецевих екстерналій та вбудованих викидів у глобальних ланцюгах створення вартості для формування комерційних і аналітичних підходів до позиціонування металобрухту як сировини для низьковуглецевого виробництва;

Результати дослідження впроваджено при підготовці внутрішніх аналітичних матеріалів, а також при формуванні підходів до розширення співпраці з металургійними і трейдинговими компаніями в умовах зростання вимог до вуглецевої нейтральності.

Директор



Сергій ПАНІН



KERAMET Hungary Kft

H-2400, Dunaújváros, Vasmű út 39. 3. em. 307. ajtó

№ 012/2026 від 11.05.2026

До спеціалізованої вченої ради
Київського національного
економічного університету імені
Вадима Гетьмана

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Логвиненка Євгенія Олександровича на тему:
**«Модернізація світової металургійної індустрії
в умовах глобальних кліматичних змін»**

Keramet Hungary Kft. засвідчує, що результати дисертаційного дослідження Логвиненка Євгенія Олександровича на тему «Модернізація світової металургійної індустрії в умовах глобальних кліматичних змін» розглянуто та прийнято до практичного використання.

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертації становлять практичний інтерес для діяльності Keramet Hungary Kft як підприємства, що здійснює збирання, заготівлю та переробку брухту чорних металів, у частині посилення ролі металобрухту як вторинної сировини для низьковуглецевої трансформації металургійної індустрії.

У практичній діяльності Keramet Hungary Kft використано:

– авторський підхід до систематизації детермінант декарбонізації металургійної індустрії для оцінювання впливу технологічних, енергетичних, фінансових та інших чинників на бізнес-модель підприємства;

– положення до розвитку горизонтальної співпраці з металургійними підприємствами та профільними галузевими об'єднаннями з метою посилення ролі металобрухту в процесах декарбонізації та низьковуглецевої модернізації металургійної індустрії.

Отримані результати мають практичне значення для підвищення конкурентоспроможності Keramet Hungary Kft на ринку вторинних металів та розвитку співпраці з підприємствами, залученими до низьковуглецевої модернізації металургійного виробництва.

Директор

KERAMET Hungary Kft.
2400 Dunaújváros Vasmű út 39. 3. 307.
Adószám: 24167435-2-07
VPID: HU0017878689
Cégjegyzékszám: 07-09-023102

Тетяна МАЛАХОВА