ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
«ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«МІЖРЕГІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ»

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ЗЕЛЕНІН ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 338.45:669:330.34:502.131.1:330.15:504.06

ДИСЕРТАЦІЯ
«УПРАВЛІННЯ СТАЛИМ РОЗВИТКОМ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ В УМОВАХ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ»

Спеціальність 08.00.03 – економіка та управління національним господарством

Подається на здобуття наукового ступеня доктора економічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Ю.М. Зеленін
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Київ – 2026

АНОТАЦІЯ

Зеленін Ю. М. Управління сталим розвитком металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації національної економіки. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора економічних наук за спеціальністю 08.00.03 – економіка та управління національним господарством. – Приватне акціонерне товариство «Вищий навчальний заклад «Міжрегіональна Академія управління персоналом», Київ, 2026.

У дисертації наведено нове вирішення наукової проблеми формування теоретичних, методичних та організаційно-економічних засад управління сталим розвитком металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації національної економіки. Декарбонізацію металургії розглянуто як складову промислової політики, відновлення виробничого потенціалу, збереження експортної стійкості, залучення довгострокового капіталу та забезпечення справедливого переходу металургійних територій.

Уточнено зміст сталого розвитку металургійної галузі як керованого процесу зміни виробничої, технологічної, енергетичної, ресурсної, інвестиційної та соціально-регіональної структури галузі, за якого зростання промислової результативності поєднується зі скороченням питомих і абсолютних викидів парникових газів, ресурсною ефективністю, доказовістю даних та адаптацією до нових правил міжнародної торгівлі. Систематизовано еволюцію наукових підходів від природоохоронного контролю до кліматично сумісної моделі галузевого розвитку.

Розкрито особливості енергопереходу в металургії, що зумовлені технологічною роллю вуглецю у відновленні залізної руди, тривалим строком експлуатації агрегатів, високою капіталомісткістю, залежністю від енергетичної та сировинної інфраструктури. Обґрунтовано необхідність взаємодоповнювального пакета нормативно-правових, економічних, фінансово-

інвестиційних, інформаційних, інфраструктурних, ринкових і соціальних інструментів.

Удосконалено методичний підхід до оцінювання економіко-технологічного потенціалу низьковуглецевого розвитку галузі. Потенціал визначено як здатність виробничих, технологічних, енергетичних, сировинних, інвестиційних, інформаційних, інституційних і кадрових складових забезпечувати відновлення випуску за одночасного зниження вуглецеємності та підвищення ринкової стійкості. Розмежовано наявний, мобілізований і реалізований потенціал.

Розроблено методику галузевого зонально-сценарного регулювання вуглецеємності металургії, що поєднує дворівневий індикативний коридор, технологічну сегментацію випуску, визначення часток виробництва у регуляторних зонах, причинну діагностику відхилень, добір диференційованих інструментів та сценарне переоцінювання. Мотиваційний індикативний показник становить 1,343 тонни вуглекислого газу в еквіваленті на тонну сталі, обмежувальний – 1,460 тонни.

Фактична апробація методики засвідчила, що у 2025 році середньогалузева вуглецеємність становила 2,021 тонни вуглекислого газу в еквіваленті на тонну сталі, а структура випуску зберігала значну частку високовуглецевих та інформаційно недостатньо розкритих процесів. Доведено, що скорочення абсолютних викидів через воєнне падіння виробництва не є технологічною декарбонізацією. Сформовано окремі контури національної інвентаризації, технологічного бенчмаркінгу та продуктового обліку вбудованих викидів.

Розроблено нормативно-сценарний портфель технологічної модернізації. За трансформаційною траєкторією передбачено зниження середньогалузевої вуглецеємності до 1,375 тонни у 2030 році та до 0,9525 тонни у 2035 році за одночасного відновлення виробництва. Портфель поєднує найкращі доступні технології та методи управління, електросталеплавильні маршрути на основі брухту, пряме відновлення заліза, водневу готовність, низьковуглецеву електроенергію, цифровий облік і спільну інфраструктуру.

Запропоновано стейкхолдерно-координовану модель управління та галузеву доказову інфраструктуру за принципом одноразового збирання і багаторазового контрольованого використання даних. Поєднано установчий моніторинг викидів, продуктовий облік вбудованих викидів, звітність зі сталого розвитку, галузевий реєстр і цифровий кліматично-ресурсний паспорт продукції. Це забезпечує зв'язок між вимірюванням, верифікацією, фінансуванням, доступом до ринку та коригуванням галузевої політики.

Удосконалено інституційне та соціально-регіональне забезпечення справедливого переходу через профілювання залежності металургійних територій, оцінювання впливу технологічних сценаріїв на зайнятість, територіальні плани переходу, професійну підготовку під підтверджений попит та соціальний діалог. Сформовано фінансово-інвестиційне забезпечення галузевого портфеля на основі змішаного фінансування. Сценарна потреба у капіталі оцінена у 4,028 мільярда євро до 2030 року та 7,863 мільярда євро до 2035 року, а ефективна середньозважена вартість фінансування знижується з 13,436 до 7,823 відсотка.

Розроблено авторський організаційно-економічний механізм партнерської реалізації низьковуглецевої трансформації. Механізм визначає учасників, ресурси, зобов'язання, відповідальність, правила добору проєктів, структуру багатосторонньої угоди, розподіл технологічних, фінансових, регуляторних, інфраструктурних, соціальних і воєнних ризиків, поєднання державної підтримки, грантів, кредитів міжнародних фінансових організацій, гарантій, власного капіталу та перехідних облігацій. Проєктний цикл завершується перевіркою результатів і коригуванням портфеля.

Практичне значення результатів полягає у можливості використання запропонованих положень органами державної влади, місцевого самоврядування, металургійними підприємствами, фінансовими установами, міжнародними партнерами, закладами освіти та промисловими громадами під час формування

програм відновлення, декарбонізації, адаптації експорту, залучення інвестицій і забезпечення соціальної стійкості.

Ключові слова: металургійна галузь, сталий розвиток, низьковуглецева трансформація, вуглецеємність, парникові гази, індикативні показники, технологічна модернізація, бенчмаркінг, справедливий перехід, змішане фінансування, партнерський механізм, національна економіка.

SUMMARY

Zelenin Yu. M. Management of Sustainable Development of the Metallurgical Industry under the Conditions of Low-Carbon Transformation of the National Economy. – Qualification scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Economic Sciences in specialty 08.00.03 – Economics and Management of the National Economy. – Private Joint-Stock Company "Higher Educational Institution "Interregional Academy of Personnel Management", Kyiv, 2026.

The dissertation provides a new solution to the scientific problem of forming theoretical, methodological, organizational and economic foundations for managing the sustainable development of the metallurgical industry under the low-carbon transformation of the national economy. Decarbonisation is considered as an element of industrial recovery, export resilience, access to long-term capital and a just transition for metallurgical regions.

The concept of sustainable development of the metallurgical industry is clarified as a managed transformation of the production, technological, energy, resource, investment and social-regional structure of the sector. Industrial performance is combined with lower specific and absolute greenhouse gas emissions, resource efficiency, reliable data and adaptation to new international trade rules. The evolution of scientific approaches is systematised from pollution control to a climate-compatible sectoral development model.

The specific features of the energy transition in metallurgy are identified. They arise from the technological role of carbon in iron-ore reduction, the long life cycle of assets, high capital intensity and dependence on energy, raw-material and transport infrastructure. A complementary package of legal, economic, financial, informational, infrastructural, market and social instruments is substantiated.

The methodological approach to assessing the economic and technological potential of low-carbon development is improved. Potential is defined as the capacity of production, technology, energy, raw materials, investment, information, institutions and

human resources to restore output while reducing carbon intensity and strengthening market resilience. Available, mobilised and realised potential are distinguished.

A methodology for sectoral zonal-scenario regulation of carbon intensity is developed. It combines a two-level indicative corridor, technological segmentation of output, allocation of production among regulatory zones, causal diagnosis of deviations, differentiated policy instruments and scenario reassessment. The motivational benchmark is 1.343 tonnes of carbon-dioxide equivalent per tonne of steel and the restrictive benchmark is 1.460 tonnes.

Empirical application shows that in 2025 the average sectoral carbon intensity was 2.021 tonnes of carbon-dioxide equivalent per tonne of steel. A substantial share of output remained associated with carbon-intensive or insufficiently disclosed processes. The study proves that a decline in absolute emissions caused by wartime production losses does not constitute technological decarbonisation. National inventory accounting, technological benchmarking and product-level embedded-emission accounting are separated.

A normative scenario portfolio of technological modernisation is developed. Under the transformation pathway, average sectoral carbon intensity declines to 1.375 tonnes in 2030 and 0.9525 tonnes in 2035 while steel output recovers. The portfolio combines best available techniques, scrap-based electric steelmaking, direct reduced iron, hydrogen-ready solutions, low-carbon electricity, digital accounting and shared infrastructure.

A stakeholder-coordinated governance model and an evidence infrastructure based on the principle of collecting data once and using them repeatedly under controlled conditions are proposed. Installation monitoring, product embedded-emission accounting, sustainability reporting, a sectoral register and a digital climate-and-resource product passport are integrated. This creates a direct link between measurement, verification, finance, market access and policy adjustment.

Institutional and social-regional support for a just transition is improved through territorial dependency profiles, assessment of employment impacts, territorial transition

plans, demand-driven reskilling and social dialogue. A portfolio-based blended-finance framework is formed. Scenario capital needs amount to EUR 4.028 billion by 2030 and EUR 7.863 billion by 2035, while the effective weighted average financing cost declines from 13.436 to 7.823 per cent.

An original organisational and economic mechanism for partnership implementation is developed. It defines participants, resources, obligations, responsibilities, project selection, the structure of a multilateral agreement, allocation of technological, financial, regulatory, infrastructural, social and war-related risks, and the combination of public support, grants, loans from international financial institutions, guarantees, equity and transition bonds. The project cycle ends with verification and portfolio adjustment.

The practical value of the results lies in their application by public authorities, local governments, metallurgical companies, financial institutions, international partners, educational institutions and industrial communities when preparing recovery, decarbonisation, export adaptation, investment and social-resilience programmes.

Keywords: metallurgical industry, sustainable development, low-carbon transformation, carbon intensity, greenhouse gases, indicative benchmarks, technological modernisation, benchmarking, just transition, blended finance, partnership mechanism, national economy.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у виданнях, які включено до переліку наукових фахових видань України

1. Зеленін Ю.М. Сталий розвиток та політика розвитку металургії: теоретико-методологічні підходи до встановлення кореляційних зв'язків. *Київський економічний науковий журнал*. 2024. № 7. С. 79-82.

2. Зеленін Ю.М. Ключові засади формування нової економічної політики розвитку металургії. *Інвестиції: практика та досвід*. 2024. № 21. С. 109-113.

3. Зеленін Ю.М. Економічний взаємозв'язок між технологічною трансформацією у металургії та природним капіталом. *Ефективна економіка*. 2024. № 11. URL: https://www.nayka.com.ua/index.php/ee/article/view/5092/5136

4. Зеленін Ю.М. Стійкий розвиток металургії у контексті становлення економіки замкнутого циклу. *Інвестиції: практика та досвід*. 2024. № 22. С. 97-100.

5. Зеленін Ю.М. Нова дескриптивна модель екологічної політики розвитку металургії. *Ефективна економіка*. 2024. № 12. URL: https://www.nayka.com.ua/index.php/ee/article/view/5364/5417

6. Зеленін Ю.М. Методичні підходи до оцінки результативності ресурсної ефективності металургії. *Інвестиції: практика та досвід*. 2024. № 24. С. 69-72.

7. Зеленін Ю.М. Напрями стратегічного планування у системі підвищення ресурсної ефективності металургії. *Ефективна економіка*. 2025. № 2. URL: https://www.nayka.com.ua/index.php/ee/article/view/5795/5850

8. Зеленін Ю.М. Аналіз проблем та можливостей розвитку металургії. *Інвестиції: практика та досвід*. 2025. № 4. С. 49-53.

9. Зеленін Ю.М. Аналіз досвіду формування державної політики розвитку металургії у високорозвинених індустріальних країнах. *Інвестиції: практика та досвід*. 2025. № 5. С. 102-106.

10. Зеленін Ю.М. Сутність та зміст економічної політики розвитку металургії. *Наукові праці Міжрегіональної Академії управління персоналом. Економічні науки*. 2025. № 1 (77). С. 15-19.

11. Зеленін Ю.М. Концепція економічного розвитку металургії на основі переходу до найкращих доступних технологій. *Review of transport economics and management*. Дніпро: Український державний університет науки і технологій, 2024. Вип. 12 (28). С. 50-54.

12. Зеленін Ю.М. Пріоритетні напрямки взаємодії України та ЄС в галузі чорної металургії. *Ефективна економіка*. 2025. № 11. URL: https://www.nayka.com.ua/index.php/ee/article/view/8166/8298

13. Зеленін Ю.М. Формування стратегії модернізації металургії. *Ефективна економіка*. 2025. № 11. URL: https://www.nayka.com.ua/index.php/ee/article/view/8166/8298

14. Зеленін Ю.М. Тенденції декарбонізації металургії у контексті сталого розвитку. *Інвестиції: практика та досвід*. 2025. № 22. С. 232-238.

15. Зеленін Ю.М. Особливості сталого розвитку металургії в умовах енергопереходу. *Інвестиції: практика та досвід*. 2025. № 22. С. 232-238.

16. Зеленін Ю.М. Індикативні показники питомих викидів парникових газів як основа національної галузевої системи бенчмаркінгу металургії. *Social Development and Security*. 2026. Vol. 16. № 1. С. 506-517.

17. Зеленін Ю.М. Концептуальні засади механізму регулювання вуглецевоємності в чорній металургії. *Social Development and Security*. 2026. Vol. 16. № 2. С. 506-515.

Стаття у науковому періодичному виданні іншої держави із напряму, з якого підготовлено дисертацію

18. Zelenin Yu. Levels of carbon intensity regulation within the organizational and economic mechanism of metallurgy development. *Stredoevropsky vestnik pro vedu vyzkum*. 2026. Vol. 1. № 1. P. 120-131.

Статті у виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus

19. Nataliia Levchenko, Ganna Shyshkanova, Yuriy Zelenin, Prykhodko Volodymyr, Maksym Kovalskyi. Global trend of decarbonization as a determining factor of development of external economic activity of metallurgical enterprises. *Rural Sustainability Research*. 2022. Vol. 47 (342). P. 61-75. DOI: https://doi.org/10.2478/plua-2022-0008 (*особистий внесок:* удосконалено методичний підхід до оцінювання ефекту декаплінгу та обґрунтовано модель визначення інвестиційного забезпечення декарбонізації металургійної галузі в умовах дії CBAM)

20. Valentyna Voronkova, Vitalina Nikitenko, Yevhen Sobol, Roman Oleksenko, Yuriy Zelenin, Olena Kravchenko, Lesia Levchenko, Nataliia Yukhymenko. The Digital Transformation of the Most Dynamic Region in the World (China, Malaysia, India) as a Key Factor in Economic Development within the Context of Industry 5G: Trends, Challenges, and Strategies. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*. 2024. Vol. 22. № 1. DOI: https://doi.org/10.57239/PJLSS-2024-22.1.00105 (*особистий внесок:* обґрунтовано роль цифрової трансформації металургії та технологій 5G у забезпеченні інноваційного розвитку, підвищенні продуктивності, конкурентоспроможності й адаптаційної спроможності економічних систем в умовах глобальної цифровізації)

21. Natalya Metelenko, Valentyna Voronkova, Vitalina Nikitenko, Iryna Tubolets, Yuriy Zelenin, Oksana Marchenko, Natalia Babko, Evgeniy Podakov, Maryna Salnikova. Integration of Environmental Technologies into Industrial Management as a Tool for Ensuring Sustainable Development. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*. 2025. Vol. 23. № 1. P. 230-237. DOI: https://doi.org/10.57239/PJLSS-2025-23.1.0020 (*особистий внесок:* обґрунтовано роль екологічних технологій в управлінні металургійними процесами як чинника підвищення екологічної результативності, ресурсної ефективності та сталого розвитку металургії)

Розділ у колективній монографії

22. Зеленін Ю.М. Методичні підходи до оцінки вуглецеємності для металургії з використанням розроблених індикативних показників питомих викидів парникових газів. *Міждисциплінарні дослідження в галузі науки, інновацій та суспільного розвитку* / за заг. ред. Є.Г. Карташова. Прага: Publishing house Education and Science s.r.o., 2025. С. 137-182.

Тези наукових доповідей

23. Зеленін Ю.М. Механізм вуглецевого коригування імпорту металопродукції в країни ЄС. *Сучасні тенденції та суперечності розвитку світової економіки та бізнесу*: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції за міжнародною участю, м. Київ, 25 січня 2022 р. Київ: Міжрегіональна Академія управління персоналом, 2022. С. 138-141.

24. Зеленін Ю.М. Прискорення процесу декарбонізації металургійних підприємств України. *Стратегічні пріоритети розвитку підприємництва, торгівлі та біржової діяльності*: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, Запоріжжя, 11-12 травня 2022 р. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. С. 308-310.

25. Зеленін Ю.М. Розвиток інституційних підходів в металургії з урахуванням доступу до якісних ресурсів. *Інноваційні методи управління економікою в умовах цифровізації бізнесу*: збірник матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 10 жовтня 2024 р. Київ: Міжрегіональна Академія управління персоналом, 2024. С. 206-208.

26. Зеленін Ю.М. Негативні фактори впливу на український ринок продукції металургії. *Теоретико-практичні засади управління, економіки та природокористування: аспекти реінтеграції Криму в господарський комплекс України*: матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 14 листопада 2024 р. Одеса: Олді+, 2024. С. 364-367.

27. Зеленін Ю.М. Організаційно-економічний механізм ресурсного забезпечення стійкого розвитку металургії. *Сучасні виклики та сталий розвиток*

економіки і бізнесу: матеріали І Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Запоріжжя, 10 грудня 2024 р. Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. С. 97-99.

28. Zelenin Yu. Sustainable development of metallurgy: resource aspect. *GCI 2024: Global Challenges and Innovations: Interdisciplinary Approaches to Modern Scientific Issues*. De La Salle Araneta University, Philippines. 2024. P. 80-84.

29. Зеленін Ю.М. Сценарії розвитку металургії в різних інституціональних умовах її діяльності. *Національна безпека в умовах війни, післявоєнної відбудови та глобальних викликів XXI століття*: збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, 12-13 грудня 2024 р. Житомир: Житомирська політехніка, 2024. С. 81-84.

30. Зеленін Ю.М. Теоретичні основи формування стратегії модернізації металургії регіону. *Актуальні проблеми та перспективи соціально-економічного розвитку регіону в умовах сучасних глобальних викликів*: матеріали ІІІ Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, м. Кременчук, 30 січня 2025 р. 2025. С. 198-200.

31. Зеленін Ю.М. Формування системи управління корпоративними знаннями в металургії. *Публічне управління у сфері цивільного захисту: освіта, наука, практика*: матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 27 березня 2025 р. Черкаси: НУЦЗУ, 2025. С. 223-225. URL: http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/24849/1/TezPUA2025.pdf

32. Зеленін Ю.М. Механізми оптимізації витрат у металургії. *Гуманітарний дискурс суспільних проблем: минуле, сучасне, майбутнє*: матеріали XXV Всеукраїнської наукової конференції з міжнародною участю, м. Черкаси, 25 квітня 2025 р. Черкаси: НУЦЗ, 2025. С. 419-420.

33. Зеленін Ю.М. Екологізація розвитку металургійного комплексу України. *Синергія освіти, науки та бізнесу в епоху глобальних трансформацій*: збірник матеріалів ІІІ Міжнародної науково-практичної конференції, м. Чернігів, 27 лютого 2025 р. Чернігів: ГО «Науково-освітній інноваційний центр суспільних трансформацій», 2025. С. 157-158.

34. Зеленін Ю.М. Екологізація розвитку металургії. *Інноваційне підприємництво: стан та перспективи розвитку*: збірник матеріалів X Міжнародної науково-практичної конференції. Київ: КНЕУ, 2025. С. 163-166. URL: https://drive.google.com/file/d/1wX-qZ1GBBevOqD7lr4jY_AF-KpqSHktZ/view?usp=sharing

35. Зеленін Ю.М. Індикативний підхід до оцінки вуглецеємності металургійного виробництва України в умовах декарбонізації. *Global Scientific Horizons 2026: International Conference on Research, Innovation and Interdisciplinary Development*: Proceedings of International Scientific and Practical Conference, January 21, 2026, Charles University, Prague, Czech Republic. Prague: Publishing house Education and Science s.r.o., 2026. С. 37-43.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВДЕ	відновлювані джерела енергії
ЄС	Європейський Союз
ІПм	мотиваційний індикативний показник питомих викидів
ІПо	обмежувальний індикативний показник питомих викидів
МЗВ	моніторинг, звітність та верифікація викидів парникових газів
МФО	міжнародні фінансові організації
НДТМ	найкращі доступні технології та методи управління
ТЕО	техніко-економічне обґрунтування
BF–BOF	доменний і киснево-конвертерний технологічний маршрут
CAPEX	капітальні витрати
CBAM	механізм вуглецевого коригування імпорту Європейського Союзу
CCUS	уловлювання, використання та зберігання вуглецю
CIt	середньогалузева вуглецеємність виробництва сталі у році t
CO_2-екв.	вуглекислий газ в еквіваленті
DRI–EAF	пряме відновлення заліза з подальшою виплавкою в електродуговій печі
EAF	електродугове сталеплавильне виробництво
ESG	екологічні, соціальні та управлінські аспекти сталого розвитку
EU ETS	система торгівлі квотами на викиди Європейського Союзу
H_2–DRI	пряме відновлення заліза з використанням водню
MRV	моніторинг, звітність та верифікація
PPA	довгостроковий договір купівлі електроенергії
WACC	середньозважена вартість капіталу

ЗМІСТ

ВСТУП 18

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ УПРАВЛІННЯ СТАЛИМ РОЗВИТКОМ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ В УМОВАХ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ 32

1.1. Еволюція наукових підходів до сталого розвитку металургійної галузі 32

1.2. Особливості сталого розвитку металургійної галузі в умовах енергопереходу 56

1.3. Інструменти регулювання вуглецеємності металургійної галузі в умовах євроінтеграційних кліматичних викликів 76

Висновки до розділу 1 95

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ВУГЛЕЦЕЄМНОСТІ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ 96

2.1. Економіко-технологічний потенціал низьковуглецевого розвитку металургійної галузі 96

2.2. Індикативні показники питомих викидів парникових газів як основа національної галузевої системи бенчмаркінгу металургійної галузі 116

2.3. Методика галузевого зонально-сценарного регулювання вуглецеємності металургії 132

Висновки до розділу 2 148

РОЗДІЛ 3. ДІАГНОСТИКА ВИРОБНИЧОГО, ВУГЛЕЦЕВОГО ТА ЕКСПОРТНО-РЕГУЛЯТОРНОГО ПРОФІЛЮ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ 150

3.1. Аналіз виробництва у металургійній галузі України 150

3.2. Оцінювання галузевого вуглецевого профілю та розриву металургії України щодо Net Zero 170

3.3. Діагностика CBAM-вразливості металургійної галузі України 192

Висновки до розділу 3 211

РОЗДІЛ 4. СЦЕНАРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТА ДОКАЗОВЕ УПРАВЛІННЯ СТАЛИМ РОЗВИТКОМ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ 213

4.1. Технологічна модернізація металургійного виробництва як основа низьковуглецевого розвитку галузі 213

4.2. Стейкхолдерно-координована модель управління сталим розвитком металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації 231

4.3. Прозорість, MRV та ESG-звітність у системі управління низьковуглецевою трансформацією металургійної галузі 250

Висновки до розділу 4 271

РОЗДІЛ 5. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ 273

5.1. Інституційне та соціально-регіональне забезпечення справедливого переходу металургійної галузі 273

5.2. Фінансово-інвестиційне забезпечення низьковуглецевої трансформації металургійної галузі 300

5.3. Організаційно-економічний механізм партнерської реалізації низьковуглецевої трансформації металургійної галузі 317

Висновки до розділу 5 333

ВИСНОВКИ 335

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 344

ДОДАТКИ 388

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах низьковуглецевої трансформації національної економіки металургійна галузь України опинилася в зоні одночасного впливу технологічних, енергетичних, інвестиційних, експортних, екологічних та соціальних викликів. Металургія традиційно належить до системоутворюючих сфер промисловості, оскільки забезпечує виробництво базового конструкційного матеріалу, формує значну частину промислового експорту, підтримує зайнятість у промислових регіонах та пов’язана з розвитком енергетики, транспорту, будівництва, машинобудування і оборонно-промислового комплексу. Водночас висока вуглецеємність виробництва, залежність від енерго- та ресурсомістких технологічних маршрутів, посилення кліматичного регулювання Європейського Союзу, запровадження CBAM, зростання вимог до MRV, ESG-звітності та верифікації викидів зумовлюють необхідність наукового обґрунтування нової моделі управління сталим розвитком металургійної галузі.

Особливої актуальності проблема набуває для України в умовах воєнних руйнувань, втрати частини виробничих потужностей, дефіциту інвестиційних ресурсів, енергетичних ризиків та потреби у післявоєнному відновленні промислового потенціалу. За таких умов сталий розвиток металургійної галузі не може розглядатися лише як екологічна модернізація або корпоративна відповідальність окремих підприємств. Йдеться про формування цілісної системи управління, яка поєднує технологічну модернізацію, регулювання вуглецеємності, галузевий бенчмаркінг питомих викидів, сценарне моделювання, адаптацію до CBAM, стейкхолдерну координацію, MRV/ESG-прозорість, фінансово-інвестиційне забезпечення та справедливий перехід у системі національної економіки.

Суттєвий внесок у розвиток теоретичних та практичних засад сталого розвитку, низьковуглецевої трансформації, промислової політики, екологічної

економіки та управління структурними змінами мають дослідження таких вітчизняних і зарубіжних науковців: Г. Дейлі, Н. Джорджеску-Реген, П. Друкер, К. Ерроу, М. Портер, Дж. Рокстрем, Дж. Сакс, Н. Стерн, Р. Солоу, Й. Шумпетер, А. Акерлоф, Е. Остром, М. Тодаро, П. Самуельсон, Д. Норт, О. Амоша, В. Геєць, Б. Данилишин, С. Дорогунцов, М. Згуровський, Л. Мельник, С. Пирожков, В. Семиноженко, А. Чухно, В. Шевчук та інших.

Питання декарбонізації промисловості, розвитку металургійної галузі, енергетичного переходу, ресурсної ефективності, циркулярної економіки, кліматичного регулювання та зеленого фінансування досліджено у працях вітчизняних і зарубіжних учених, зокрема: Й. Аллен, Б. Аллан, К. Андерсон, Ф. Біанкі, М. Блауг, К. Бьорн, В. Власюк, О. Вовк, Д. Гросс, М. Грубб, А. Денніс, Т. Джексон, С. Дітц, К. Ейкінс, М. Елькін, Д. Кемп, Ф. Крюгер, М. Лакнер, М. Ліберман, В. Маргасова, Л. Норгаард, П. Ньюелл, К. Перес, Й. Рогель, Г. Сміт, П. Стіл, Г. Талеб, Й. Тінберген, Д. Хелм, К. Хепберн, Дж. Шмідт та інших.

Вагомий науковий внесок у вивчення інструментів державного регулювання, інституційного забезпечення, ESG-звітності, управління кліматичними ризиками, інноваційно-інвестиційного розвитку та справедливого переходу зробили К. Андрющенко, О. Білорус, З. Варналій, В. Вишневський, Т. Єфименко, Е. Лібанова, І. Лукінов, І. Лютий, О. Макарова, В. Мандибура, В. Новицький, І. Петрова, О. Сохацька, А. Філіпенко, В. Федосов, Л. Червінська, О. Черевко, А. Череп, а також фахівці Міжнародного енергетичного агентства, World Steel Association, OECD, World Bank, European Commission, Mission Possible Partnership та ResponsibleSteel.

Незважаючи на суттєвий науковий інтерес до проблем сталого розвитку, декарбонізації промисловості, кліматичного регулювання та модернізації металургії, недостатньо розробленими залишаються теоретико-методологічні й організаційно-економічні засади управління сталим розвитком саме металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації національної економіки. Потребують подальшого обґрунтування методичні підходи до оцінювання

вуглецеємності металургії, формування індикативних показників питомих викидів, побудови галузевої системи бенчмаркінгу, діагностики CBAM-вразливості, сценарного моделювання декарбонізації, фінансово-інвестиційного забезпечення модернізації та інституційного супроводу справедливого переходу. Саме наукова і практична значущість цих питань зумовила вибір теми дисертації, її мету, завдання, об’єкт, предмет і логіку дослідження.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано у межах наукових досліджень Міжрегіональної Академії управління персоналом за темами «Технології управління організаціями в умовах інформаційних трансформацій» (ДР 0122U201535) та «Проблеми соціально-економічного розвитку регіону в умовах сучасних викликів» (ДР 0123U102375). Особистий внесок автора полягає у розробленні галузевої методики регулювання вуглецеємності, сценарного технологічного портфеля, стейкхолдерно-координованої моделі, доказової інформаційної інфраструктури, фінансово-інвестиційного забезпечення та партнерського механізму реалізації низьковуглецевої трансформації металургії.

Мета дослідження. Метою дисертаційної роботи є обґрунтування теоретичних і методичних засад та розроблення організаційно-економічного забезпечення управління сталим розвитком металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації національної економіки.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

– дослідити еволюцію наукових підходів до сталого розвитку металургійної галузі та уточнити теоретичний зміст управління її низьковуглецевою трансформацією;

– розкрити особливості сталого розвитку металургійної галузі в умовах енергетичного переходу та визначити взаємозалежність технологічних, енергетичних, ресурсних, ринкових і соціальних змін;

– систематизувати інструменти регулювання вуглецеємності металургійної галузі з урахуванням євроінтеграційних кліматичних викликів і потреб промислового відновлення;

– обґрунтувати зміст і структуру економіко-технологічного потенціалу низьковуглецевого розвитку металургійної галузі та визначити умови його мобілізації;

– сформувати мотиваційний і обмежувальний індикативні показники питомих викидів парникових газів як основу галузевого порівняльного оцінювання та диференційованого регулювання;

– розробити методику галузевого зонально-сценарного регулювання вуглецеємності металургії, придатну для формування доказових управлінських рішень на рівні національного господарства;

– проаналізувати виробничо-технологічний стан металургійної галузі України та визначити інформаційну готовність вихідної бази для оцінювання низьковуглецевої трансформації;

– оцінити галузевий вуглецевий профіль металургії України та встановити характер її розриву щодо траєкторії досягнення нульових чистих викидів;

– здійснити діагностику вразливості металургійної галузі до механізму вуглецевого коригування імпорту та визначити склад управлінської реакції на технологічні, торговельні, інформаційні й фінансові ризики;

– обґрунтувати портфель технологічної модернізації металургійного виробництва та сформувати сценарну послідовність його низьковуглецевої трансформації;

– розробити стейкхолдерно-координовану модель управління сталим розвитком металургійної галузі з розподілом функцій, ресурсів, відповідальності та ризиків між учасниками;

– удосконалити інформаційно-аналітичне забезпечення управління шляхом узгодження моніторингу, звітності, верифікації, продуктового вуглецевого обліку та звітності зі сталого розвитку;

– обґрунтувати інституційне та соціально-регіональне забезпечення справедливого переходу металургійної галузі з урахуванням зайнятості, компетентностей і стійкості промислових територій;

– розробити фінансово-інвестиційне забезпечення низьковуглецевої трансформації металургійної галузі на основі портфельного поєднання приватних і публічних джерел капіталу;

– сформувати організаційно-економічний механізм партнерської реалізації низьковуглецевої трансформації металургійної галузі та визначити порядок формування, виконання і коригування партнерського портфеля.

Об’єкт дослідження. Об’єктом дослідження є економічні, технологічні, інституційні, фінансові та соціально-регіональні процеси сталого розвитку металургійної галузі, що формуються в умовах низьковуглецевої трансформації національної економіки.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є теоретичні, методичні та організаційно-економічні засади управління сталим розвитком металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації національної економіки.

Методи дослідження. Теоретичною і методичною основою роботи є системний, інституційний, структурний та відтворювальний підходи. Використано термінологічний і порівняльний аналіз для уточнення категорій та еволюції наукових підходів; статистичний, структурно-динамічний, коефіцієнтний і бенчмаркінговий аналіз для оцінювання виробництва, технологічної структури та вуглецевого профілю; декомпозицію, причинну діагностику і зонування для формування авторської методики; сценарний, портфельний і чутливісний аналіз для технологічних та фінансових розрахунків; стейкхолдерний, інституційний і процесний аналіз для розподілу функцій, відповідальності та ризиків; порівняння витрат і результатів для оцінювання фінансового та соціально-регіонального забезпечення.

Інформаційна база дослідження. Інформаційну базу становлять законодавчі та нормативні акти України, документи Європейського Союзу,

офіційна статистика, національні інвентаризаційні матеріали, дані галузевих об’єднань, матеріали міжнародних енергетичних, фінансових і промислових організацій, наукові праці українських та зарубіжних дослідників, а також авторські розрахунки з чітким розмежуванням фактичних, офіційних, оцінних і сценарних даних.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у новому вирішенні наукової проблеми формування теоретико-методологічних та організаційно-економічних засад управління сталим розвитком металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації національної економіки. Найбільш вагомі результати, що визначають наукову новизну дослідження, полягають у такому:

уперше:

– розроблено методику галузевого зонально-сценарного регулювання вуглецеємності металургії, яка в єдиній відтворюваній процедурі поєднує визначення меж оцінювання, розмежування фактичних, офіційних, розрахункових і сценарних даних, технологічну сегментацію випуску, зіставлення галузевої вуглецеємності з мотиваційним та обмежувальним індикативними показниками, розподіл виробництва за регуляторними зонами, причинну діагностику відхилень, оцінювання зовнішньоторговельної вразливості та сценарне переоцінювання структурної трансформації, яка на відміну від корпоративних рейтингів і одноеталонного порівняння формує доказовий профіль національної галузі, визначає адресний склад управлінських інструментів і забезпечує регулярне коригування рішень у разі зміни технологічної структури, якості даних або зовнішнього регуляторного середовища;

– обґрунтовано стейкхолдерно-координовану модель управління сталим розвитком металургійної галузі, у якій держава, металургійний бізнес, енергетичний сектор, фінансові установи, територіальні громади, працівники, науково-освітні організації, покупці металопродукції та міжнародні партнери включені до єдиного циклу формування, ресурсного забезпечення, реалізації, контролю й коригування галузевих рішень, сутність якої полягає у переході від

загального переліку заінтересованих сторін до розподілу конкретних функцій, ресурсів, зобов'язань, відповідальності та ризиків із прив'язкою до зміни технологічних маршрутів, питомих і абсолютних викидів, експортної стійкості, інвестиційного забезпечення, зайнятості та стану промислових територій;

– сформовано організаційно-економічний механізм партнерської реалізації низьковуглецевої трансформації металургійної галузі, який охоплює правила добору проєктів до партнерського портфеля, структуру багатосторонньої угоди, розподіл технологічних, фінансових, регуляторних, інфраструктурних, соціальних і воєнних ризиків, поєднання державної підтримки, грантів, кредитів міжнародних фінансових організацій, гарантій, власного капіталу й облігацій перехідного фінансування, а також повний проєктний цикл від ідентифікації ініціативи до верифікації результатів і коригування умов участі, який закріплює взаємні зобов'язання сторін, контрольні результати, умови надання та повернення підтримки, процедури врегулювання відхилень і зв'язок кожного проєкту з галузевою траєкторією;

– розроблено цілісну архітектоніку управління низьковуглецевою трансформацією металургійної галузі, яка забезпечує наскрізний перехід від теоретичного визначення сталого розвитку й оцінювання економіко-технологічного потенціалу до індикативного регулювання, фактичної діагностики, технологічних сценаріїв, стейкхолдерної координації, доказової інформаційної інфраструктури, справедливого переходу, фінансового структурування та партнерської реалізації, яка на відміну від фрагментарного розгляду кліматичної, промислової, енергетичної, регіональної та інвестиційної політики, така архітектоніка утворює замкнений цикл управління на рівні національного господарства, у якому результати моніторингу і верифікації стають підставою для перегляду портфеля, інструментів підтримки та відповідальності учасників.

удосконалено:

– концепцію національної галузевої системи порівняльного оцінювання питомих викидів парникових газів шляхом формування мотиваційного та обмежувального індикативних показників, які утворюють регуляторний коридор і виконують різні управлінські функції, мотиваційна межа якої визначає орієнтир пріоритетного доступу до підтримки для рішень, що забезпечують випереджальне скорочення вуглецеємності, тоді як обмежувальна межа виявляє виробництва, для яких необхідні план модернізації, підвищення якості даних і посилення регуляторної уваги;

– методичний підхід до оцінювання економіко-технологічного потенціалу низьковуглецевого розвитку металургійної галузі через розмежування виробничої спроможності та здатності до структурної трансформації, а також наявного, мобілізованого й реалізованого потенціалу, який поєднує стан виробничих активів, технологічну структуру, енергетичну й сировинну забезпеченість, доступність інфраструктури, інвестиційну готовність, кадрові компетентності та доказовість даних та дозволяє відрізнити формальну наявність ресурсів від їх реальної включеності до техніко-економічно підготовлених проєктів і визначати бар'єри, усунення яких перетворює потенціал на фактичний низьковуглецевий результат;

– сценарно-портфельний підхід до технологічної модернізації металургійного виробництва, який передбачає узгодження швидких операційних заходів, впровадження найкращих доступних технологій та методів управління, розвитку електросталеплавильного виробництва, виробництва на основі прямого відновлення заліза, воднево готових рішень, низьковуглецевої енергетики, брухтової й мережевої інфраструктури та цифрового обліку, який на відміну від вибору ізольованого агрегату або єдиного технологічного маршруту, підхід оцінює сумісність проєктів із майбутньою структурою галузі, ризик довгострокового закріплення вуглецеємних активів, ресурсні обмеження і

соціально-регіональні наслідки, що забезпечує поетапне відновлення без відтворення застарілої технологічної моделі;

– інформаційно-аналітичне забезпечення управління низьковуглецевою трансформацією шляхом формування інтегрованої доказової інфраструктури за принципом одноразового збирання та багаторазового контрольованого використання даних, у межах якого розмежовано національний інвентаризаційний, установчий, продуктовий і корпоративний контури обліку, визначено єдині правила походження, якості, доступу, верифікації та повторного використання інформації, а також запропоновано цифровий кліматично-ресурсний паспорт металопродукції, що усуває методичне змішування показників із різними межами, зменшує інформаційну асиметрію та створює доказову основу для регуляторних рішень, фінансових умов, зовнішньоторговельного декларування і суспільного контролю;

– фінансово-інвестиційне забезпечення низьковуглецевої трансформації металургійної галузі шляхом переходу від фінансування ізольованих виробничих об’єктів до портфельного поєднання власного капіталу, комерційного боргу, пільгових кредитів, грантів, гарантій, облігацій перехідного фінансування, контрактів попиту та державних стимулів, відмінність якого полягає у визначенні фінансової додатковості підтримки, оцінюванні ефективної середньозваженої вартості фінансування, встановленні кліматичних, інформаційних і соціально-регіональних умов та поетапній заміні публічного зниження ризику приватним капіталом у міру підвищення проєктної готовності та дозволяє узгодити структуру капіталу з технологічною траєкторією галузі й запобігти фінансуванню проєктів, що не забезпечують доказового структурного результату.

набули подальшого розвитку:

– понятійно-категоріальний апарат дослідження у частині уточнення змісту понять «сталий розвиток металургійної галузі», «економіко-технологічний потенціал низьковуглецевого розвитку», «галузева вуглецеємність», «вразливість до механізму вуглецевого коригування імпорту» та «справедливий перехід

металургійної галузі», які поєднують виробничий, технологічний, ресурсний, кліматичний, інвестиційний, торговельний і соціально-регіональний виміри та розмежовують галузевий рівень управління з рівнем окремої установки або підприємства, що забезпечує відповідність предметному полю економіки та управління національним господарством;

– теоретико-методичні положення щодо сталого розвитку металургійної галузі в умовах енергетичного переходу, який визначено не як просту заміну енергоносія або підвищення енергоефективності, а як взаємопов'язану зміну технологічних маршрутів, джерел енергії, сировинної бази, мережевої інфраструктури, моделей фінансування, компетентностей і ринкового попиту, економічний зміст такої трансформації через вплив енергетично-технологічної сумісності на собівартість, доступ до капіталу, зовнішні ринки, завантаження активів і стійкість промислових територій, що дозволяє уникати хибного ототожнення скорочення випуску з технологічною декарбонізацією;

– систематизація інструментів регулювання вуглецеємності металургійної галузі, які згруповано за нормативно-інституційним, економічним, фінансово-інвестиційним, інформаційним, інфраструктурним, ринковим і соціальним напрямами та пов'язано з типом бар'єру і рівнем готовності переходу, яка на відміну від перелікового підходу, обґрунтовано необхідність формування комплементарних пакетів: інформаційний дефіцит усувається розвитком моніторингу та верифікації, інфраструктурний — спільними мережевими рішеннями, технологічний — демонстраційною підтримкою, ринковий — закупівлями й довгостроковими контрактами, соціальний — територіальними угодами та програмами розвитку компетентностей;

– методичні положення щодо формування фактичного виробничо-вуглецевого профілю металургійної галузі та оцінювання розриву відносно траєкторії досягнення нульових чистих викидів, сутність яких полягає у розмежованості офіційних інвентаризаційного, гармонізованого технологічного і продуктового контурів, доведенні необхідності одночасного аналізу абсолютних і

питомих викидів та запровадженні правил використання оцінних значень за неповноти відкритої статистики, що дозволяє відокремити скорочення викидів унаслідок втрати виробництва від декарбонізації, виявити внесок технологічної структури й якості даних та сформувати коректну основу для сценарного моделювання;

– методичний підхід до діагностики вразливості металургійної галузі до механізму вуглецевого коригування імпорту, у межах якого зовнішньоторговельний ризик визначається взаємодією технологічного маршруту, вбудованих викидів, якості й верифікованості продуктових даних, цінового сигналу, контрактних умов, доступності фінансування та соціально-регіональної залежності, який на відміну від зведення вразливості до умовної вартості сертифікатів розкриває її вплив на обсяг і прибутковість експорту, довіру покупців, вартість капіталу, участь у ланцюгах постачання та стійкість промислових територій, що дає змогу формувати не лише фіскальну, а комплексну технологічну, інформаційну, інвестиційну й соціальну реакцію.

Практичне значення одержаних результатів. Розробки дисертаційного дослідження щодо формування системи управління сталим розвитком металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації національної економіки прийнято до впровадження ГО «Асоціація науковців України»; зокрема, рекомендовано до використання теоретико-методологічні положення щодо регулювання вуглецеємності металургійної галузі (довідка № 83/8-09 від 22 вересня 2025 р.).

Науково-методичні положення щодо організаційно-економічного механізму регулювання вуглецеємності металургійної галузі, діагностики CBAM-вразливості, формування галузевого бенчмаркінгу питомих викидів, застосування MRV, НДТМ, ESG-звітності та інструментів зеленого фінансування прийнято до використання Українським національним комітетом Міжнародної торгової палати (ICC Ukraine) при підготовці пропозицій щодо підвищення кліматичної стійкості,

інвестиційної привабливості та експортної конкурентоспроможності промислових підприємств України (довідка № 376-11/89 від 11.02.2026 р.).

Результати дослідження щодо партнерської моделі взаємодії держави, бізнесу, громад і міжнародних інституцій використано Департаментом економіки та інвестицій Київської міської військової адміністрації при розробці підходів до міських програм економічного відновлення, інвестиційної підтримки, промислової модернізації та кліматичної стійкості в умовах воєнного стану і післявоєнної відбудови (довідка № 261/03-24 від 11 березня 2026 р.).

Пропозиції щодо удосконалення інституційного забезпечення справедливого переходу металургійної галузі, розвитку національної системи бенчмаркінгу питомих викидів, адаптації промислової політики до вимог CBAM, впровадження MRV/ESG-звітності, застосування фінансово-інвестиційних стимулів та формування партнерської платформи кліматичної стійкості будуть використані Міністерством економіки України у процесі підготовки стратегічних документів, механізмів державної підтримки промисловості, адаптації національного законодавства до європейських кліматичних стандартів і забезпечення низьковуглецевого розвитку національної економіки (довідка № 4693-88/76320-09 від 09.04.2025 р.).

Наукові положення та прикладні напрацювання щодо формування регіональних механізмів справедливого переходу, підтримки зайнятості у промислових громадах, розвитку MRV/ESG-прозорості та залучення інвестицій у технологічну модернізацію схвалено до використання Харківською обласною радою при підготовці регіональних програм економічного розвитку, промислового відновлення та підвищення інвестиційної привабливості промислових територій (довідка № 04-67/151 від 13 листопада 2025 р.).

Результати дослідження використано у навчальному процесі ПрАТ «ВНЗ «МАУП» під час розроблення та оновлення науково-методичного забезпечення, а також викладання освітніх компонентів магістерського рівня: «Діагностика та моделювання економічних процесів», «Управління конкурентоспроможністю

підприємницьких бізнес-структур», «Економіка та управління корпораціями» (довідка № 3222 від 11 вересня 2026 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійно виконаною науковою працею. Теоретичні положення, методика, індикативні показники, сценарні розрахунки, моделі, механізми, висновки і практичні рекомендації одержані автором особисто. Внесок у працях, підготовлених у співавторстві, зазначено у списку опублікованих праць.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та висновки дисертаційної роботи апробовано у доповідях на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях:

- міжнародних: «Стратегічні пріоритети розвитку підприємництва, торгівлі та біржової діяльності» (м. Запоріжжя, 2022 р.); «Інноваційні методи управління економікою в умовах цифровізації бізнесу» (м. Київ, 2024 р.); «Теоретико-практичні засади управління, економіки та природокористування: аспекти реінтеграції Криму в господарський комплекс України» (м. Київ, 2024 р.); «GCI 2024: Global Challenges and Innovations: Interdisciplinary Approaches to Modern Scientific Issues» (De La Salle Araneta University, Philippines, 2024 р.); «Актуальні проблеми та перспективи соціально-економічного розвитку регіону в умовах сучасних глобальних викликів» (м. Кременчук, 2025 р.); «Публічне управління у сфері цивільного захисту: освіта, наука, практика» (м. Черкаси, 2025 р.); «Синергія освіти, науки та бізнесу в епоху глобальних трансформацій» (м. Чернігів, 2025 р.); «Інноваційне підприємництво: стан та перспективи розвитку» (м. Київ, 2025 р.); «Global Scientific Horizons 2026: International Conference on Research, Innovation and Interdisciplinary Development» (м. Прага, 2026 р.);

- всеукраїнських: «Сучасні тенденції та суперечності розвитку світової економіки та бізнесу» (м. Київ, 2022 р.); «Сучасні виклики та сталий розвиток економіки і бізнесу» (м. Запоріжжя, 2024 р.); «Національна безпека в умовах війни, післявоєнної відбудови та глобальних викликів XXI століття» (м. Житомир,

2024 р.); «Гуманітарний дискурс суспільних проблем: минуле, сучасне, майбутнє» (м. Черкаси, 2025 р.).

Публікації. Основні положення і висновки опубліковано у 35 наукових працях загальним обсягом 21,1 друк. арк. (19,2 друк. арк. належить особисто автору), серед яких: 17 статтей у виданнях, які включено до переліку наукових фахових видань України; стаття у науковому періодичному виданні іншої держави із напряму, з якого підготовлено дисертацію; 3 статті у виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus; розділ у колективній монографії; 13 тез наукових доповідей.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел (387 найменувань), додатків. Загальний обсяг дисертації - 442 сторінок. Дисертація містить 92 таблиці і 62 рисунки.

РОЗДІЛ 1
ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ УПРАВЛІННЯ СТАЛИМ РОЗВИТКОМ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ В УМОВАХ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

1.1. Еволюція наукових підходів до сталого розвитку металургійної галузі

Сталий розвиток металургійної галузі є комплексною проблемою економіки та управління національним господарством, зміст якої змінювався разом із переосмисленням меж економічного зростання, ролі природного капіталу, технологічного прогресу й відповідальності промисловості за довгострокові наслідки виробництва. У ранніх концепціях розвиток промисловості оцінювався переважно за масштабом випуску, продуктивністю, використанням основних фондів і здатністю забезпечувати розширене відтворення. Екологічні наслідки трактувалися як зовнішній ефект, що мав компенсуватися очищенням викидів, рекультивацією або адміністративним контролем. У сучасній науковій парадигмі сталість металургії визначається здатністю галузі одночасно підтримувати економічну результативність, знижувати ресурсну та вуглецеву інтенсивність, оновлювати технологічну базу, зберігати соціальну стійкість промислових територій і відповідати новим правилам міжнародної торгівлі [307; 363; 371].

Еволюційний аналіз наукових підходів потрібний не лише для історіографічного впорядкування наукових поглядів, а передусім для встановлення внутрішньої логіки сучасного управління галуззю. Кожна наступна концепція не повністю заперечувала попередню, а розширювала предмет дослідження, склад результатів і коло суб’єктів відповідальності. Контроль забруднення доповнився ресурсозбереженням; ресурсозбереження — оцінюванням економічної, соціальної та екологічної збалансованості;

збалансованість — інноваційною модернізацією; модернізація — промисловою екологією і циркулярністю; циркулярність — управлінням соціотехнічними переходами; сучасний етап поєднав ці напрями з кліматичною нейтральністю, вуглецевим обліком, зеленим попитом і низьковуглецевою конкурентоспроможністю. Для металургії така кумулятивна послідовність особливо важлива через тривалий життєвий цикл агрегатів, високу капіталомісткість та технологічно зумовлені викиди [307; 312].

Металургійна галузь є системоутворювальною ланкою промислового відтворення, оскільки формує матеріальну основу машинобудування, будівництва, транспортної, енергетичної та оборонної інфраструктури. Водночас виробництво чавуну і сталі належить до найбільш енерго- та вуглецеємних промислових процесів. Ця подвійність зумовила перехід від логіки «виробництво або довкілля» до логіки керованого поєднання промислової спроможності та кліматичної сумісності. На рівні спеціальності 08.00.03 наукова проблема полягає не в механічному скороченні випуску окремих підприємств, а у трансформації структури, пропорцій та інституційних умов функціонування галузі, за яких зниження питомих викидів, ресурсоефективність і доказовість вуглецевих даних стають умовами доступу до капіталу та ринків [312; 361; 378].

Для впорядкування еволюції наукових підходів доцільно розмежувати чотири взаємопов’язані площини. Перша охоплює зміну предмета аналізу — від локального забруднення до цілісної соціотехнічної та галузевої системи. Друга відображає трансформацію критерію результативності — від мінімізації шкоди до формування низьковуглецевої конкурентної переваги. Третя стосується рівня управління — від окремого агрегату й підприємства до галузевої, національної та наднаціональної координації. Четверта характеризує інструментарій — від очисних споруд і нормування викидів до промислової політики, інноваційного фінансування, галузевого бенчмаркінгу, цифрової простежуваності та зелених закупівель. Хронологічну взаємодію зазначених площин узагальнено на рис. 1.1.

Початковий природоохоронний підхід сформувався як реакція на індустріалізацію, що супроводжувалася концентрацією виробництва, зростанням споживання викопного палива і накопиченням локальних екологічних збитків.

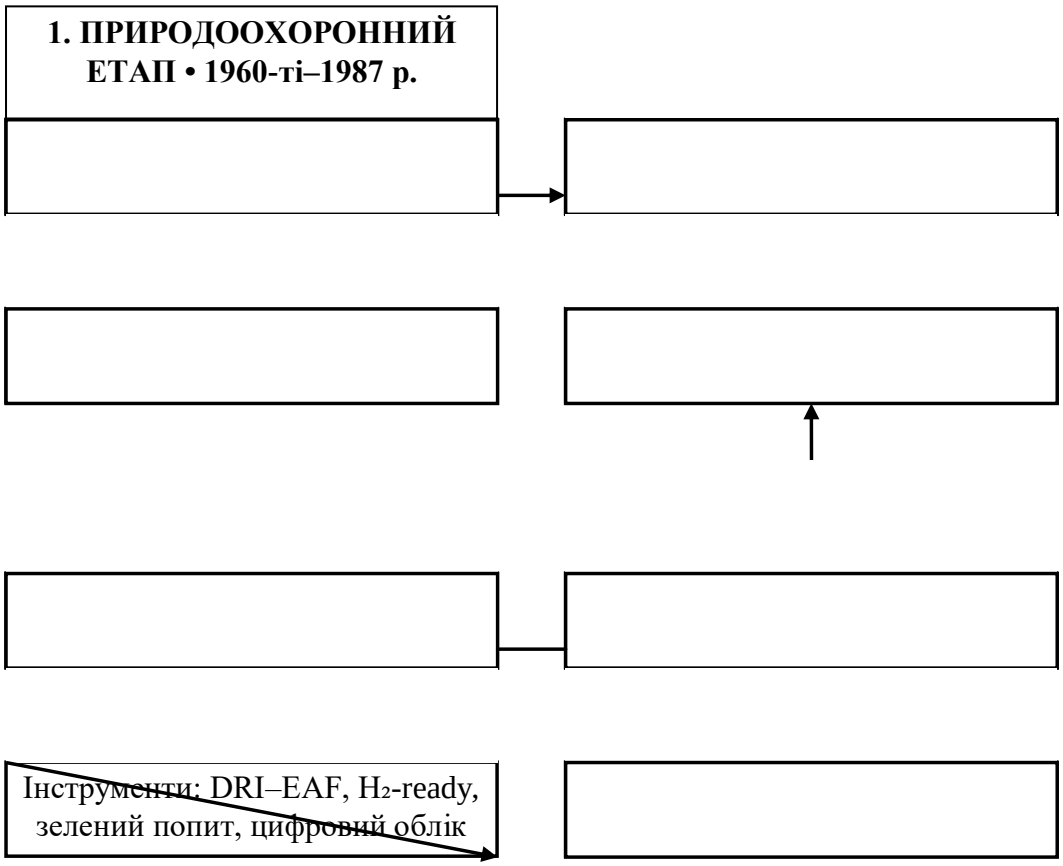


Рис. 1.1. Хронологічна карта еволюції наукових підходів до сталого розвитку металургійної галузі

Джерело: систематизовано та розроблено автором за [158; 182; 280; 297; 307; 312; 328; 330–331; 345; 349; 361–363; 371; 378].

У центрі уваги перебували гранично допустимі викиди, санітарні норми, очищення газів і стічних вод, розміщення відходів та відновлення порушених земель. Такий підхід мав важливе значення, оскільки визнав необхідність обмеження негативного впливу промисловості. Водночас він був переважно реактивним: екологічна проблема усувалася після формування забруднення, а

виробнича технологія залишалася незмінною. Для металургії це означало розвиток пилогазоочисного обладнання без перегляду домінуючого способу виплавки металу.

Ресурсно-екологічний напрям поглибив попередню логіку, поставивши питання не лише про забруднення, а й про межі використання невідновлюваних ресурсів. У ньому природний капітал почав розглядатися як фактор довгострокового відтворення, а матеріало- та енергоємність – як характеристики якості економічного зростання. Для металургії це сприяло поширенню заходів із використання вторинних енергетичних ресурсів, утилізації тепла, зменшення втрат металу, повернення побічних продуктів у виробництво та підвищення частки брухту. Проте ресурсна ефективність ще не поєднувалася з комплексною оцінкою соціальних та інституційних наслідків технологічної перебудови.

Нормативна концепція сталого розвитку, закріплена у доповіді Всесвітньої комісії з навколишнього середовища і розвитку, змінила часовий горизонт економічного аналізу. Центральним стало узгодження потреб сучасного покоління з можливостями майбутніх поколінь. Для промислової політики це означало, що рішення щодо виробничих потужностей, ресурсної бази та технологічних інвестицій мають оцінюватися не лише за поточною рентабельністю, а й за довгостроковими наслідками для суспільства та довкілля [371]. У металургії цей принцип актуалізував проблему технологічної інерції: капіталовкладення у високовуглецеві агрегати формують екологічні й економічні обмеження на десятиліття.

Триєдина модель економічної, соціальної та екологічної результативності розширила уявлення про цілі промислового розвитку. Економічна складова охоплює продуктивність, додану вартість, інвестиційну віддачу та конкурентоспроможність; соціальна – зайнятість, безпеку праці, якість людського капіталу й стійкість промислових територій; екологічна – викиди, ресурсоспоживання, відходи та вплив на екосистеми. Для металургії перевагою цього підходу стало визнання того, що екологічна модернізація не може

здійснюватися шляхом перенесення витрат на працівників або громади. Його обмеженням було недостатнє розкриття технологічного механізму переходу між різними виробничими режимами.

У межах Порядку денного ООН до 2030 року сталий промисловий розвиток набув системи взаємопов'язаних цілей. Для металургійної галузі найбільш безпосереднє значення мають цілі, пов'язані з індустріалізацією та інноваціями, відповідальним споживанням і виробництвом, гідною працею, доступною чистою енергією та кліматичними діями [363]. Важливо, що ці орієнтири не ізолюють декарбонізацію від економічного розвитку. Навпаки, вони формують вимогу до промислової політики забезпечити модернізацію, зайнятість і технологічне ускладнення одночасно зі скороченням навантаження на довкілля.

Становлення концепції сталого розвитку змінило також характер відповідальності. Якщо природоохоронний підхід переважно покладав обов'язки на підприємство як джерело забруднення, то нова парадигма розподілила їх між державою, металургійним бізнесом, енергетичним сектором, споживачами, фінансовими установами, науковою сферою, працівниками та територіальними громадами. Для металургії це має принципове значення, адже перехід до електросталеплавильних або воднево-сумісних маршрутів залежить від електроенергетичної системи, інфраструктури, якості сировини, доступу до брухту, стандартів продукції та довгострокового попиту. Отже, сталість галузі є результатом координації взаємозалежних рішень, а не суми автономних корпоративних заходів. На цьому етапі зазначена взаємодія розглядається як теоретична передумова; завершена модель розподілу функцій і відповідальності має формуватися лише після фактичного оцінювання та сценарного обґрунтування.

Наведена еволюція показує, що сталість поступово перестала бути зовнішнім обмеженням виробництва. Вона перетворилася на характеристику способу формування економічної цінності.

Таблиця 1.1

Еволюція наукових підходів до сталого розвитку промисловості та їх галузева інтерпретація для металургії

Етап і провідний підхід	Центральна наукова проблема	Об’єкт управління	Критерій результативності	Значення для металургійної галузі
1960-ті–1980-ті рр. Природоохоронне регулювання	Обмеження локального забруднення і дотримання екологічних нормативів	Джерела викидів, скидів і відходів	Зменшення шкідливого впливу та відповідність нормам	Очисні споруди, пилогазоочищення, локальна утилізація відходів
1987–2000-ні рр. Сталий розвиток і триєдина збалансованість	Узгодження економічних, соціальних та екологічних інтересів у довгостроковому періоді	Підприємство, галузь, територія, національна економіка	Довгострокова економічна життєздатність, соціальна прийнятність, екологічна безпека	Визнання взаємозалежності виробництва, зайнятості, ресурсів і екологічних наслідків
1990-ті–2010-ті рр. Екоефективність та інноваційна модернізація	Перетворення екологічних обмежень на стимули технологічних інновацій	Продукт, процес, технологічний ланцюг	Більша цінність за меншого ресурсного й екологічного навантаження	Енергоефективність, технологічне оновлення, скорочення питомих витрат і викидів
2000-ні–2020-ті рр. Промислова екологія та циркулярна економіка	Замикання матеріальних потоків і зменшення первинного ресурсоспоживання	Міжгалузеві матеріальні та енергетичні потоки	Повторне використання, перероблення, промисловий симбіоз, довговічність продукції	Стратегічна роль металобрухту, використання шлаків і вторинних газів, циркулярний дизайн сталі
2010-ті рр. – дотепер Управління переходами	Керування зміною взаємопов’язаних технологій, інститутів, ринків і поведінки	Соціотехнічна система та її багаторівнева динаміка	Спроможність перейти до нового стійкого режиму без втрати системної функціональності	Поетапне поєднання НДТМ, електрифікації, нової енергетики, фінансування й соціальної адаптації
2020-ті рр. – дотепер Низьковуглецева конкурентоспроможність	Досягнення кліматичної сумісності за збереження промислової та експортної спроможності	Галузеві ланцюги вартості, вуглецеві дані, ринки низьковуглецевої продукції	Скорочення вуглецеємності, доказовість даних, доступ до ринків і капіталу	Net Zero, CBAM, MRV, зелені закупівлі, DRI–EAF, H_2-ready-рішення, низьковуглецеві стандарти

Джерело: систематизовано автором за [158; 182; 280; 297; 307; 312; 328; 330–331; 345; 349; 361–363; 371; 378].

Саме цей перехід став основою екоефективного підходу, відповідно до якого скорочення споживання ресурсів і забруднення може підтримувати економічну результативність, якщо воно пов’язане з технологічними та організаційними інноваціями. Для металургії екоефективність означає не лише зменшення витрат палива або електроенергії, а оптимізацію всього виробничого маршруту: підготовки сировини, плавки, розливання, прокатування, використання побічних продуктів і внутрішньозаводської логістики.

Інноваційна інтерпретація екологічного регулювання отримала розвиток у положенні про те, що правильно сформовані вимоги можуть стимулювати пошук технологічних рішень і частково компенсувати витрати через підвищення продуктивності, якості та ресурсної ефективності [349]. Для металургії ця теза не означає автоматичної безвитратності декарбонізації. Глибока змінатехнологічного маршруту потребує значних капіталовкладень і нової інфраструктури. Проте вона підкреслює, що регулювання має оцінюватися не лише як фіскальний тиск, а як елемент формування ринку інновацій, стандартів і довгострокового попиту на продукцію з нижчим вуглецевим слідом.

Промислова екологія змістила одиницю аналізу від окремого підприємства до системи матеріальних та енергетичних потоків. Її принциповою ознакою є наслідування природних систем, у яких відходи одного процесу стають ресурсом іншого [297]. У металургіїтака логіка реалізується через використання доменного і коксового газу, перероблення шлаків, повернення окалини та пилу, утилізацію тепла, спільне використання інфраструктури, а також взаємодію з цементною, хімічною та енергетичною промисловістю. Важливість підходу полягає у розширенні меж підприємства: результативність оцінюється не лише за внутрішніми витратами, а й за ефектом міжгалузевого обміну ресурсами.

Циркулярна економіка розвинула цю ідею, включивши до аналізу весь життєвий цикл продукції. Для сталі циркулярність має особливий потенціал, оскільки метал може багаторазово повертатися у виробництво за умови належного сортування, контролю домішок і розвитку інфраструктури брухту.

Водночас просте збільшення обсягів перероблення не гарантує сталості. Необхідні якість вторинної сировини, дизайн продукції з урахуванням розбирання, простежуваність потоків, узгодження внутрішнього та зовнішнього ринків брухту, а також запобігання перенесенню дефіциту між регіонами [182; 280; 345].

У науковій літературі циркулярність іноді помилково подається як повна заміна первинного виробництва. Для металургійної галузі така інтерпретація не враховує зростання накопиченого фонду металу, відмінності строків служби продукції та обмежену доступність брухту потрібної якості. Тому циркулярний підхід повинен поєднувати скорочення надлишкового попиту, продовження строку використання металомістких виробів, повторне застосування конструкцій, високоякісне перероблення та декарбонізацію первинного виробництва. Саме комбінування первинних і вторинних маршрутів формує реалістичну траєкторію сталого розвитку [158; 345].

Екоефективність, промислова екологія і циркулярна економіка змінили зміст технологічної модернізації. Якщо традиційна модернізація була спрямована переважно на збільшення потужності та зниження собівартості, то сучасна включає скорочення матеріального і вуглецевого сліду, підвищення гнучкості, цифрову простежуваність та сумісність із майбутніми стандартами. У металургії це означає, що оцінювання інвестиційного проєкту має враховувати не тільки продуктивність агрегату, а його вплив на енергетичний баланс, структуру сировини, питомі викиди, можливість верифікації та ризик технологічного блокування.

Зазначені підходи створили підґрунтя для розгляду металургійної галузі як складної багаторівневої системи. Її сталість формується внаслідок взаємодії глобальних кліматичних імперативів, національної промислової та енергетичної політики, галузевих стандартів, технологічних маршрутів, інвестиційних рішень, поведінки споживачів і соціальної спроможності регіонів до структурних змін. Системну архітектоніку цих взаємозв’язків представлено на рис. 1.2.

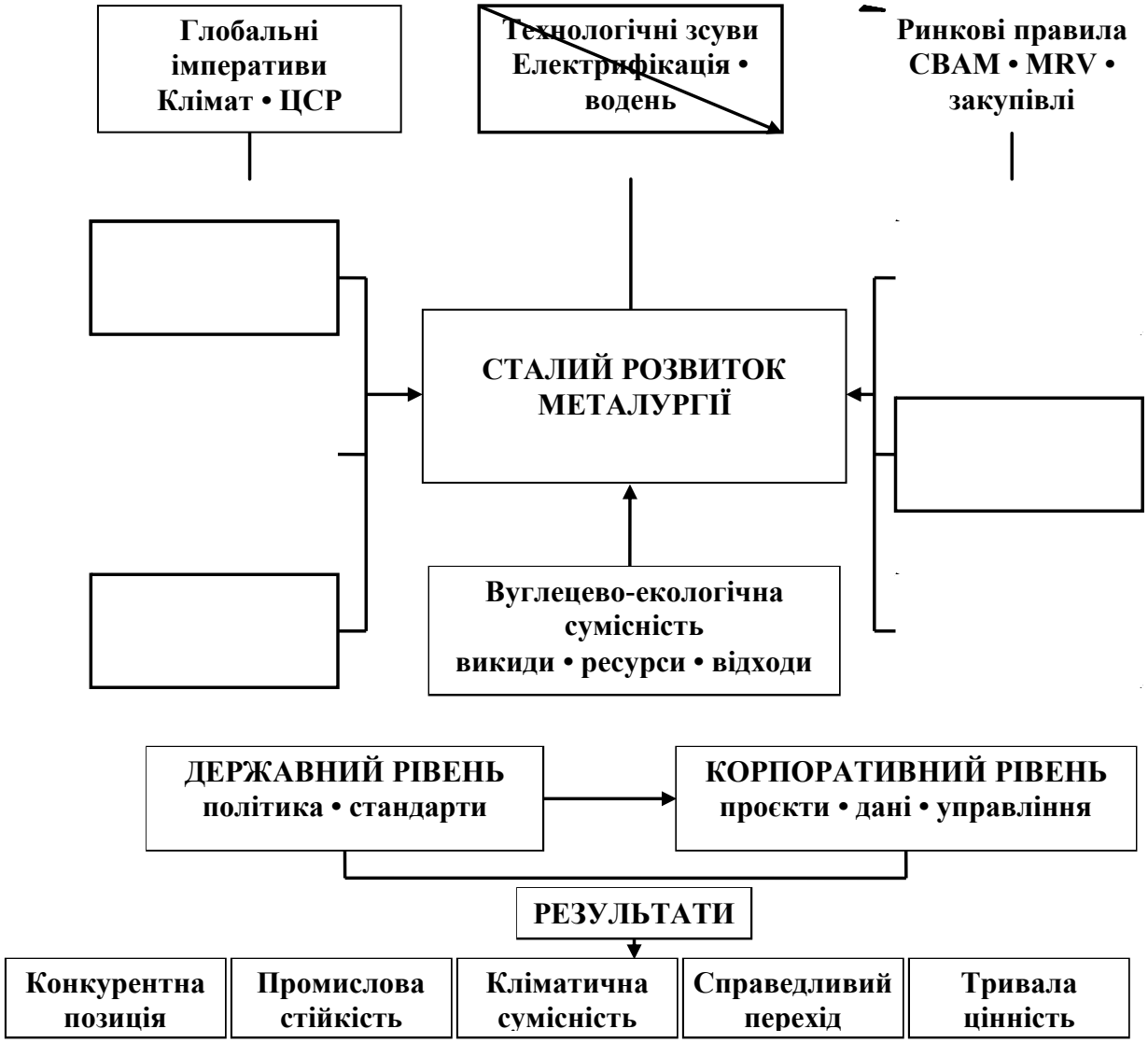


Рис. 1.2. Системна архітектоніка сталого розвитку металургійної галузі

Джерело: розроблено автором за [158; 182; 280; 307; 312; 328; 330–331; 345; 361–363; 378].

Наведена архітектоніка має концептуально-аналітичний характер: вона окреслює складові сталого розвитку та рівні їх взаємодії, але не підміняє організаційно-економічну модель управління. Її призначення полягає у визначенні взаємозалежностей, які надалі мають бути операціоналізовані через фактичні

показники, сценарні рішення, розподіл повноважень і механізми зворотного зв’язку.

Системне уявлення про галузь стало передумовою формування теорії управління переходами. На відміну від підходів, що передбачають лінійне впровадження окремої технології, перехідна парадигма розглядає розвиток як взаємодію інноваційних ніш, домінуючого режиму і зовнішнього середовища. Нові технології спочатку формуються у захищених або експериментальних сегментах, потім конкурують із усталеними практиками, а їх поширення залежить від політики, інфраструктури, ринкового попиту і соціального навчання [328; 330]. Для металургії це пояснює, чому наявність технічної можливості DRI–EAFабоводневого відновлення сама по собі не забезпечує масового переходу.

Домінуючий металургійний режим закріплений у великих інтегрованих підприємствах, сировинній логістиці, енергетичних мережах, професійних компетентностях, фінансових моделях і стандартах продукції. Заміна одного агрегату без зміни суміжних елементів не усуває системних обмежень. Електродугове виробництво потребує стабільної електроенергії й якісного брухту; DRI – сировини з відповідними характеристиками та доступу до газу або водню; цифровий MRV – узгоджених методик обліку, верифікації та передачі даних. Тому перехід має управлятися як портфель взаємопов’язаних змін.

Перехідне управління доповнило стратегічне планування механізмами експериментування, навчання і коригування траєкторії. Замість жорсткого прогнозу єдиного технологічного майбутнього формується довгостроковий орієнтир, проміжні цілі та набір альтернативних маршрутів. Для металургії це особливо актуально через невизначеність вартості електроенергії, водню, вуглецевих одиниць, розвитку CCUS, доступності брухту й темпів формування ринку низьковуглецевої сталі. Управлінська система повинна підтримувати різні варіанти модернізації, але оцінювати їх за єдиними критеріями скорочення викидів, економічної життєздатності та соціальної прийнятності.

Важливим розвитком теорії переходів стало її поширення на бізнес і галузеві екосистеми. Підприємство розглядається не як пасивний виконавець державних вимог, а як учасник формування нових ринків, стандартів, ланцюгів вартості та партнерських мереж [331]. Водночас у дослідженні рівня національного господарства об'єктом управління є не окрема компанія, а структура металургійної галузі та спільні умови її відтворення. Металургійні підприємства виступають учасниками галузевої системи, носіями інвестиційних проєктів і джерелами первинних даних, а їх взаємодія з виробниками енергії, постачальниками сировини, машинобудуванням, споживачами сталі, банками, державою та громадами визначає спроможність усієї галузі до переходу.

Разом із тим перехідна парадигма потребує конкретизації щодо масштабів і темпів промислової трансформації. Надмірно загальний опис «зеленого переходу» може приховувати різні економічні наслідки для підприємств і територій. У металургії необхідно розрізняти операційне вдосконалення чинного маршруту, глибоку реконструкцію, заміну технології, закриття активу та створення нового низьковуглецевого виробництва. Кожен варіант має різну потребу в капіталі, строк реалізації, ефект для зайнятості, інфраструктурні умови і здатність зменшити вуглецеємність.

Порівняння основних наукових підходів свідчить, що жоден із них окремо не охоплює всіх характеристик сталого розвитку металургії. Ресурсний підхід добре пояснює матеріало- та енергоємність, але недостатньо розкриває інституційні зміни. Триєдина модель враховує соціальний вимір, проте не визначає механізм технологічного переходу. Екоефективність акцентує інновації, але може недооцінювати абсолютні межі викидів. Циркулярність розкриває матеріальні потоки, однак не усуває потреби в декарбонізації первинного виробництва. Теорія переходів пояснює системну зміну, але потребує фактично розраховуваних галузевих параметрів. Тому теоретичною основою дисертації має бути синтез підходів, а не механічний вибір одного з них.

Таблиця 1.2

Порівняльна характеристика наукових підходів до сталого розвитку металургійної галузі

Науковий підхід	Домінуючий об’єкт аналізу	Сильна сторона для дослідження металургії	Методологічне обмеження	Функція в інтегрованій теоретичній основі
1	2	3	4	5
Ресурсно-екологічний	Природні ресурси, викиди, відходи	Виявляє матеріальну та енергетичну залежність виробництва	Слабко враховує ринкові, соціальні й інституційні взаємозв’язки	Визначає ресурсні та екологічні межі розвитку
Триєдина збалансованість	Економічні, соціальні й екологічні результати	Не допускає одновимірної оцінки результативності	Не розкриває технологічну послідовність переходу	Формує багатовимірну систему цілей
Екоефективність та інноваційна модернізація	Продукт, процес, витрати ресурсів на одиницю результату	Пов’язує екологічні вимоги з продуктивністю та інноваціями	Питомі поліпшення можуть супроводжуватися зростанням абсолютних викидів	Обґрунтовує модернізаційні стимули та технологічні критерії
Промислова екологія	Міжгалузеві матеріальні й енергетичні потоки	Розкриває промисловий симбіоз і повторне використання побічних продуктів	Вимагає координації за межами окремого підприємства	Формує системну карту ресурсних взаємозв’язків
Циркулярна економіка	Життєвий цикл продукції, брухт і вторинні ресурси	Посилює роль повторного використання і високоякісного перероблення сталі	Обмежується доступністю та якістю вторинної сировини	Визначає циркулярний контур металургійної системи
Управління переходами	Соціотехнічний режим, інноваційні ніші, інститути	Пояснює довгострокову зміну технологій, інфраструктури та поведінки	Потребує галузевої операціоналізації та вимірюваних індикаторів	Забезпечує поетапність, адаптивність і координацію трансформації

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5
Низьковуглецева конкурентоспроможність	Вуглецеві дані, ланцюги вартості, ринки і фінансування	Поєднує декарбонізацію з доступом до ринків, капіталу й попиту	Може посилювати нерівність між підприємствами без підтримки переходу	Формує сучасний критерій галузевої результативності
Справедливий перехід	Працівники, громади, розподіл витрат і вигід	Забезпечує соціальну легітимність структурної перебудови	Потребує довгострокового фінансування та інституційної координації	Включає соціальну стійкість до системи стратегічних рішень

Джерело: систематизовано автором за [11–12; 158; 182; 280; 297; 328; 330–331; 345; 349; 371].

Наступний етап еволюції пов’язаний із переходом від загальної сталості до кліматичної нейтральності. Наукова дискусія змістилася від питання про те, чи повинна промисловість скорочувати викиди, до визначення темпів, технологічних маршрутів і розподілу витрат такого скорочення. У промислових секторах глибока декарбонізація передбачає одночасне використання матеріальної ефективності, циркулярності, електрифікації, низьковуглецевої енергії, водню, зміни технологічних процесів і, за певних умов, уловлювання вуглецю [307]. Для металургії особливо важливо розмежовувати прямі процесні викиди, енергетичні викиди та викиди, пов’язаніз ланцюгом постачання.

Металургію відносять до секторів, складних для декарбонізації, не через відсутність технологічних ідей, а через поєднання фізичних, економічних та інституційних бар’єрів. Відновлення заліза традиційно ґрунтується на вуглецевмісних матеріалах; агрегати мають тривалий строк експлуатації; нові маршрути потребують значних обсягів чистої електроенергії, водню, брухту або руди підвищеної якості; продукція конкурує на глобальному ринку з невисокою маржею. Тому науковий підхід має враховувати не лише технічний потенціал скорочення викидів, а банківську прийнятність проєктів, інфраструктурну готовність і ризик втрати ринку в перехідному періоді [158; 312].

Дорожня карта Міжнародного енергетичного агентства систематизує напрями скорочення викидів сталі через підвищення матеріальної ефективності, розширення вторинного виробництва, впровадження інноваційних первинних маршрутів, водню та уловлювання вуглецю [312]. Її методологічне значення полягає у розмежуванні коротко-, середньо- і довгострокових заходів. Операційні поліпшення можуть зменшити витрати й викиди в межах чинних активів; глибока декарбонізація потребує зміни основного технологічного процесу. Для управління галуззю ці групи не повинні протиставлятися: швидкі заходи забезпечують ресурс для підготовки структурного переходу.

Сучасний низьковуглецевий підхід дедалі більше орієнтується на питому вуглецеємність продукції, а не лише на сумарні викиди підприємства. Це пов’язано з міжнародною торгівлею, державними закупівлями, корпоративними ланцюгами постачання та сталим фінансуванням. Одна тонна сталі може мати різний вуглецевий слід залежно від технологічного маршруту, енергетичного міксу, частки брухту, якості сировини й методики обліку. Відповідно, дані про викиди набувають властивостей економічного ресурсу: вони впливають на ціну, довіру контрагентів, доступ до підтримки та можливість позиціонувати продукцію як низьковуглецеву. Формальне позначення і порядок розрахунку галузевої вуглецеємності доцільно вводити вже у методичному розділі.

Галузеві системи індикаторів також еволюціонували від одиничних екологічних показників до широкої панелі результативності. Практика світової сталеливарної індустрії охоплює показники викидів, енергоємності, матеріальної ефективності, зайнятості, безпеки, навчання, економічної цінності та інновацій [378; 384]. Це підтверджує, що сучасне розуміння сталості має багатовимірний характер. Водночас для наукової оцінки необхідно уникати механічного накопичення індикаторів: система показників повинна відображати причинні зв’язки, бути статистично відтворюваною та придатною для управлінської інтерпретації.

Кліматична нейтральність змінила взаємозв’язок промислової та енергетичної політики. У традиційній моделі металургійне підприємство купувало енергію як виробничий ресурс. У низьковуглецевій моделі характеристики енергопостачання безпосередньо визначають вуглецевий слід продукції й технологічну можливість електрифікації. Внаслідок цього розвиток галузі залежить від синхронізації інвестицій у металургійні агрегати, генерацію, мережі, зберігання енергії, водневу інфраструктуру та цифровий облік походження електроенергії. Енергетична система стає частиною технологічного маршруту сталі.

Не менш важливою є зміна попиту. Ініціативи промислової декарбонізації виходять із того, що пропозиція низьковуглецевої сталі не буде масштабуватися без гарантованого ринку та зрозумілих стандартів. Зелені державні й корпоративні закупівлі, довгострокові контракти, маркування продукції та узгоджені методики вуглецевого обліку створюють попит, який знижує інвестиційний ризик [361]. У цій логіці споживач перестає бути кінцевою ланкою і стає учасником фінансування технологічного переходу через готовність укладати контракти на продукцію з нижчим вуглецевим слідом.

Перетворення декарбонізації на фактор конкурентоспроможності змінює управлінську парадигму галузі. Послідовність цього переходу охоплює шість стадій: компенсаційний контроль забруднення; запобігання втратам; екоефективність; циркулярна інтеграція; управління низьковуглецевим переходом; формування кліматично сумісної промислової екосистеми. Кожна стадія має власний критерій, інструментарій і домінуючий ризик. Їх взаємозв’язок узагальнено на рис. 1.3.

Інституціоналізація кліматичної нейтральності в Європейському Союзі надала теоретичним положенням безпосереднього економічного змісту. Європейський кліматичний закон закріпив рамку досягнення кліматичної нейтральності, у межах якої промислові рішення оцінюються з урахуванням довгострокової траєкторії скорочення викидів [351].

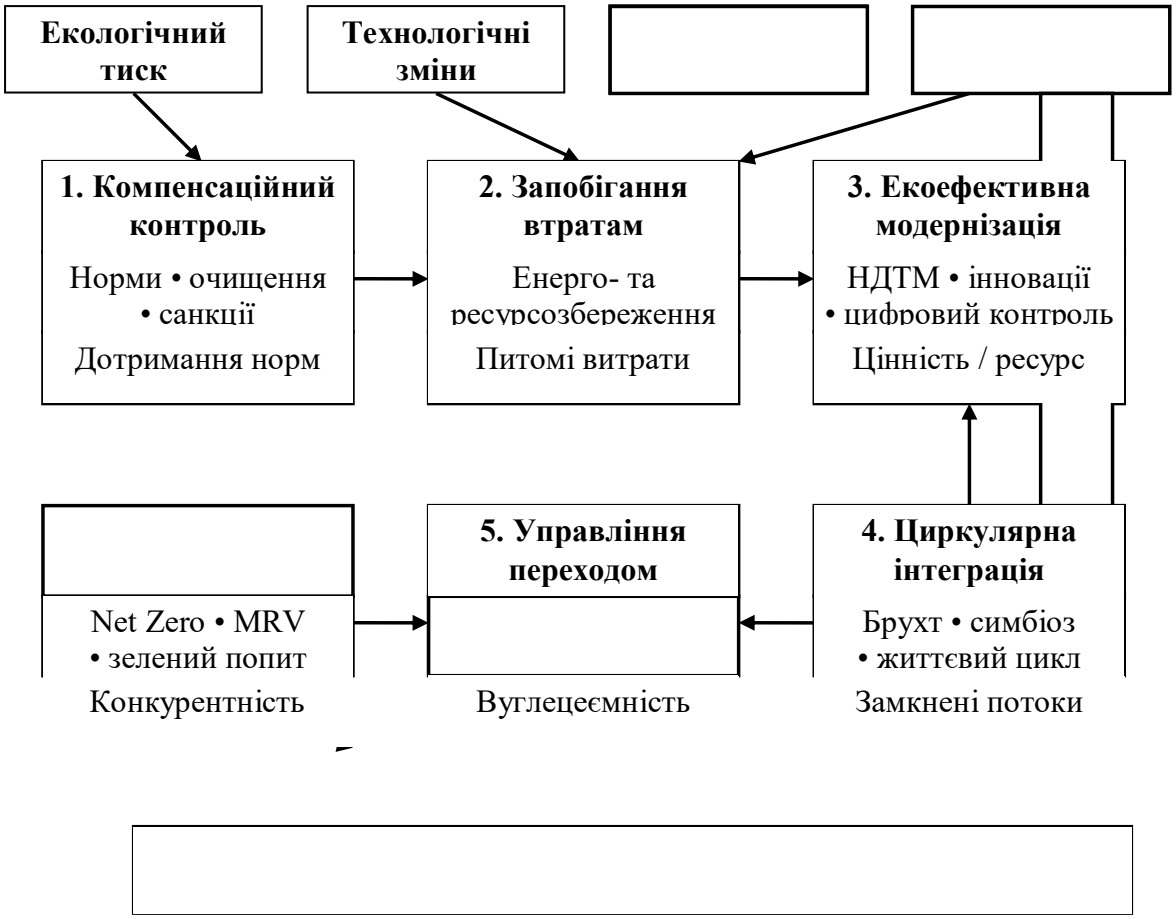


Рис. 1.3. Трансформація управлінської парадигми сталого розвитку металургійної галузі

Джерело: розроблено автором за [158; 182; 238; 246; 280; 297; 307; 312; 328; 330–331; 345; 349; 361–362; 378; 384].

Для металургії це означає,що інвестиції повинні бути сумісними не тільки з поточними нормами, а й із майбутнім посиленням кліматичних вимог. Виникає новий вид інвестиційного ризику – ризик передчасного знецінення активу через його високу вуглецеву інтенсивність.

Механізм вуглецевого коригування імпорту переніс вуглецевий фактор із внутрішнього екологічного регулювання у сферу зовнішньої торгівлі [352].

Методологічно це важливо з двох причин. По-перше, порівнюваність вуглецевих даних стає умовою економічного обміну. По-друге, високовуглецева технологічна структура перетворюється на вимірювану торговельну вразливість. Для експортоорієнтованої металургії скорочення викидів уже не може оцінюватися лише за природоохоронним ефектом; воно впливає на витрати доступу до ринку, контрактну позицію та інвестиційну привабливість.

Європейська промислова політика останніх років демонструє зближення кліматичних, енергетичних і конкурентних цілей. Clean Industrial Deal зосереджує увагу на енергоємних галузях, доступній чистій енергії, фінансуванні декарбонізації, циркулярності та формуванні попиту [246]. Окремий план дій для сталі й металів визнає стратегічну роль галузі та необхідність одночасно розв’язувати проблеми енергетичних витрат, глобальної конкуренції, інвестицій, торгівлі,сировини й захисту якісної зайнятості [238]. Отже, сучасна політика відходить від розподілу на «промислову» та «екологічну» і переходить до інтегрованої моделі зеленої індустріальної трансформації.

Зближення кліматичної та промислової політики формує нову роль держави. Вона полягає не в заміні ринкових рішень, а у створенні координованих умов, яких окреме підприємство не може забезпечити самостійно: інфраструктури чистої енергії, довгострокових правил, спільних стандартів, гарантій, механізмів розподілу ризиків, зелених закупівель і підтримки працівників. Водночас державна допомога має бути адресною, обмеженою в часі та пов’язаною з вимірюваними результатами, щоб не консервувати неефективні технології [158; 246].

Для металургійної галузі особливого значення набуває категорія стратегічної автономії. Сталь є базовим матеріалом для енергетичної інфраструктури, транспорту, оборони та будівництва, тому її виробництво не може оцінюватися лише за короткостроковою ціновою конкуренцією. Разом із тим стратегічність не виправдовує збереження технологічної відсталості. Навпаки, довгострокова промислова безпека залежить від здатності виробляти

продукцію, сумісну з майбутніми стандартами та ланцюгами вартості. Низьковуглецева модернізація стає елементом економічного суверенітету.

Розвиток концепції низьковуглецевої конкурентоспроможності змінив критерії порівняння національних галузей, технологічних маршрутів і видів металопродукції. Поряд із собівартістю, якістю та строками поставки оцінюються питома вуглецеємність, простежуваність, частка вторинної сировини, енергетичне походження, відповідність стандартам та наявність обґрунтованої траєкторії переходу. Це не скасовує традиційні економічні показники, а доповнює їх параметрами майбутньої ринкової життєздатності. Галузь може мати відносно низькі поточні витрати, але слабку довгострокову позицію, якщо її технологічна структура створює високі вуглецеві платежі, підвищує вартість капіталу або не відповідає закупівельним критеріям ключових споживачів.

Зміна критеріїв результативності підвищує вимоги до управлінської аналітики. Загальна сума екологічних витрат не показує, чи змінюється технологічна траєкторія. Скорочення питомих викидів може бути наслідком модернізації, зміни структури виробництва або тимчасового падіння завантаження. Зростання частки брухту може поліпшувати вуглецевий профіль, але водночас створювати ризики якості й дефіциту. Тому наукове оцінювання має поєднувати фактично доступні виробничі, технологічні, ресурсні, вуглецеві, фінансові, ринкові та соціальні параметри, розрізняти фактори, результати й зовнішні умови та не підміняти їх умовним інтегральним індексом без достатньої інформаційної бази.

На цьому етапі стає очевидним, що поняття сталого розвитку не тотожне стабільному функціонуванню. Галузь може підтримувати поточний випуск, але одночасно накопичувати технологічні, вуглецеві, інвестиційні та торговельні ризики. І навпаки, короткострокова структурна перебудова може супроводжуватися витратами й тимчасовим скороченням окремих потужностей, але формувати основу довгострокової стійкості. Тому предметом управління має бути не збереження будь-якого наявного режиму, а спроможність до керованої

трансформації: наявність технологічного портфеля, інфраструктури, компетентностей, верифікованих даних, фінансування та соціальних механізмів.

Еволюцію критеріїв сталого розвитку металургії відображено у табл. 1.3. Вона демонструє перехід від показників, орієнтованих на обсяг і локальне дотримання норм, до системи, яка вимірює якість технологічної траєкторії, вуглецеву доказовість, циркулярність, інвестиційну спроможність, експортну сумісність та справедливість структурних змін.

Таблиця 1.3

Трансформація критеріїв сталого розвитку металургійної галузі

Аналітичний вимір	Традиційний критерій	Перехідний критерій	Сучасний критерій низьковуглецевої сталості
1	2	3	4
Економічний результат	Обсяг випуску, виручка, прибуток	Продуктивність і ресурсна ефективність	Довгострокова додана вартість, конкурентоспроможність і стійкість до вуглецевих витрат
Технологічний розвиток	Потужність і продуктивність агрегатів	Енергоефективна модернізація	Сумісність технологічного маршруту з траєкторією глибокої декарбонізації
Ресурси	Обсяг спожитої сировини та енергії	Питомі витрати і використання побічних продуктів	Матеріальна циркулярність, якість брухту, простежуваність і міжгалузевий симбіоз
Екологічний результат	Відповідність нормативам викидів і скидів	Скорочення питомого навантаження	Абсолютні та питомі викиди парникових газів, відповідність бенчмаркам і кліматичній траєкторії
Ринок	Ціна, якість, строк поставки	Екологічна сертифікація та репутація	Вуглецевий слід продукції, CBAM-сумісність, зелений попит і контрактна премія

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4
Інвестиції	Строк окупності та рентабельність	Економія ресурсів і екологічних платежів	Повна вартість переходу, ризик заблокованих активів, доступ до сталого фінансування
Інформація	Статистична й екологічна звітність	Корпоративна нефінансова звітність	Верифікований MRV, цифровий паспорт продукції та порівнюваність даних
Соціальний вимір	Чисельність зайнятих і заробітна плата	Безпека праці та корпоративна відповідальність	Справедливий перехід, перекваліфікація, стійкість громад і розподіл вигід та витрат
Державне управління	Адміністративний контроль і галузева підтримка	Стимулювання екоефективності та інновацій	Інтегрована зелена промислова політика, координація інфраструктури, попиту, фінансування і стандартів

Джерело: розроблено автором за [158; 238; 246; 307; 312; 345; 349; 351–352; 361–362; 378; 384].

Для України еволюція наукових підходів має особливий зміст через поєднання низьковуглецевої трансформації з відновленням промислового потенціалу. Усталена модель української металургії формувалася на базі великих інтегрованих підприємств, доступу до залізорудної сировини, коксохімічного виробництва, залізничної та портової інфраструктури. Воєнні руйнування, енергетичні ризики, порушення логістики та втрата частини потужностей посилили потребу у відновленні. Проте механічне відтворення попередньої технологічної структури закріпило б довгострокову залежність від високої вуглецеємності, імпортних енергетичних ризиків і майбутніх торговельних витрат.

Післявоєнний інвестиційний цикл утворює водночас ризик і можливість. Ризик полягає у закріпленні застарілих маршрутів під аргументом швидкого відновлення. Можливість – у використанні відбудови для прискореного переходу до електрифікації, НДТМ, сучасного ресурсного обліку, циркулярної

інфраструктури і технологій, здатних у подальшому інтегрувати водень. Наукова логіка сталого розвитку вимагає порівнювати варіанти не лише за початковою вартістю, а за повними витратами життєвого циклу, ризиком майбутніх вуглецевих платежів, доступом до ринків і здатністю генерувати технологічні компетентності.

Євроінтеграційний напрям перетворює низьковуглецеву трансформацію на складову структурної адаптації національної економіки. Українська металопродукція взаємодіє з ринком, на якому посилюються вимоги до викидів, верифікації та походження ресурсів. Тому відповідність європейським правилам не слід розглядати як технічне виконання зовнішніх норм. Вона має бути включена до промислової стратегії, системи інвестиційних пріоритетів і державної підтримки. Власні дослідження автора щодо взаємозв'язку технологічної трансформації та природного капіталу, екологічної промислової політики і зовнішньоекономічної декарбонізації створюють наукову основу такого інтегрованого трактування [45; 55; 329; 334].

Український контекст також підсилює соціальний вимір. Металургійні підприємства формують зайнятість, доходи місцевих бюджетів, інфраструктуру і професійну спеціалізацію міст. Технологічна перебудова може змінювати потребу в професіях, структуру зайнятості та просторовий розподіл виробництва. Тому справедливий перехід повинен розглядатися не як компенсація після ухвалення технологічних рішень, а як критерій їх проєктування. Модернізаційна траєкторія має включати перенавчання, розвиток нових інженерних компетентностей, підтримку суміжного бізнесу й участь громад у визначенні пріоритетів.

Для національної економіки важливо уникнути протиставлення декарбонізації та промислової безпеки. Високовуглецева металургія втрачає стійкість через зовнішньоторговельні бар'єри, високу ціну енергії, погіршення доступу до капіталу та ризик технологічного відставання. Водночас швидке згортання виробництва без створення нової бази посилює імпортозалежність і втрату компетентностей. Стратегічним рішенням є керована модернізація галузі,

за якої темпи скорочення викидів узгоджуються з розвитком інфраструктури, доступністю фінансування, внутрішнім попитом, експортними можливостями та соціальними програмами.

Науково обґрунтоване управління має враховувати неоднорідність технологічних сегментів металургійної галузі. Різні виробничі маршрути мають відмінні стартові викиди, потребу в ресурсах, капітальні витрати й можливості швидкого вдосконалення. Єдиний формальний норматив без урахування цих відмінностей може створити або надмірне навантаження, або стимул до мінімального виконання вимог. Тому подальша методологія має спиратися на галузевий бенчмаркінг питомої вуглецеємності, зіставлення фактичних результатів із мотиваційними та обмежувальними орієнтирами, визначення структури випуску за регуляторними зонами та добір диференційованих управлінських інструментів.

Водночас теоретичний розділ не повинен підміняти методичний. Його функція полягає у визначенні взаємозв’язків і керованих параметрів, які мають бути конкретизовані далі. Еволюція наукових підходів обґрунтовує необхідність досліджувати виробничо-економічні, технологічно-інноваційні, ресурсно-енергетичні, вуглецево-екологічні, інвестиційно-фінансові, ринково-експортні та соціально-інституційні характеристики. У другому розділі ця логіка має послідовно перейти до оцінювання економіко-технологічного потенціалу, формування індикативних показників питомих викидів і розроблення галузевої зонально-сценарної методики, а в третьому — до її фактичної апробації.

Парадигмальний підхід до управління складними економічними об’єктами передбачає узгодження теоретичного, емпіричного і методологічного базисів [11–12]. Стосовно металургійної галузі теоретичний базис визначає зміст сталості та низьковуглецевої трансформації; емпіричний — формує систему достовірних виробничих, технологічних, ресурсних, вуглецевих, фінансових і соціальних даних; методологічний — забезпечує їх зіставлення, галузевий бенчмаркінг, сценарне переоцінювання, прогнозування та використання у стратегічних

рішеннях. Відсутність одного з цих базисів робить управління або декларативним, або статистично фрагментарним.

Узагальнення еволюції наукових підходів дає змогу сформувати теоретичну архітектоніку дослідження, яка поєднує передумови, базові теорії, специфічні властивості металургії, сучасні імперативи та очікувані результати управління. Її структуру наведено на рис. 1.4. На відміну від лінійної схеми, вона відображає зворотні зв'язки: ринкові й регуляторні результати впливають на інвестиції; інвестиції змінюють технологічну структуру; технологічна структура визначає ресурсну та вуглецеву результативність; соціальна прийнятність впливає на можливість реалізації трансформації.

Рисунок 1.4 виконує функцію теоретичної рамки дослідження. Він не встановлює остаточного складу органів управління, не розподіляє повноваження між стейкхолдерами та не визначає фінансові механізми реалізації. Такі елементи можуть бути обґрунтовані лише після отримання фактичних оцінок галузевого вуглецевого профілю, діагностики зовнішньоекономічної вразливості та формування технологічного портфеля модернізації.

Представлена теоретична архітектоніка фіксує завершення переходу від вузького природоохоронного трактування до інтегрованого розуміння промислової трансформації. Її вихідним положенням є те, що металургійна галузь не може бути сталою лише за одним виміром. Висока економічна результативність без технологічної сумісності з кліматичними цілями накопичує майбутні витрати; скорочення викидів без інвестиційної та соціальної спроможності може призвести до деіндустріалізації; циркулярність без контролю якості матеріалів не забезпечує необхідних властивостей продукції; цифрова звітність без реальної модернізації перетворюється на формальність.

Еволюція підходів доводить необхідність розмежування сталого розвитку і стабільного функціонування

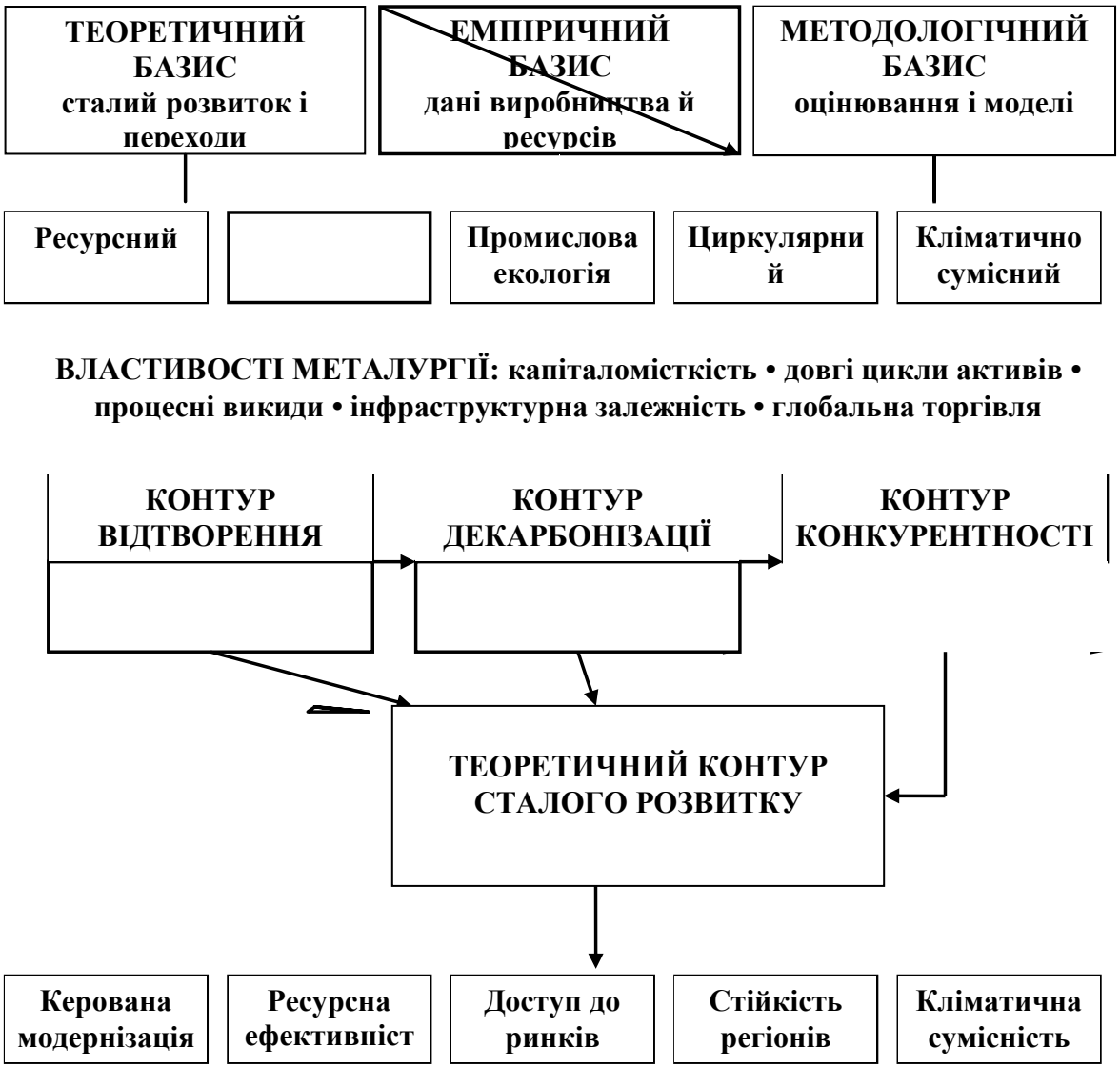


Рис. 1.4. Теоретична архітектоніка управління сталим розвитком металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації

Джерело: розроблено автором за [11–12; 45; 55; 158; 182; 238; 246; 280; 297; 307; 312; 328–331; 334; 345; 349; 351–352; 361–363; 371; 378; 384].

. Стабільність характеризує здатність підтримувати поточний режим, тоді як сталість включає здатність своєчасно змінити цей режим, якщо його ресурсні, кліматичні або ринкові параметри втрачають життєздатність. Для металургії ця відмінність має практичний вимір: продовження експлуатації високовуглецевого обладнання може тимчасово підтримувати випуск, але водночас збільшувати

технологічний і торговельний розрив. Сталий розвиток передбачає інвестиційно забезпечений і соціально прийнятний перехід до нового виробничого режиму.

На підставі проведеного узагальнення сталий розвиток металургійної галузі пропонується визначати як керований на рівні національного господарства процес структурно-технологічного оновлення галузі, що забезпечує відтворення її виробничого потенціалу, довгострокову економічну життєздатність і конкурентоспроможність одночасно зі зниженням ресурсної та вуглецевої інтенсивності, розвитком циркулярних потоків, підвищенням інвестиційної й інформаційної спроможності, збереженням зайнятості та соціально-регіональної стійкості. У цьому визначенні декарбонізація є не ізольованою екологічною метою, а центральною умовою технологічної, ринкової та фінансової життєздатності галузі.

Науковий розвиток від природоохоронного контролю до низьковуглецевої конкурентоспроможності створює передумови для подальшої операціоналізації категорії сталості. Система оцінювання має показувати не лише підсумковий стан, а й структурні причини відхилень: технологічні маршрути, енергетичний мікс, ресурсні потоки, інвестиційну спроможність, експортну експозицію, якість вуглецевих даних і соціальну готовність. Водночас перед переходом до методичного оцінювання необхідно розкрити специфіку металургійного енергопереходу, оскільки саме технологічна природа процесів, залежність від енергії та сировини, інфраструктурна зв’язаність і тривалі інвестиційні цикли визначають межі та послідовність низьковуглецевої трансформації.

1.2. Особливості сталого розвитку металургійної галузі в умовах енергопереходу

Сформоване теоретичне розуміння сталого розвитку металургійної галузі як збалансованого поєднання економічної результативності, технологічного оновлення, ресурсної ефективності, кліматичної відповідальності та соціально-

регіональної стійкості потребує конкретизації в умовах енергопереходу. Для металургії такий перехід має принципово складніший зміст, ніж звичайна заміна одного енергоносія іншим. У доменно-конвертерному маршруті вуглець одночасно є джерелом тепла, відновником залізної руди та елементом технологічного режиму, тому скорочення його використання потребує перебудови не лише енергетичного балансу, а й виробничої архітектури галузі. Енергоперехід охоплює взаємопов'язану зміну технологічних маршрутів, джерел електроенергії, сировинної бази, інфраструктури, механізмів інвестування, системи вуглецевого обліку та вимог до металопродукції [307; 312–313].

У науковому дискурсі необхідно розмежовувати чотири близькі, але не тотожні категорії. Енергоефективність означає скорочення витрат енергії на одиницю продукції за збереження основної технологічної схеми. Декарбонізація спрямована на зменшення абсолютних і питомих викидів парникових газів. Енергоперехід характеризує структурну зміну джерел, носіїв і способів використання енергії. Сталий розвиток металургійної галузі є ширшим поняттям, оскільки поєднує зазначені процеси з економічною життєздатністю, ресурсною ефективністю, конкурентоспроможністю, зайнятістю та інституційною спроможністю. Нерозмежування цих категорій породжує методичну помилку: зниження енергоємності може не зменшити вуглецевий слід за вуглецеємної електроенергії, а скорочення абсолютних викидів унаслідок падіння виробництва не є свідченням сталого переходу.

Теорія соціотехнічних переходів пояснює, що масштабні промислові зміни відбуваються не як проста заміна обладнання, а як взаємна перебудова технологій, інфраструктури, регулювання, ринків, компетентностей та моделей попиту. Для металургії ця теза особливо вагома через тривалий строк експлуатації агрегатів, високу капіталомісткість і ефект технологічного закріплення: інвестиція у нову вуглецеємну потужність здатна визначити структуру витрат і викидів на десятиліття. Тому управління енергопереходом має бути спрямоване не лише на

підтримку нових рішень, а й на недопущення відтворення довгострокової вуглецевої залежності [279; 332; 357].

Сучасний енергоперехід відрізняється від попередніх історичних переходів нормативно заданою швидкістю та необхідністю одночасно досягати кліматичних, промислових і соціальних цілей. Раніше нові енергоносії поширювалися переважно завдяки перевагам у ціні, доступності або продуктивності. Нині металургійна галузь має трансформуватися в умовах установлених кліматичних цілей, вуглецевого регулювання зовнішніх ринків, вимог інвесторів і розвитку стандартів низьковуглецевої продукції. Це посилює роль державної та міжгалузевої координації, оскільки окреме підприємство не може самостійно створити енергомережу, водневу інфраструктуру, систему сертифікації, ринок низьковуглецевої сталі та фінансові інструменти довгого горизонту [158; 238; 357].

Для України енергоперехід металургії поєднує три взаємозалежні логіки: енергетичну безпеку, низьковуглецеву модернізацію та відновлення промислового потенціалу. Воєнні пошкодження енергетичної і транспортної інфраструктури підвищують значення надійності постачання та гнучкості навантаження; європейська інтеграція посилює вимоги до вуглецевої прозорості та сумісності з ринком ЄС; потреба у відбудові формує великий інвестиційний цикл, який може або відтворити застарілу структуру, або стати механізмом технологічного стрибка. Отже, рішення щодо реконструкції мають оцінюватися за повною траєкторією майбутніх витрат, викидів, ринкового доступу і соціальних наслідків, а не лише за швидкістю відновлення потужностей [89; 106; 359].

Зазначені взаємозв’язки дозволяють представити енергоперехід металургійної галузі як багатоконтурну систему, у якій зовнішні імперативи трансформуються через взаємозалежні внутрішні модулі та лише за їх синхронізації формують результат сталого розвитку (рис. 1.5).

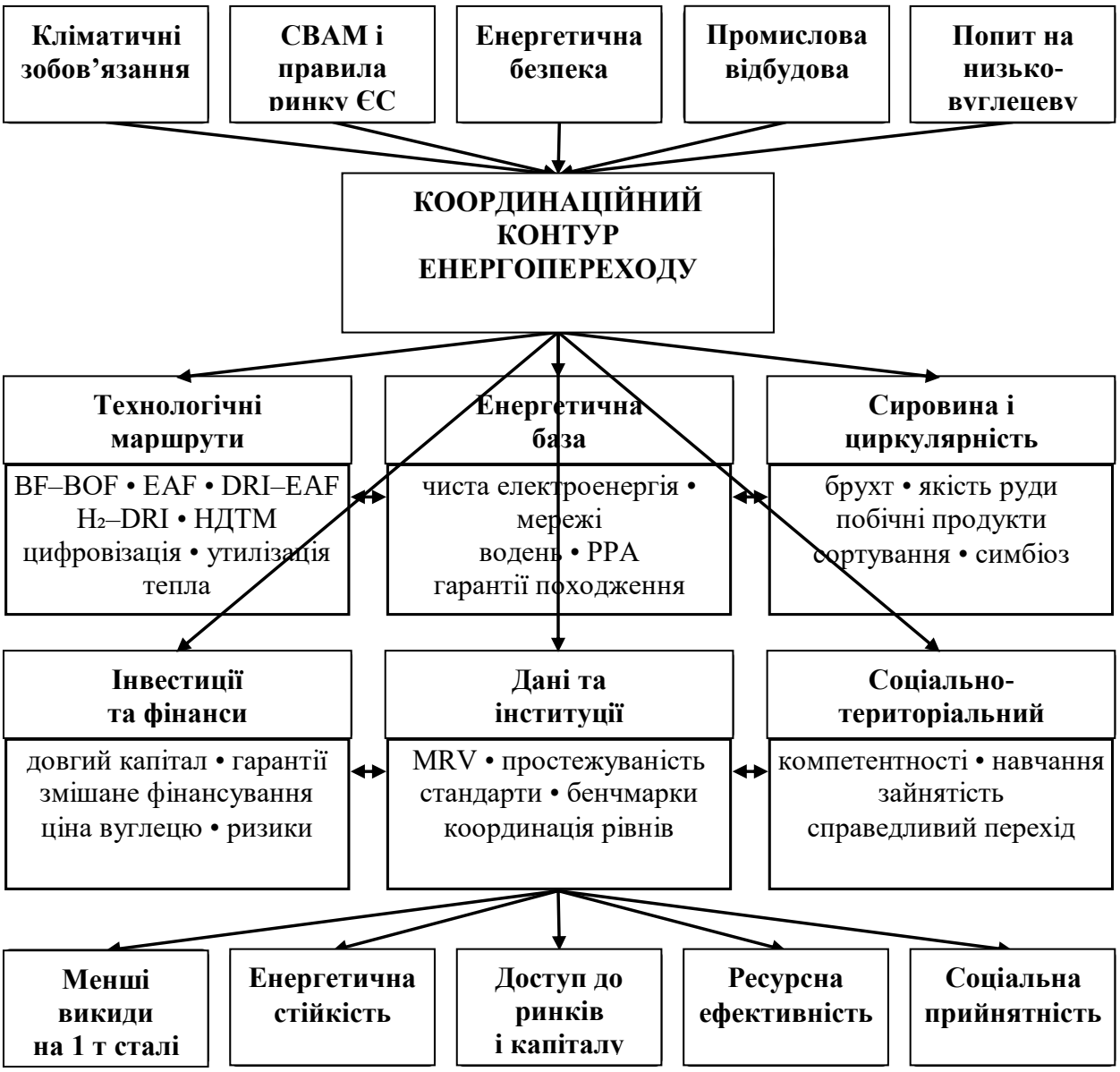


Рис. 1.5. Концептуальна багатоконтурна архітектоніка сталого розвитку металургійної галузі в умовах енергопереходу

Джерело: систематизовано та розроблено автором за [89; 158; 215; 238; 246; 252; 279; 307; 311–313; 323; 332; 345; 352–353; 357; 361; 378; 384].

Наведена архітектоніка має концептуальний характер: вона розкриває склад і взаємозалежність передумов переходу, але не підмінює стейкхолдерно-координовану модель галузевого управління, яка буде розроблена у підрозділі 4.2.

На рис. 1.5 координаційний контур енергопереходу не ототожнюється з окремою технологією, органом влади або завершеною моделлю управління. Його функція полягає у концептуальному узгодженні послідовності змін між технологічними маршрутами, енергетичною базою, сировинними потоками, інвестиційним забезпеченням, інформаційно-інституційною системою та соціально-територіальним контуром. Така побудова відображає принцип комплементарності: результат одного модуля залежить від готовності інших. Електродугова піч без достатньої мережевої потужності не забезпечує очікуваного ефекту; водневе відновлення без доступної низьковуглецевої електроенергії не є кліматично результативним; збільшення використання брухту без сортування і контролю домішок може погіршити якість продукції; цифрова звітність без фізичної модернізації лише фіксує наявний розрив.

Першою особливістю сталого розвитку металургії в умовах енергопереходу є технологічна маршрутність. Викиди формуються на різних стадіях виробництва і залежать від поєднання підготовки сировини, відновлення заліза, виплавки сталі, прокатного та допоміжного господарства. Тому галузева політика не може обмежуватися одним універсальним рішенням. Вона має розрізняти оптимізацію чинного BF–BOF маршруту, перехідні рішення на основі природного газу та H_2-ready DRI, масштабування EAF із використанням брухту, водневе пряме відновлення, вибіркове застосування уловлювання вуглецю та перспективні електролітичні технології [180; 312–313].

Другою особливістю є залежність результату від вуглецеємності та надійності електроенергії. Електрифікація переносить частину викидів із технологічного контуру підприємств до електроенергетичної системи, тому однакова електроємність може мати різний кліматичний наслідок. Для коректної оцінки недостатньо враховувати лише кількість спожитої електроенергії: необхідно встановлювати її походження, часову відповідність генерації та споживання, додатковість нових потужностей, доступність мережі й потребу у балансуванні. Через це довгострокові договори постачання, гарантії походження,

накопичення енергії та модернізація мереж стають складовими промислової політики [215; 252; 323].

Третьою особливістю є перетворення водню з окремого енергоносія на елемент нового виробничого ланцюга. У H_2-DRI водень виконує функцію відновника, тому його конкурентоспроможність визначається не лише ціною електролізера, а сукупністю вартості чистої електроенергії, коефіцієнта завантаження, зберігання, транспортування, якості руди та інтеграції з EAF. Дослідження водневого прямого відновлення підтверджують технічну можливість істотного скорочення викидів, але водночас виявляють високу електроємність і потребу у системній інфраструктурі [179–180; 364]. Для України це означає доцільність не декларативного проголошення «водневої металургії», а поетапної підготовки H_2-ready активів у кластерах із підтвердженою енергетичною, сировинною та фінансовою сумісністю.

Четвертою особливістю є стратегічна роль металобрухту. У традиційній моделі він розглядається переважно як вторинна сировина, тоді як в умовах енергопереходу стає засобом скорочення потреби у первинному відновленні заліза, енерговитрат і викидів. Проте глобальний попит на якісний брухт зростає, а його доступність обмежена строками служби металомісткої продукції, структурою накопиченого фонду та якістю сортування. Тому циркулярність не скасовує первинного виробництва, а потребує управління балансом первинної і вторинної сировини, стандартами якості, внутрішньою логістикою та експортною політикою [345; 378].

П’ятою особливістю є неоднакова технологічна зрілість маршрутів. Енергоефективність, утилізація вторинних газів і тепла, цифрова оптимізація та розширення частки брухту належать до рішень, придатних для близької перспективи. H_2-DRI–EAF потребує масштабування чистої електроенергії та водню; електроліз залізної руди перебуває на раннішій стадії комерціалізації; CCUS залежить від доступності транспортування і довгострокового зберігання CO_2. Тому управління має використовувати портфельний підхід: поєднувати

першочергові заходи з підготовкою глибокої трансформації та не допускати, щоб перехідні інвестиції блокували майбутню зміну маршруту [158; 312; 355].

Порівняння основних технологічних маршрутів дає змогу визначити їх функціональне місце у траєкторії сталого розвитку металургійної галузі України (табл. 1.4).

Дані табл. 1.4 свідчать, що жоден маршрут не може оцінюватися поза конкретним інфраструктурним і ринковим контекстом. Модернізація BF–BOF здатна забезпечити порівняно швидке зниження енерговитрат і локальних викидів, але має обмежений потенціал глибокої декарбонізації. Scrap-EAF є найбільш зрілим низьковуглецевим варіантом за умови доступності якісного брухту та чистої електроенергії. DRI–EAF створює перехідний міст між природним газом і воднем, проте може сформувати нову залежність від газової інфраструктури, якщо H_2-ready конфігурація та графік переходу не закріплені інвестиційними рішеннями. CCUS доцільно застосовувати вибірково для залишкових або важкозамінних процесів, а не як універсальне обґрунтування продовження експлуатації вуглецеємних активів.

З позиції національного господарства технологічний вибір має враховувати не тільки виробничу собівартість, а й системні витрати. До них належать розвиток генерації та мереж, резервування потужності, воднева інфраструктура, логістика брухту і DRI, підготовка кадрів, витрати на MRV, можливі вуглецеві платежі та ризик втрати зовнішнього ринку. Одночасно системна оцінка має включати вигоди: зменшення імпортної енергозалежності, нижчу CBAM-експозицію, доступ до сталого фінансування, створення нового попиту на низьковуглецеву електроенергію і збереження промислових компетентностей. Такий підхід переводить енергоперехід із технічної площини у площину структурної промислової політики.

Шостою особливістю є висока залежність результату від послідовності рішень.

Таблиця 1.4

Порівняльна характеристика технологічних маршрутів низьковуглецевої трансформації металургійної галузі

Технологічний маршрут	Енергетична і сировинна основа	Потенціал і переваги	Ключові обмеження	Функція у траєкторії України
Модернізований BF–BOF	кокс, руда, пиловугільне паливо; енергоефективність; утилізація газів і тепла	порівняно швидке скорочення енерговитрат і локальних викидів; використання частини чинних активів	обмежений потенціал глибокої декарбонізації; ризик подовження технологічного закріплення	короткострокова стабілізація лише за наявності визначеного строку та плану заміщення
NG-DRI–EAF / H_2-ready	природний газ або його суміш із воднем; DRI; електроенергія	нижчі прямі викиди; технологічний міст до водню; модульність	ціна газу й електроенергії; метанові викиди; потреба у DRI-руді; ризик затримки переходу на H_2	перехідний маршрут у кластерах із підтвердженою H_2-ready конфігурацією
H_2-DRI–EAF	низьковуглецевий водень; високоякісна руда; значний обсяг чистої електроенергії	глибоке скорочення процесних викидів; сумісність із near-zero steel	висока електроємність; вартість водню; потреба у мережах, зберіганні та кластерній інфраструктурі	стратегічний маршрут після підготовки енергетичної, сировинної та фінансової бази
Scrap-EAF	якісний брухт; електроенергія; легувальні матеріали	висока технологічна зрілість; циркулярність; нижчі енерговитрати та викиди	обмеженість і якість брухту; домішки; залежність від вуглецеємності електроенергії	пріоритетне масштабування разом із системою збирання, сортування та сертифікації брухту
BF/DRI із CCUS	викопне паливо або газ; уловлювання, транспортування і зберігання CO_2	можливість скорочення частини викидів чинних або специфічних процесів	неповне уловлювання; інфраструктурна складність; довгострокова відповідальність за зберігання	вибіркове застосування для залишкових викидів за підтвердженої системної доцільності
Електроліз залізної руди та інші перспективні процеси	чиста електроенергія; електрохімічні або плазмові технології	потенціал майже повного усунення процесного вуглецю	рання стадія комерціалізації; технологічні та масштабні ризики	напрям досліджень, пілотування і підготовки без заміни рішень ближчого горизонту

Джерело: систематизовано автором за [158; 179–180; 311–313; 323; 345; 355; 364].

Перехід від BF–BOF до H_2-DRI–EAF не може відбутися одномоментно; між цими станами існують взаємозалежні етапи: достовірна інвентаризація потоків, енергоефективність, цифровізація, підготовка мережі, формування брухтової бази, модернізація сировини, укладання контрактів на чисту електроенергію, проєктування DRI та підготовка водневої інфраструктури. Помилка у черговості здатна сформувати невикористані активи або дефіцит критичної інфраструктури. Тому запропоновано використовувати категорію «енергетично-технологічна сумісність» як критерій готовності галузевої системи до обраного маршруту.

Енергетично-технологічну сумісність запропоновано визначати як відповідність між вимогами технологічного маршруту та фактичною спроможністю енергетичної, сировинної, інфраструктурної, інвестиційної, інформаційної і соціальної підсистем забезпечити його стабільне низьковуглецеве функціонування. На відміну від оцінки окремого проєкту, ця категорія фіксує міжсистемні залежності та дозволяє розрізняти технологічну можливість і галузеву реалізованість: обладнання може бути технічно доступним, але системно непридатним за відсутності мережевої потужності, якісної сировини, довгострокового капіталу або верифікованих даних.

Застосування цієї категорії ґрунтується на шести принципах. Принцип системності вимагає врахування повного ланцюга «енергія – сировина – технологія – продукт – ринок». Принцип додатковості передбачає, що новий попит на електроенергію має супроводжуватися розвитком низьковуглецевої генерації. Принцип поетапності пов’язує інвестиції з контрольними точками готовності. Принцип простежуваності забезпечує доказовість походження енергії та викидів. Принцип запобігання технологічному закріпленню обмежує інвестиції, які подовжують вуглецеву залежність без реалістичного шляху конверсії. Принцип справедливості вимагає враховувати зайнятість, кваліфікації та стійкість промислових територій.



Рис. 1.6. Методична схема перевірки енергетично-технологічної сумісності та формування портфеля рішень

Джерело: розроблено автором за [158; 179–180; 279; 312; 323; 332; 345; 355; 357; 364].

Рис. 1.6 розмежовує чотири портфелі рішень, але не встановлює умовного інтегрального індексу чи необґрунтованих ваг. До портфеля A належать заходи з низьким ризиком технологічного закріплення: енергоаудит, модернізація приводів, утилізація тепла, цифрове керування, скорочення втрат, MRV та підготовка проєктної документації. Портфель B охоплює перехідні рішення, які мають бути технічно сумісними з майбутнім низьковуглецевим маршрутом, зокрема EAF, H_2-ready DRI, довгострокові контракти на чисту електроенергію та розвиток брухтової інфраструктури. Портфель C включає глибоку трансформацію, що потребує кластерної інфраструктури і значного капіталу. Портфель D застосовується до активів, модернізація яких не забезпечує прийнятної траєкторії вуглецеємності або створює надмірний системний ризик.

Сьомою особливістю є інвестиційна асиметрія між витратами і вигодами. Капітальні витрати концентруються на початку проєкту і переважно покладаються на бізнес, тоді як частина вигод має суспільний або відкладений характер: енергетична безпека, скорочення імпорту палива, поліпшення якості довкілля, збереження експорту, розвиток мереж і компетентностей. Без механізмів розподілу ризиків приватний інвестор може відкладати проєкт, навіть якщо він є доцільним для національної економіки. Тому енергоперехід потребує поєднання власного капіталу, пільгового боргу, державних гарантій, міжнародного фінансування, контрактів на різницю, грантової підтримки інфраструктури та довгострокового попиту [158; 238; 355].

Восьмою особливістю є формування нового ринку продукції. Низьковуглецева сталь має вищі початкові витрати, але її кліматична перевага не завжди відображається у ринковій ціні. Виникає проблема «зеленої премії» та першого покупця. Її розв’язання пов’язане з державними і корпоративними закупівлями, вимогами до вбудованого вуглецю у будівництві та інфраструктурі, довгостроковими оффтейк-контрактами, узгодженими визначеннями near-zero steel і системою сертифікації. Європейський план дій для сталі та металів і

міжнародні ініціативи промислової декарбонізації безпосередньо пов’язують масштабування чистих технологій зі створенням провідних ринків [158; 238; 361].

Дев’ятою особливістю є зростання економічної ролі даних. Вуглецевий слід металопродукції стає параметром, який впливає на доступ до ринку, вартість капіталу та контрактні умови. Відповідно MRV має охоплювати не лише сумарні викиди підприємств, а технологічні переділи, енергетичні потоки, походження електроенергії, вуглецеві характеристики сировини і продукції. Для України достовірність даних є особливо важливою, оскільки значення за замовчуванням у зовнішньому регулюванні можуть бути несприятливішими за фактичні показники. Інформаційна модернізація повинна передувати або супроводжувати фізичне оновлення активів [110; 352].

Десятою особливістю є соціально-територіальна концентрація наслідків. Металургійні комплекси формують зайнятість, місцеві доходи, попит на транспорт, ремонт, освіту та послуги. Заміна технологічного маршруту змінює кількість і структуру робочих місць, вимоги до кваліфікацій та просторову організацію виробництва. Справедливий перехід не повинен зводитися до компенсації після закриття активу. Він має включати завчасне прогнозування потреби у професіях, перепідготовку, участь громад у плануванні, розвиток суміжних виробництв, мобільність працівників і спрямування частини інвестиційної підтримки на територіальну диверсифікацію [320].

Одинадцятою особливістю є безпекова вразливість енергопереходу в Україні. Електрифікація підвищує залежність металургії від стабільності мережі, а концентрація великих навантажень створює вимоги до резервування, локальної генерації, накопичення та керованого споживання. Воднева інфраструктура і нові логістичні потоки також потребують захисту та дублювання. Тому критерій мінімальної собівартості необхідно доповнювати критерієм стійкості: наскільки обраний маршрут здатний підтримувати виробництво за пошкодження інфраструктури, коливань цін або розриву постачання.

Основні обмеження та можливості енергопереходу металургійної галузі України, а також відповідні напрями управлінської реакції систематизовано у табл. 1.5.

Таблиця 1.5

Система обмежень, можливостей та управлінських реакцій енергопереходу металургійної галузі України

Вимір	Ключове обмеження	Потенційна можливість	Пріоритетна управлінська реакція	Контрольний показник
1	2	3	4	5
Технологічний	довгий строк служби активів; неоднакова зрілість маршрутів	поєднання відбудови з технологічним оновленням	портфельна селекція проєктів; H_2-ready; запобігання технологічному закріпленню	частка EAF/DRI у випуску, %; вік і структура потужностей
Енергетичний	дефіцит мережевої потужності; волатильність ціни; воєнні ризики	низьковуглецева генерація; PPA; накопичення; керований попит	кластерні плани мереж; гарантії походження; резервування і гнучкість	споживання електроенергії, МВт·год/т; вуглецеємність електроенергії; тривалість перерв, год
Сировинний	якість брухту і руди; логістичні обмеження	рудна база та потенціал вторинної сировини від відбудови	сортування і сертифікація; баланс брухту; підготовка DRI-сировини	частка брухту, %; якість DRI-руди; втрати вторинної сировини, %
Інвестиційний	високий CAPEX; вартість капіталу; невизначеність окупності	міжнародні програми відновлення і сталого фінансування	державні гарантії; змішане фінансування; поетапне фінансування за KPI	CAPEX, євро/т потужності; WACC, %; мобілізований приватний капітал, млн євро
Регуляторно-ринковий	CBAM; нестабільний вуглецевий сигнал; відсутність гарантованої премії	ринок ЄС; зелені закупівлі; довгострокові оффтейк-контракти	сумісне MRV; стандарти near-zero steel; формування провідних ринків	CBAM-експозиція; частка сертифікованої продукції, %; цінова премія, %

Продовження табл. 1.5

1	2	3	4	5
Інформаційний	фрагментарні дані; різні межі обліку	цифровізація і простежуваність продукції	єдина галузева MRV-архітектура; продуктові вуглецеві декларації	охоплення верифікацією, %; частка продукції з підтвердженим слідом, %
Соціально-регіональний	ризик втрати робочих місць; монофункціональність громад	нові інженерні, енергетичні та цифрові професії	плани справедливого переходу; перепідготовка; диверсифікація кластерів	зайнятість, осіб; охоплення навчанням, %; нові робочі місця, од.
Безпековий	пошкодження енергетики і транспорту; концентрація навантажень	децентралізація; локальна генерація; резервні ланцюги	оцінка стійкості проєктів; дублювання критичної інфраструктури	час відновлення, год; резерв потужності, %; захищені критичні вузли, %

Джерело: систематизовано та розроблено автором за [45; 55; 89; 106; 110; 158; 215; 238; 246; 252; 311; 313; 320; 323; 329; 334; 352–353; 359; 361; 378; 384].

Систематизація у табл. 1.5 показує, що більшість бар'єрів має міжгалузевий характер. Дефіцит мережевої потужності не може бути усунений лише металургійним бізнесом; якість брухту залежить від системи збирання і перероблення; вартість водню – від енергетичної та податкової політики; попит на низьковуглецеву продукцію – від будівельних норм, закупівель і стандартів. Звідси випливає необхідність горизонтального узгодження промислової, енергетичної, кліматичної, інвестиційної, освітньої та регіональної політики. Відсутність такої координації переносить системний ризик на окремі підприємства і зменшує ймовірність реалізації галузевих проєктів.

Водночас Україна має структурні передумови, які можуть перетворитися на конкурентні переваги: значну сировинну базу залізної руди, металургійні та інженерні компетентності, потенціал низьковуглецевої генерації, географічну близькість до ринку ЄС, можливість інтегрувати нові рішення у відбудову і перспективний попит на метал у будівництві та інфраструктурі. Однак ці передумови не є автоматичними перевагами: якість руди має відповідати вимогам

DRI, електроенергія – бути доступною за конкурентною ціною, мережі – витримувати нові навантаження, а проєкти – мати доказову вуглецеву та фінансову модель.

Національний план з енергетики та клімату України формує загальну рамку декарбонізації, енергоефективності, енергетичної безпеки, внутрішнього енергетичного ринку, досліджень та інновацій. Для металургійної галузі цю рамку необхідно конкретизувати через прогноз потреби в електроенергії для різних маршрутів, плани розвитку мереж у металургійних кластерах, баланс брухту і DRI-сировини, портфель інвестицій, вимоги до MRV та програми справедливого переходу. Без такого галузевого перекладу загальні енергетичні цілі не формують достатньої визначеності для довгострокових інвестицій [89; 106].

Для подальшого оцінювання важливо розрізняти три типи зміни викидів. Структурний ефект виникає внаслідок зміни частки технологічних маршрутів. Ефект інтенсивності відображає зниження витрат енергії та викидів у межах конкретного маршруту. Ефект активності пов’язаний зі зміною обсягу виробництва. Для України це розмежування є критичним: падіння випуску після 2022 р. могло зменшити абсолютні викиди, але не свідчить про технологічне оновлення. Ознакою сталого розвитку є відновлення економічної активності за одночасного зниження питомої вуглецеємності та енергоємності.

Дванадцятою особливістю є необхідність узгодження часових горизонтів. Короткостроковий горизонт охоплює відновлення керованості, енергоефективність, MRV і підготовку проєктів. Середньостроковий – розширення електросталеплавильного виробництва, брухтової інфраструктури, чистої генерації та H_2-ready DRI. Довгостроковий – масштабування водневого відновлення, електролітичних процесів і мінімізацію залишкових викидів. Кожний наступний етап має бути підготовлений попереднім, однак проєктування мереж, розвиток компетентностей і формування попиту мають розпочинатися завчасно.

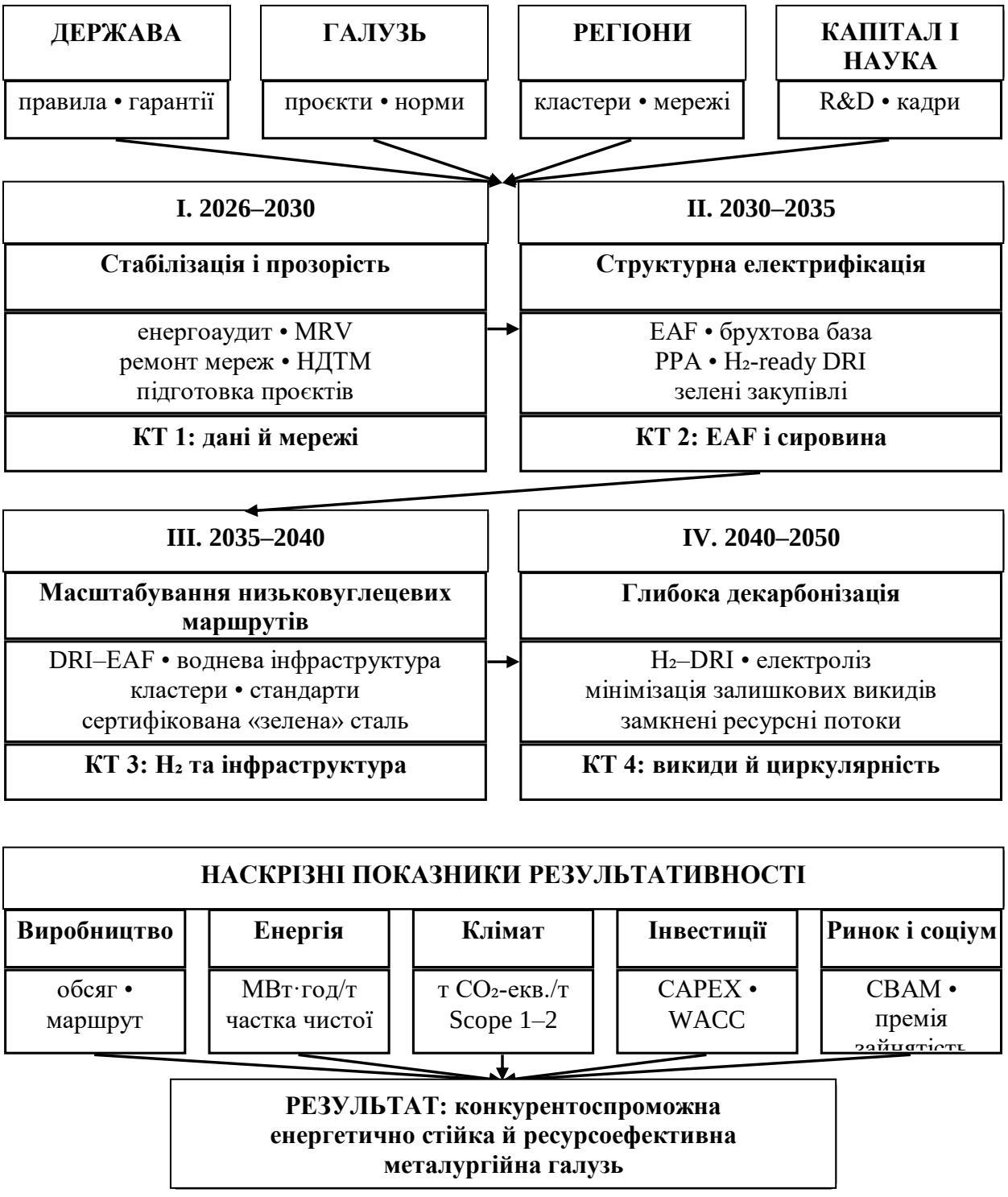


Рис. 1.7. Орієнтовна фазова послідовність сталого розвитку металургійної галузі України в умовах енергопереходу

Джерело: розроблено автором за [89; 106; 110; 158; 238; 246; 311–312; 320; 345; 353; 357; 359; 384].

Рис. 1.7 відображає не кількісний прогноз і не календарно зобов’язувальний план, а концептуальну послідовність синхронізації технологічної, енергетичної та інституційної готовності. Зазначені часові межі є орієнтирами для формування контрольних точок, за якими оцінюються якість даних, доступність мереж, конкурентоспроможність електросталеплавильного виробництва, готовність сировинної бази, вартість водню, стан кластерної інфраструктури та соціальні наслідки. Кількісні сценарні параметри і результати мають обґрунтовуватися окремо у підрозділі 4.1 на підставі прозорих припущень і відтворюваних розрахунків.

На першій фазі пріоритет мають відновлення фізичної та інформаційної керованості галузі, енергоаудит, модернізація допоміжних систем, скорочення втрат, цифровий облік і підготовка банку інвестиційних проєктів. На другій фазі має зростати частка EAF, розвиватися ринок якісного брухту, довгострокові контракти на чисту електроенергію, мережеві підсилення та H_2-ready рішення. Третя фаза передбачає кластерне масштабування DRI–EAF і водневої інфраструктури. Четверта спрямована на наближення до near-zero emissions через поєднання H_2-DRI, електролізу, максимального повернення вторинних ресурсів і управління залишковими викидами [158; 311–312].

Результативність переходу має оцінюватися наскрізною системою показників. Виробничі показники відображають відновлення масштабу і зміну маршрутів; енергетичні – обсяг, структуру та надійність споживання; кліматичні – абсолютні й питомі викиди; ресурсні – частку брухту, вихід придатної продукції, використання води та побічних продуктів; інвестиційні – CAPEX, вартість капіталу і введення потужностей; ринкові – CBAM-експозицію, премію низьковуглецевої продукції та частку довгострокових контрактів; соціальні – зайнятість і перепідготовку; інституційні – якість MRV, стандартизацію та швидкість погодження проєктів.

Система показників повинна забезпечувати наскрізну логіку дисертації: від теоретичної категорії та методичного інструментарію до фактичної діагностики,

сценарного розрахунку і моделі галузевого управління. Кожний індикатор має мати визначене економічне трактування, джерело даних, напрям бажаної зміни та конкретне місце у подальших розрахунках. Такий підхід дозволяє уникнути формального набору ESG-показників, умовних інтегральних індексів і ваг, які не мають фактичної бази (табл. 1.6).

Таблиця 1.6

Наскрізна система показників оцінювання сталого розвитку металургійної галузі в умовах енергопереходу

Група показників	Аналітичне призначення	Ключові показники	Основні джерела даних	Використання у наступних підрозділах
1	2	3	4	5
Виробничі	оцінювання масштабу, структури та технологічного зсуву	виплавка сталі і чавуну, млн т; прокат, млн т; частка BF–BOF, EAF і DRI, %	Держстат; World Steel Association; агреговані галузеві та корпоративні дані	2.1; формування фактичної бази у 3.1; технологічні сценарії у 4.1
Енергетичні	оцінювання ефективності, електрифікації та стійкості	споживання енергії; електроємність, МВт·год/т; частка чистої електроенергії, %; перерви, год	енергетична звітність; оператор системи; гарантії походження	2.1–2.3; оцінювання енергетично-технологічної сумісності; сценарні припущення 4.1
Кліматичні	розмежування ефектів активності, інтенсивності та структури	абсолютні викиди, млн т CO_2-екв.; питомі викиди, т CO_2-екв./т; Scope 1–2; продуктові викиди	національна інвентаризація; MRV; верифіковані звіти; CBAM-декларації	бенчмаркінг 2.2; методика 2.3; розрахунки 3.2; CBAM-діагностика 3.3; сценарії 4.1
Ресурсні	оцінювання циркулярності та матеріальної ефективності	частка брухту, %; вихід придатного металу, %; водоємність; використання шлаків і газів, %	матеріальні баланси; екологічна звітність; митна статистика	оцінювання потенціалу 2.1; виробнича база 3.1; технологічний портфель 4.1

Продовження табл. 1.6

1	2	3	4	5
Інвестиційні	оцінювання спроможності фінансувати перехід	CAPEX; WACC, %; зелене фінансування; введені EAF/DRI/ВДЕ потужності	фінансова звітність; банки розвитку; реєстр проєктів	оцінювання потенціалу 2.1; модель 4.2; фінансові механізми розділу 5
Ринкові	оцінювання зовнішньої вразливості та попиту	CBAM-експозиція; експорт до ЄС; цінова премія; оффтейк; частка сертифікованої сталі, %	митна статистика; контракти; сертифікати; ринкові ціни	діагностика 3.3; сценарії 4.1; управлінські рішення 4.2
Соціальні	оцінювання справедливості та територіальної стійкості	зайнятість, осіб; продуктивність; перепідготовка, осіб; безпека праці; диверсифікація громад	статистика праці; підприємства; регіональні програми	обмеження сценаріїв 4.1; модель 4.2; соціально-регіональні механізми розділу 5
Інституційні	оцінювання якості координації та доказовості	охоплення MRV, %; строки дозволів; узгоджені стандарти; державні гарантії; зелені закупівлі	реєстри органів влади; стандарти; галузеві платформи	методика 2.3; модель 4.2; MRV та ESG-прозорість 4.3; механізми розділу 5

Джерело: розроблено автором за [89; 106; 110; 158; 215; 238; 246; 252; 307; 311–313; 345; 352–353; 359; 361; 378; 384].

Наведена у табл. 1.6 система забезпечує зв’язок між теоретичним і прикладним рівнями дослідження. У підрозділі 2.1 вона використовується для структурування економіко-технологічного потенціалу; у 2.2 – для формування галузевого бенчмаркінгу питомих викидів; у 2.3 – для побудови авторської зонально-сценарної методики. Підрозділи 3.1–3.3 забезпечують фактичну апробацію виробничих, вуглецевих і ринкових параметрів; 4.1 – обґрунтування технологічних сценаріїв; 4.2 – їх включення до моделі галузевого управління; 4.3 – інформаційне забезпечення через MRV та ESG-прозорість. Інституційні, фінансові й партнерські механізми реалізації розкриваються у розділі 5.

Методична вимога до системи показників полягає у поєднанні рівнів без змішування одиниць аналізу. На рівні підприємств формуються первинні технологічні та енергетичні дані; на галузевому рівні оцінюються структура маршрутів, середні параметри, регуляторні зони і сукупна інвестиційна потреба; на рівні національної економіки – вплив на експорт, енергетичну систему, зайнятість, промислові території та державні фінанси. Підприємства у цій конструкції є учасниками галузевої системи і джерелами первинної інформації, але не кінцевим об’єктом дослідження.

Отже, сталий розвиток металургійної галузі в умовах енергопереходу запропоновано визначати як керовану багаторівневу структурну трансформацію технологічних маршрутів, енергетичної та сировинної бази, інвестиційних і ринкових механізмів, системи даних та соціально-територіальних відносин, яка забезпечує відновлення і довгострокову економічну життєздатність галузі за послідовного зниження питомої вуглецеємності, підвищення ресурсної ефективності, енергетичної безпеки та соціальної прийнятності.

Наукове значення такого трактування полягає у переході від техноцентричного розуміння енергопереходу до системи керованої сумісності. Концептуальна багатоконтурна архітектоніка, категорія енергетично-технологічної сумісності, портфельна логіка рішень і фазова послідовність узгоджують довгі інвестиційні цикли металургії з розвитком енергетичної інфраструктури, вуглецевого регулювання, ринкового попиту та справедливого переходу. Вони визначають об’єкти і параметри управлінського впливу, але не замінюють подальшої кількісної методики та стейкхолдерної моделі.

Таким чином, ключовими особливостями сталого розвитку металургійної галузі в умовах енергопереходу є технологічна маршрутність, залежність від вуглецеємності та надійності енергосистеми, стратегічна роль брухту і якості сировини, різна зрілість низьковуглецевих рішень, висока капіталомісткість, інвестиційна та часова асиметрія, необхідність доказових даних, формування ринку низьковуглецевої продукції, соціально-територіальна чутливість і

безпекова вразливість. Їх поєднання означає, що енергоперехід має здійснюватися як складова промислового відновлення та європейської інтеграції. Встановлені технологічні, енергетичні, сировинні, інвестиційні, інформаційні та соціальні залежності визначають об’єкти регуляторного впливу, тому наступним етапом дослідження є систематизація інструментів регулювання вуглецеємності металургійної галузі у підрозділі 1.3.

1.3. Інструменти регулювання вуглецеємності металургійної галузі в умовах євроінтеграційних кліматичних викликів

Розкриті у підрозділі 1.2 особливості енергопереходу засвідчили, що низьковуглецева трансформація металургійної галузі залежить від синхронної зміни технологічних маршрутів, енергетичної і сировинної бази, інвестиційних умов, системи даних, ринкового попиту та соціально-регіонального середовища. Наступним етапом теоретичного дослідження є визначення інструментів, за допомогою яких держава, галузеві інституції, фінансовий сектор і ринок можуть впливати на зазначені параметри. У цьому підрозділі інструменти систематизуються на концептуальному рівні; їх кількісна прив’язка до індикативних меж, фактичної вуглецеємності та регуляторних зон буде здійснена у підрозділах 2.2–2.3.

Під інструментами регулювання вуглецеємності металургійної галузі запропоновано розуміти сукупність нормативно-правових, економічних, фінансово-інвестиційних, інформаційних, інфраструктурних, ринкових і соціальних засобів впливу, спрямованих на зміну технологічної структури виробництва, абсолютних і питомих викидів парникових газів, якості вуглецевих даних, вартості та доступності капіталу, умов збуту металопродукції й соціальних наслідків трансформації. Об’єктом такого регулювання є не окрема установка як самодостатня одиниця, а відтворювальна структура галузі, спільна

інфраструктура, ресурсні потоки, технологічні пропорції та умови доступу до внутрішніх і зовнішніх ринків.

Теорія вибору інструментів екологічної політики виходить із необхідності оцінювати їх за результативністю, витратами, інноваційним ефектом, адміністративною здійсненністю, розподільчими наслідками та політичною прийнятністю. Для металургії цього переліку недостатньо без урахування тривалого строку служби активів, високої капіталомісткості, технологічно обумовлених процесних викидів і залежності від енергетичної та логістичної інфраструктури. Ціновий сигнал може підвищити вартість бездіяльності, але не створює автоматично доступної мережевої потужності, водневої інфраструктури, якісного металобрухту, довгострокового фінансування або гарантованого попиту на дорожчу низьковуглецеву сталь [158; 296; 307; 355; 370].

Тому регулювання доцільно будувати як взаємодоповнювальний пакет. Нормативні вимоги встановлюють мінімальні правила і межі відповідальності; MRV та верифікація формують доказову базу; порівняльне оцінювання виявляє технологічний розрив; цінові й фіскальні інструменти змінюють економіку поточних і капітальних рішень; фінансові механізми знижують вартість і ризик довгого капіталу; інструменти попиту забезпечують реалізацію низьковуглецевої продукції; соціальні заходи пом’якшують територіальні та кадрові наслідки. Відсутність одного з елементів послаблює дію інших, тому кількість окремих заходів не є тотожною якості регуляторної системи.

Історична еволюція кліматичного регулювання демонструє перехід від загальних міжнародних зобов’язань до вимог, безпосередньо пов’язаних із технологічними параметрами виробництва, вбудованими викидами продукції, умовами фінансування та доступом до ринку. Паризька угода і національно визначені внески сформували загальну траєкторію скорочення викидів; системи MRV створили основу для доказового обліку; EU ETS перетворила викиди на економічний фактор; CBAM поширив вуглецеві вимоги на імпорт; таксономія, корпоративна звітність і промислова політика посилили зв’язок між кліматичним

результатом, капіталом і попитом. Еволюцію цих режимів та їх значення для України систематизовано у табл. 1.7.

Наведена послідовність показує, що сучасне регулювання формується як багаторівневе поєднання міжнародних, наднаціональних, національних, галузевих і проєктних правил. Загальні кліматичні цілі визначають напрям промислової політики; MRV забезпечує зіставність даних; вуглецеве ціноутворення впливає на витрати; продуктові вимоги визначають доступ до ринку; фінансові критерії спрямовують капітал; політика формування попиту створює комерційний простір для нових технологічних маршрутів. Для України ключовим завданням є не механічне перенесення окремих норм ЄС, а формування послідовної системи, сумісної з відновленням виробництва, енергетичною безпекою і соціальною стійкістю металургійних регіонів.

З 1 січня 2026 р. CBAM функціонує в остаточному періоді, у межах якого імпортерам товарів охоплених секторів необхідно виконувати вимоги щодо авторизації, декларування вбудованих викидів і здавання сертифікатів. Для української металургії це означає, що якість даних про продукцію, технологічна простежуваність і здатність підтвердити фактичні викиди стають безпосередніми чинниками ринкового доступу. CBAM не замінює внутрішню кліматичну політику України, але підвищує економічну ціну її несформованості та прискорює потребу в сумісних правилах обліку, верифікації й визнання сплаченої вуглецевої ціни [199; 204; 242; 352].

Водночас зовнішній вуглецевий тиск не повинен зводити національне регулювання до компенсації витрат експортерів. Довгостроковий ефект виникає лише тоді, коли кошти та стимули спрямовуються на зміну технологічної траєкторії, підвищення енерго- і матеріальної ефективності, розвиток EAF і DRI, модернізацію мереж, підготовку брухту, цифрову простежуваність та формування внутрішнього попиту на низьковуглецеву сталь. Інакше підтримка ризикує законсервувати високовуглецеві активи без зменшення структурної залежності галузі.

Таблиця 1.7

Еволюція регуляторних режимів декарбонізації та їх значення для металургійної галузі України

Етап і регуляторний режим	Основний об'єкт впливу	Ключовий механізм	Економічний сигнал для металургії	Пріоритет для України
Міжнародні кліматичні зобов'язання	національні обсяги викидів і довгострокові політики	цілі кліматичної нейтральності, національно визначені внески, стратегії	орієнтація промислової та інвестиційної політики на низьковуглецеву траєкторію	поєднати післявоєнне відновлення з довгостроковими кліматичними цілями
Національні системи MRV	установки, джерела, матеріальні та енергетичні потоки	плани моніторингу, звітність, акредитація і незалежна верифікація	зменшення інформаційної асиметрії та формування доказової бази для стимулів	відновити повне охоплення установок і забезпечити продуктову простежуваність
EU ETS і галузеві бенчмарки	верифіковані викиди установок і технологічна результативність	cap-and-trade, квоти, аукціони, бенчмарки та ціна вуглецю	включення вуглецевого чинника до поточних та інвестиційних рішень	готувати сумісну СТВ поетапно, без передчасного інвестиційного шоку
CBAM	імпортовані товари та їх вбудовані викиди	авторизація декларантів, звітність, сертифікати, врахування сплаченої ціни	перетворення якості даних і вуглецевого сліду продукції на умову доступу до ринку ЄС	забезпечити сумісність MRV, верифікації та продуктових даних
Таксономія та звітність сталого розвитку	інвестиційні проєкти, компанії, фінансові продукти	технічні критерії, ESG-розкриття, кліматичні ризики та перехідні плани	вплив кліматичної якості проєкту на доступність і вартість капіталу	узгодити критерії державної підтримки та фінансування з доказовим результатом
Промислова політика і формування попиту	технологічні ланцюги, інфраструктура та низьковуглецева продукція	Innovation Fund, Clean Industrial Deal, план дій для сталі, зелені закупівлі, оффтейк	зниження технологічного ризику і створення довгострокового ринку	включити низьковуглецеву сталь до політики відбудови та промислових кластерів
Справедливий перехід	працівники, громади та промислові території	соціальний діалог, перепідготовка, підтримка зайнятості й диверсифікація	зменшення соціальної ціни структурної зміни та підвищення її прийнятності	поєднати модернізацію з регіональними планами зайнятості та розвитку

Джерело: систематизовано та розроблено автором за [193–194; 199; 204; 212; 214; 238; 242; 246; 253; 257–258; 307; 350–352; 359; 370].

Підготовка національної системи торгівлі квотами має здійснюватися поетапно і спиратися на відновлену систему MRV. Відповідно до затвердженої дорожньої карти підготовчий етап охоплює 2025–2027 рр., пілотний запуск передбачено з 2028 р., а повноцінний операційний режим має враховувати умови післявоєнного відновлення. Така послідовність є економічно виправданою лише за умови, що перед запровадженням повного цінового навантаження буде забезпечено реєстр установок, надійність даних, інституційну спроможність, правила використання доходів і механізми захисту інвестиційної та соціальної стійкості [89–90; 105; 110].

Взаємодія кліматичного права ЄС, EU ETS, CBAM, політики сталого фінансування, промислових програм і національних інструментів утворює багаторівневу архітектуру регулювання. Її призначення полягає у перетворенні зовнішніх вимог на внутрішні стимули до технологічного оновлення, а не у простому перенесенні регуляторних витрат на виробників. Концептуальну архітектуру такої взаємодії наведено на рис. 1.8. Вона відображає групи інструментів і напрями їх впливу, але не підмінює стейкхолдерно-координовану модель управління, яка буде розроблена у підрозділі 4.2.

Архітектура на рис. 1.8 відображає подвійну спрямованість регулювання. З одного боку, європейські правила встановлюють вимоги до викидів, даних, фінансування та продукції. З іншого — національна система має перетворювати їх на узгоджені інвестиційні, інфраструктурні й ринкові стимули. Координаційний контур на рисунку є теоретичним елементом систематизації: він показує необхідність поєднання правил і ресурсів, але не визначає остаточного складу органів, відповідальності та процедур прийняття рішень. Ці елементи мають бути обґрунтовані після фактичної оцінки галузі та прогнозування технологічних сценаріїв.

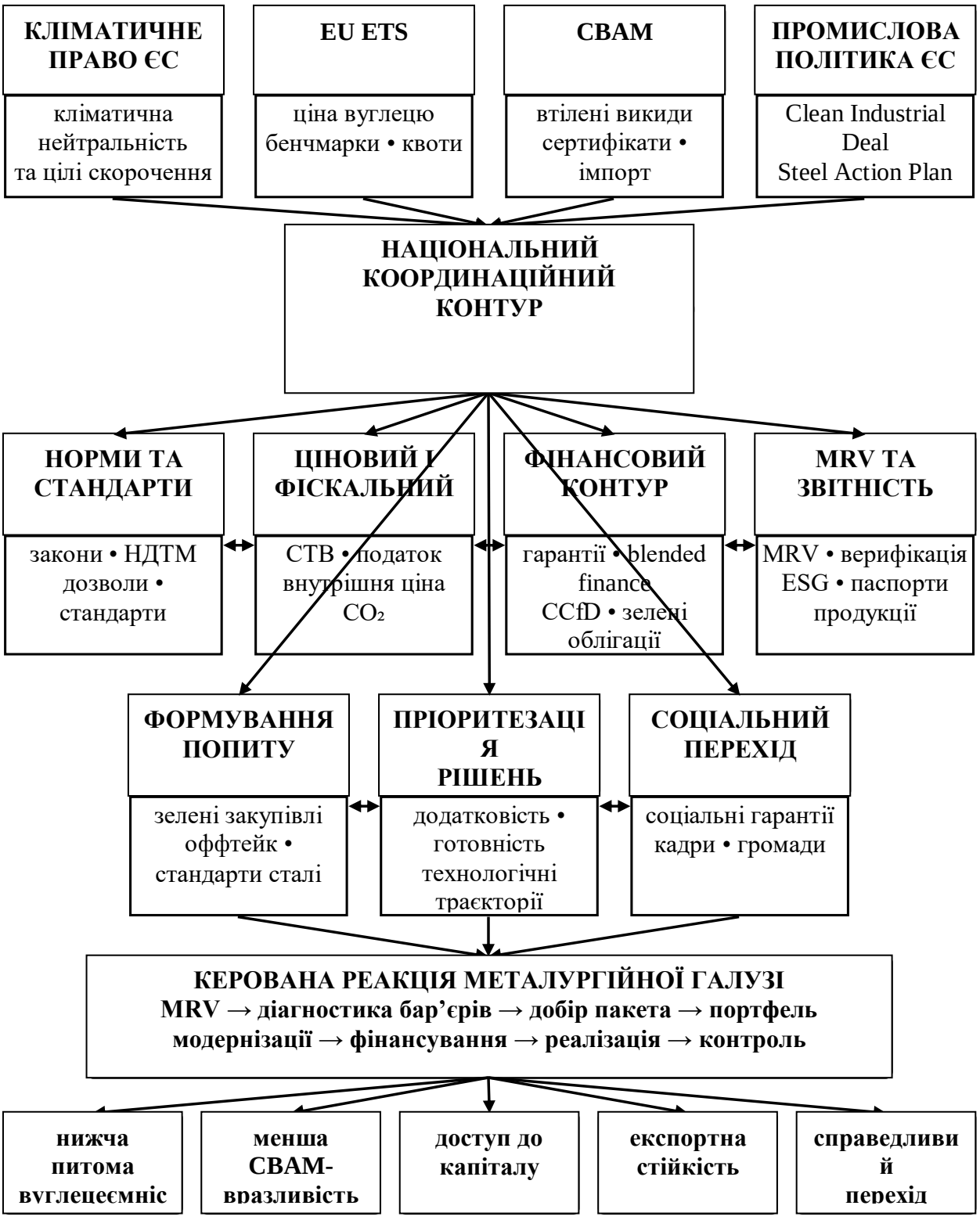


Рис. 1.8. Багаторівнева архітектура інструментів регулювання вуглецеємності металургійної галузі

Джерело: розроблено автором за [11; 53; 55; 59; 89–90; 105; 110; 193–194; 199; 204; 212; 214; 238; 242; 246; 253; 257–258; 311; 329; 345; 350–352; 359; 361; 378].

Нормативно-інституційні інструменти створюють базовий каркас регулювання. До них належать законодавство про MRV і систему торгівлі квотами, інтегровані довкільні дозволи, найкращі доступні технології та методи управління, технічні регламенти, стандарти вуглецевого сліду, акредитація верифікаторів, правила продуктової простежуваності й галузеві вимоги до реконструкції. Їх функція полягає не лише у встановленні обов'язків, а й у забезпеченні передбачуваності інвестицій: проєкт має заздалегідь розуміти, які технічні та інформаційні вимоги діятимуть протягом строку його реалізації.

Економіко-цінові та фіскальні інструменти включають систему торгівлі квотами, вуглецевий податок, внутрішню ціну вуглецю, правила врахування ціни, сплаченої в країні походження, інвестиційні податкові кредити, прискорену амортизацію та цільове використання вуглецевих доходів. Їх спільне призначення полягає у зміні співвідношення між вартістю бездіяльності та вартістю модернізації. Проте надмірне цінове навантаження без доступних альтернатив може спричинити скорочення випуску, переміщення виробництва або втрату експортних позицій замість технологічного оновлення [178; 186; 296; 333; 370].

Фінансово-інвестиційні інструменти покликані подолати розрив між високим CAPEX, тривалим строком окупності, воєнними ризиками та недостатньою ринковою премією низьковуглецевої сталі. До них належать державні й міжнародні гарантії, пільгові кредити, змішане фінансування, зелені та перехідні облігації, гранти на підготовку проєктів, контракти на різницю, страхування політичних ризиків і поетапне фінансування за підтвердженими інвестиційними віхами. Результативність таких інструментів визначається не обсягом виділених коштів, а додатковими приватними інвестиціями та верифікованою зміною технологічної структури.

Інформаційно-звітні інструменти охоплюють MRV, незалежну верифікацію, галузеве порівняльне оцінювання, аудит вуглецевого сліду, ESG-розкриття, кліматичні сценарії та цифрові паспорти продукції. Їх необхідно відрізняти від формального збільшення звітного навантаження. Якісна інформаційна система

має зменшувати асиметрію між державою, виробниками, банками, імпортерами та громадами; забезпечувати однакові межі обліку; унеможливлювати подвійне врахування результатів; створювати підставу для фінансування, ринкового визнання і подальшого коригування політики [194; 214; 258].

Інструменти формування попиту усувають одну з головних перешкод промислової декарбонізації — невизначеність щодо збуту дорожчої продукції. Зелені державні закупівлі, критерії вуглецевого сліду у відбудові, довгострокові оффтейк-контракти, стандарти near-zero steel, вимоги до будівельних матеріалів та добровільні закупівельні коаліції створюють прогнозований ринок. Особливе значення для України має включення вимог до низьковуглецевої сталі у великі інфраструктурні та відбудовчі програми за умови прозорого підтвердження додатковості й недискримінаційного доступу.

Інфраструктурні, інноваційні та соціально-регіональні інструменти забезпечують фізичну і суспільну здійсненність переходу. До них належать модернізація електромереж, розвиток низьковуглецевої генерації, логістики брухту, водневої та CO_2-інфраструктури, фінансування досліджень і демонстраційних проєктів, перепідготовка працівників, підтримка зайнятості, диверсифікація економіки металургійних територій і соціальний діалог. Без цих елементів кліматичне регулювання може залишитися формально правильним, але технічно або соціально нездійсненним.

Систематизацію основних груп інструментів, механізмів їх впливу, об’єктів адресування та критеріїв результативності наведено у табл. 1.8. Таблиця 1.8 підтверджує, що окремий інструмент не може одночасно виконувати всі функції. Нормативні вимоги визначають допустимі параметри, але не фінансують їх досягнення; вуглецева ціна змінює поточні стимули, але не усуває інфраструктурних обмежень; пільговий капітал знижує фінансовий бар’єр, але без MRV не доводить кліматичного результату; зелені закупівлі створюють попит, але потребують стандартів і верифікації; соціальна підтримка зменшує опір

змінам, але не замінює технологічної модернізації. Отже, регуляторна результативність виникає через функціональну комплементарність.

Таблиця 1.8

Група інструментів	Механізм регуляторного впливу	Основні інструменти	Об'єкт адресування	Критерій результативності
1	2	3	4	5
Нормативно-інституційні	установлення обов'язкових правил, меж відповідальності та процедур контролю	MRV; інтегровані дозволи; НДТМ; технічні регламенти; стандарти сліду; акредитація	галузеві правила, установки, технологічні переділи, продукція та верифікатори	повнота охоплення; дотримання вимог; недопущення нового вуглецевого закріплення
Економіко-цінові та фіскальні	включення вартості вуглецю і податкових стимулів до поточних та інвестиційних рішень	СТВ; вуглецевий податок; внутрішня ціна; інвестиційний податковий кредит; амортизація	викиди, інвестиційний портфель, модернізаційні витрати та строк окупності	зниження вуглецеємності без необґрунтованої втрати виробничої життєздатності
Фінансово-інвестиційні	зменшення вартості капіталу, технологічного і політичного ризику	гарантії; пільгові кредити; blended finance; гранти; CCfD; зелені облігації; страхування	підготовлені технологічні та інфраструктурні проєкти, портфелі модернізації	додаткові приватні інвестиції; завершені інвестиційні віхи; введені потужності
Інформаційно-звітні	формування зіставної доказової бази для регулювання, ринку та фінансування	MRV; верифікація; аудит сліду; порівняльне оцінювання; ESG; цифрові паспорти	галузеві дані, установки, продукти, проєкти та ланцюги постачання	якість, повнота, простежуваність і незалежна перевірка даних
Ринкові та попитостимулюючі	створення довгострокового збуту і ринкової винагороди за нижчий вуглецевий слід	зелені закупівлі; стандарти near-zero steel; оффтейк; вуглецеві критерії відбудови	металопродукція, будівельні й інфраструктурні ланцюги, великі покупці	обсяг контрактованого попиту; частка підтвердженої низьковуглецевої продукції

Продовження табл. 1.8

1	2	3	4	5
Інфраструктурні	усунення спільних фізичних обмежень, які не може подолати окремий виробник	мережі; чиста генерація; воднева і CO_2-інфраструктура; логістика та підготовка брухту	промислові кластери, енергетичні вузли, транспортні та сировинні системи	доступна потужність, надійність, строк підключення, використання спільних активів
Інноваційно-технологічні	зниження ризику розроблення, демонстрації та масштабування нових маршрутів	дослідження; пілоти; демонстраційні гранти; технічна допомога; кластерні програми	перспективні технології, H_2-ready активи, цифровізація і ресурсна ефективність	перехід від дослідження до демонстрації та промислового масштабу
Соціально-регіональні	зменшення розподільчих втрат і забезпечення територіальної прийнятності переходу	перепідготовка; підтримка зайнятості; соціальний діалог; диверсифікація громад	працівники, професійні групи, металургійні міста та регіональні ринки праці	збережена зайнятість; охоплення навчанням; нові робочі місця і доходи громад

Систематизація інструментів регулювання вуглецеємності металургійної галузі

Джерело: систематизовано та розроблено автором за [11; 53; 55; 59; 89–90; 105; 110; 158; 178; 186; 193–194; 199; 204; 212; 214; 238; 242; 246; 253; 257–258; 296; 307; 311; 329; 333; 345; 350–352; 355; 359; 361; 370; 378].

Формування пакета має спиратися на принципи додатковості, адресності, умовності, технологічної обґрунтованості, передбачуваності, пропорційності та справедливого розподілу ризиків. Додатковість означає, що підтримка спричиняє результат, який не був би досягнутий без неї. Адресність вимагає спрямування інструменту на конкретний бар’єр, а не на галузь загалом без визначеної мети. Умовність пов’язує ресурс із контрольними результатами. Технологічна обґрунтованість запобігає фінансуванню рішень, що створюють нове довгострокове вуглецеве закріплення. Пропорційність не допускає, щоб регуляторне навантаження перевищувало реальну спроможність переходу.

Вибір пакета доцільно здійснювати за шістьма групами діагностичних ознак: типом основного бар’єру; технологічною готовністю рішення; якістю вихідних даних; часовим горизонтом ефекту; зовнішньоринковою терміновістю;

соціально-регіональними наслідками. Такий підхід не є класифікацією підприємств або готовою шкалою державної підтримки. Він визначає логіку, за якою інформаційний дефіцит потребує насамперед MRV та технічної допомоги, інфраструктурний дефіцит — мережевих і кластерних рішень, високий технологічний ризик — демонстраційного фінансування, дефіцит попиту — закупівель і оффтейку, а соціальний ризик — територіальних угод і перепідготовки.

Окремою умовою є зрілість даних. Високий рівень передбачає визначені межі обліку, автоматизований збір, незалежну верифікацію, продуктову простежуваність і можливість пояснити коригування. Середній рівень характеризується наявністю основних даних, але неповною автоматизацією або продуктовою деталізацією. Низький рівень означає фрагментарність джерел, невизначені межі, відсутність незалежної перевірки та залежність від розрахункових значень. Чим нижча зрілість даних, тим більша частка початкового пакета має спрямовуватися на доказову інфраструктуру, а не на преміальні стимули.

Поєднання типу бар’єру та рівня готовності дозволяє сформувати матрицю комплементарних пакетів, наведену на рис. 1.9. Вона не встановлює кількісних індикативних меж і не дублює авторську зонально-сценарну методику розділу 2. Її функція полягає у теоретичному показі того, як різні групи інструментів змінюються залежно від того, чи домінує інформаційно-інституційний, технологічно-інфраструктурний або фінансово-ринковий бар’єр та наскільки підготовленим є відповідне рішення. Для інформаційно-інституційного бар’єру на низькому рівні готовності пріоритетними є інвентаризація, технічна допомога, правове узгодження і верифікація базових даних; на середньому — цифровізація, аудит меж обліку, стандартизація та галузеве порівняння; на високому — продуктова сертифікація, взаємне визнання даних і використання інформації для доступу до фінансування та ринку.

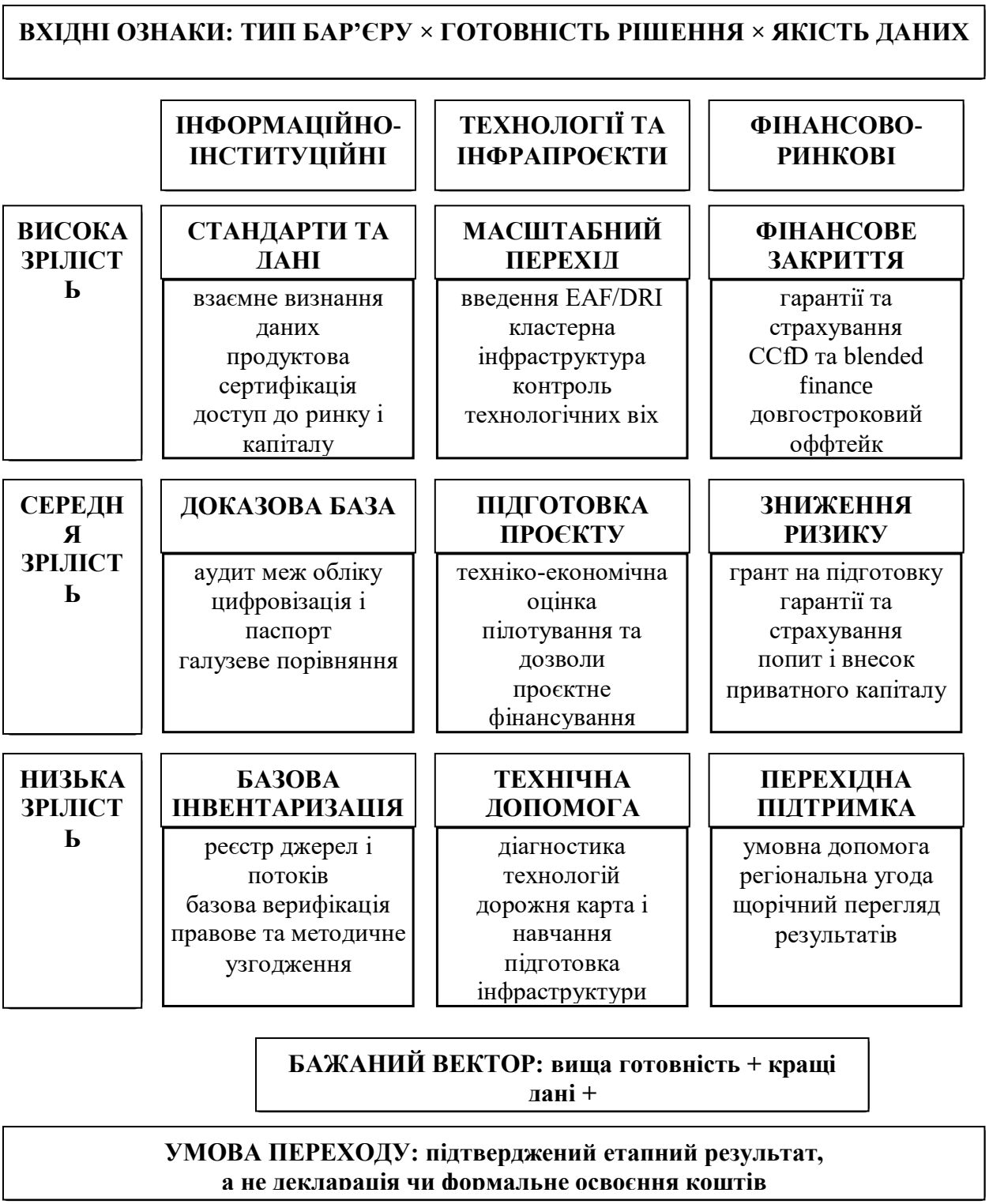


Рис. 1.9. Матриця формування комплементарних пакетів інструментів за типом бар'єру та рівнем готовності переходу

Джерело: розроблено автором за [89–90; 105; 110; 158; 178; 186; 193; 258; 296; 307; 311; 333; 345; 350; 355; 359; 361; 370; 378].

Така послідовність запобігає ситуації, коли преміальні стимули надаються на основі непідтверджених тверджень.

Для технологічно-інфраструктурного і фінансово-ринкового бар'єрів пакет має змінюватися від підготовки техніко-економічного обґрунтування, пілотування та дозвільних процедур до масштабування, фінансового закриття і довгострокового збуту. Державна або міжнародна підтримка доцільна лише за наявності визначеного внеску приватного капіталу, прозорого розподілу ризиків, контрольних інвестиційних віх і перевірюваного галузевого ефекту. Це переводить підтримку з компенсаційної логіки до логіки структурної трансформації.

Зміст пакетів для основних типів бар'єрів, умови їх застосування та очікувані результати систематизовано у табл. 1.9.

Таблиця 1.9

Комплементарні пакети інструментів за основними бар'єрами низьковуглецевої трансформації металургійної галузі

Основний бар'єр	Діагностичні ознаки	Базові інструменти	Доповнювальні інструменти	Очікуваний результат
Інформаційний дефіцит	неповні межі обліку; фрагментарні дані; відсутність незалежної перевірки	інвентаризація; MRV; аудит; технічна допомога; верифікація базового стану	цифровізація; продуктові паспорти; стандартизація; навчання персоналу	доказова база для оцінювання, фінансування та ринкового визнання
Регуляторна несумісність	розбіжності з правилами ЄС; невизначені дозволи; відсутність стандартів	гармонізація законодавства; НДТМ; акредитація; технічні регламенти	перехідні строки; методичні роз'яснення; регуляторні пісочниці	передбачуване правове середовище та зниження транзакційних витрат
Неефективність чинних маршрутів	високі енерговитрати; втрати тепла і газів; застарілі агрегати	енергоефективність; утилізація ресурсів; цифрове управління; інтегровані дозволи	пільговий кредит; податковий стимул; контрольний план заміщення активів	короткострокове скорочення витрат і підготовка до глибшої трансформації

Продовження табл. 1.9

1	2	3	4	5
Структурна зміна технології	потреба переходу до EAF, DRI або H_2-ready; високий технологічний ризик	техніко-економічне обґрунтування; пілот; демонстраційний грант; поетапне фінансування	державні гарантії; CCfD; кластерна інфраструктура; оффтейк	введення нових маршрутів без довгострокового вуглецевого закріплення
Енергетичне та інфраструктурне обмеження	дефіцит мережі; нестабільність постачання; відсутність водневої або сировинної логістики	кластерне планування; модернізація мереж; PPA; спільні інфраструктурні проєкти	гарантії; концесійні механізми; резервування; накопичення енергії	фізична здійсненність електрифікації та нових технологічних маршрутів
Висока вартість і ризик капіталу	негативний інвестиційний розрив; довга окупність; воєнні та політичні ризики	гарантії; blended finance; страхування; пільгові кредити; гранти на підготовку	внесок приватного капіталу; поетапне фінансування; незалежний технічний аудит	фінансове закриття пріоритетних проєктів і зниження вартості капіталу
Невизначеність попиту	відсутність премії; короткі контракти; ризик непродажу дорожчої продукції	зелені закупівлі; довгі оффтейк-контракти; стандарти низьковуглецевої сталі	критерії відбудови; закупівельні коаліції; продуктові декларації	передбачуваний збут і можливість повернення інвестицій
Соціально-регіональний ризик	можливе скорочення зайнятості; дефіцит компетенцій; залежність громад від одного виробництва	плани справедливого переходу; перепідготовка; соціальний діалог; підтримка зайнятості	диверсифікація громад; регіональні фонди; участь працівників у плануванні	соціально прийнятна трансформація і збереження територіальної стійкості
Комбінований системний бар'єр	одночасний дефіцит даних, інфраструктури, капіталу, попиту і компетенцій	поетапна галузева дорожня карта; портфельне фінансування; координаційна платформа	умовна підтримка; міжнародне партнерство; щорічний перегляд; регуляторні шлюзи	узгоджена зміна технологічної структури та спільних умов відтворення галузі

Джерело: розроблено автором за [11; 53; 55; 59; 89–90; 105; 110; 158; 178; 186; 193–194; 199; 204; 214; 238; 242; 246; 253; 257–258; 296; 307; 311; 329; 333; 345; 350; 352; 355; 359; 361; 370; 378].

Систематизація у табл. 1.9 підкреслює, що підтримка повинна мати контрактно-умовну природу, але в цьому підрозділі така теза розглядається лише як принцип інструментального дизайну. Публічний або міжнародний ресурс має бути пов’язаний із базовим станом, контрольними етапами, правилами перевірки, наслідками невиконання та розподілом результатів. Детальний розподіл функцій між державою, бізнесом, фінансовими установами, громадами, працівниками, науковими організаціями та міжнародними партнерами буде предметом стейкхолдерно-координованої моделі у підрозділі 4.2.

Практичне застосування пакетного підходу потребує послідовного циклу. На першому етапі формується вихідна база щодо виробництва, технологічних маршрутів, енергетичних і матеріальних потоків, викидів, ринків, інвестиційних проєктів та соціальної структури. На другому встановлюється головний бар’єр і перевіряється якість даних. На третьому визначаються зовнішня терміновість, строк досягнення результату і ризик відтворення високовуглецевих активів. На четвертому пріоритезуються технологічні та інфраструктурні рішення за їх внеском у зміну галузевої структури.

На п’ятому етапі формується пакет, у якому обов’язкова вимога поєднується зі стимулом, фінансовим механізмом, інструментом попиту, інформаційним забезпеченням і, за потреби, соціально-регіональною підтримкою. На шостому розподіляються ресурси, ризики, відповідальність і контрольні віхи. На сьомому здійснюються реалізація, MRV, незалежна перевірка і оцінювання фактичних ефектів. Восьмий етап передбачає коригування пакета, перерозподіл підтримки або припинення інструменту, який не забезпечує додаткового результату.

Регуляторний цикл має бути повторюваним, а не одноразовим відбором проєктів. Періодичний перегляд зіставляє фактичний результат із вихідною та цільовою траєкторіями, встановлює причини відхилень і визначає, чи потрібне коригування технологічного рішення, фінансування, строків або зовнішніх умов. Важливо розрізняти відхилення, зумовлені неналежним управлінням, і

відхилення, спричинені воєнними пошкодженнями, дефіцитом електроенергії, зміною ринкової кон’юнктури або затримкою спільної інфраструктури.

Контрольні точки доцільно формувати як послідовні регуляторні шлюзи. Перехід до наступного етапу допускається лише після підтвердження мінімального результату: наявності верифікованого базового рівня; техніко-економічної здійсненності; забезпеченості енергією та сировиною; завершення дозвільних процедур; визначеного фінансового плану; соціально прийнятної траєкторії; підтвердження введення потужності та її фактичного ефекту. Така конструкція зменшує ризик авансового фінансування декларативних або технологічно несумісних рішень.

Окремою методичною вимогою є розмежування реального скорочення викидів і їх територіального або ланцюгового переміщення. Закриття української потужності з подальшим імпортом сталі з більш вуглецеємного маршруту може покращити національну статистику, але не забезпечити глобального кліматичного результату та водночас погіршити зайнятість, торговельний баланс і промислову безпеку. Тому інструменти повинні оцінюватися за впливом на повний галузевий ланцюг, обсяг виробництва, вбудовані викиди продукції та ризик вуглецевого витоку.

Воєнний і післявоєнний контекст потребує спеціальної перехідної конструкції. Пошкодження активів, дефіцит енергії, висока вартість капіталу та невизначеність попиту знижують здатність галузі швидко реагувати на цінові сигнали. Це обґрунтовує тимчасове посилення гарантій, страхування ризиків, грантів на підготовку проєктів, кластерної інфраструктури й соціального захисту. Водночас перехідність не повинна перетворюватися на безстрокове субсидування: кожен виняток має містити строк, ціль, умови завершення та доказ того, що підтримка не відтворює довгострокове вуглецеве закріплення.

Послідовність діагностики, вибору, реалізації та коригування інструментів регулювання вуглецеємності металургійної галузі наведено на рис. 1.10.



Рис. 1.10. Алгоритм вибору, реалізації та коригування інструментів регулювання вуглецеємності металургійної галузі

Джерело: розроблено автором за [11; 53; 55; 59; 89–90; 105; 110; 158; 178; 186; 193; 258; 296; 307; 311; 329; 333; 345; 350; 355; 359; 361; 370; 378].

Рис. 1.10 демонструє, що дані є початковим і завершальним елементом регуляторного циклу. На вході вони характеризують виробничу структуру, викиди, ресурсні обмеження, ринки, проєкти та соціальні наслідки. У процесі реалізації дані підтверджують виконання контрольних віх, а на виході стають підставою для продовження, коригування або припинення підтримки. Така логіка створює зв'язок між інформаційними, економічними, технологічними та соціальними інструментами й запобігає оцінюванню політики лише за сумою освоєних коштів.

Інституційний розподіл функцій має запобігати концентрації всіх рішень в одному органі. Кабінет Міністрів визначає загальні пріоритети й міжвідомчу координацію; органи кліматичної політики забезпечують MRV, верифікацію та підготовку СТВ; економічний блок узгоджує промислову, інвестиційну, торговельну й закупівельну політику; енергетичні інституції відповідають за мережеві та генераційні передумови; фінансові установи оцінюють ризики й структурують капітал; галузеві організації агрегують дані та формують спільні стандарти. У цьому підрозділі визначаються лише функціональні групи, тоді як повна стейкхолдерна конфігурація буде сформована після фактичних і прогнозних розрахунків.

Оцінювання інструментів доцільно здійснювати за такими критеріями: екологічна результативність; економічна ефективність; інноваційний і структурний ефект; мобілізація приватного капіталу; адміністративна здійсненність; сумісність із правом і ринками ЄС; енергетична та промислова безпека; розподільча справедливість; соціально-регіональна прийнятність; стійкість результату після завершення підтримки. Використання лише одного критерію може призвести до хибного вибору: найдешевший захід не завжди забезпечує структурну зміну, а найбільше скорочення викидів може бути соціально або інфраструктурно нездійсненним у визначений строк.

Ключовими результатами регуляторного пакета мають бути зниження питомої та абсолютної вуглецеємності за відновлення або збереження економічно

обґрунтованого випуску; зміна часток технологічних маршрутів; підвищення охоплення верифікованими даними; зменшення зовнішньої вуглецевої вразливості; введення модернізованих потужностей; мобілізація приватного капіталу; збереження зайнятості та створення нових компетентностей. Конкретні показники, межі їх порівняння, формули та інформаційні джерела повинні визначатися у методичному розділі, а не встановлюватися декларативно на теоретичному етапі.

Сформована система інструментів забезпечує перехід до розділу 2. Для адресного добору пакета недостатньо знати загальний перелік регуляторних засобів. Необхідно оцінити економіко-технологічний потенціал низьковуглецевого розвитку; визначити відтворювані індикативні показники питомих викидів; сформувати галузевий бенчмаркінг; розробити методику, яка пов’язує фактичний стан, технологічну структуру, якість даних і сценарні результати з управлінськими рішеннями. Саме ці завдання послідовно вирішуються у підрозділах 2.1–2.3.

Отже, в умовах євроінтеграційних кліматичних викликів регулювання вуглецеємності металургійної галузі має ґрунтуватися не на одному фіскальному або адміністративному заході, а на комплементарному пакеті нормативних, економічних, фінансових, інформаційних, інфраструктурних, ринкових і соціальних інструментів. Його теоретичними принципами є доказовість, додатковість, умовність, технологічна обґрунтованість, передбачуваність, пропорційність, сумісність із правилами ЄС та справедливий розподіл ризиків. Така систематизація завершує теоретичний розділ і створює основу для кількісного оцінювання потенціалу, формування індикативного коридору та розроблення авторської галузевої зонально-сценарної методики.

Висновки до розділу 1

1. У розділі систематизовано еволюцію наукових підходів до сталого розвитку металургійної галузі. Встановлено послідовне розширення предмета управління: від контролю локального забруднення і ресурсозбереження до промислової екології, циркулярності, соціотехнічних переходів та кліматично сумісної конкурентоспроможності.

Уточнено, що сталий розвиток металургії не зводиться до екологічної модернізації окремих підприємств. Його об’єктом є структура відтворення галузі, технологічні пропорції, спільна інфраструктура, ресурсні потоки, експортні умови, інвестиційна спроможність та соціально-регіональна стійкість.

2. Розкрито особливості енергопереходу, пов’язані з технологічною роллю вуглецю, тривалим строком експлуатації агрегатів, високою капіталомісткістю та залежністю від мереж, сировини й логістики. Доведено, що підвищення енергоефективності без зміни технологічних маршрутів не гарантує досягнення низьковуглецевої траєкторії.

3. Систематизовано нормативно-правові, економічні, фінансово-інвестиційні, інформаційні, інфраструктурні, ринкові й соціальні інструменти. Обґрунтовано необхідність їх пакетного застосування, оскільки ціновий сигнал не створює автоматично доступної енергії, сировини, довгого капіталу, перевірених даних або попиту на низьковуглецеву продукцію.

Сформований теоретичний базис забезпечив перехід до оцінювання економіко-технологічного потенціалу, розроблення індикативних меж та авторської методики галузевого регулювання в наступному розділі.

РОЗДІЛ 2
МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ВУГЛЕЦЕЄМНОСТІ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ

2.1. Економіко-технологічний потенціал низьковуглецевого розвитку металургійної галузі

Систематизація інструментів регулювання, здійснена у підрозділі 1.3, визначила, якими засобами держава, галузеві інституції, фінансовий сектор і ринок можуть впливати на технологічну структуру, ресурси, дані, капітал та соціальні умови металургійного виробництва. Перехід до методичного розділу потребує встановлення того, на яку реальну виробничу й трансформаційну базу може бути спрямований такий вплив. Тому у підрозділі 2.1 досліджується економіко-технологічний потенціал низьковуглецевого розвитку металургійної галузі як передумова подальшого формування індикативних показників і галузевої зонально-сценарної методики.

Методологічно некоректно ототожнювати потенціал із сумою паспортних потужностей, запасів сировини або окремих технологічних рішень. Наявність доменної печі, електропечі, родовища залізної руди чи доступу до електроенергії ще не означає спроможності забезпечити конкурентний низьковуглецевий випуск. Ресурс стає елементом потенціалу лише тоді, коли він може бути включений до узгодженого технологічного маршруту, забезпечений інфраструктурою, підтверджений даними, оформлений як інвестиційний проєкт і реалізований без неприйнятного соціального або енергетичного ризику [158; 174; 311–312; 314; 319; 345; 347; 355; 364; 374; 378].

Запропоновано визначати економіко-технологічний потенціал низьковуглецевого розвитку металургійної галузі як сукупну здатність її виробничих, технологічних, енергетичних, сировинних, інвестиційних,

інформаційних, інституційних і кадрових складових забезпечувати відновлення та довгострокове зростання випуску за одночасного скорочення питомої й абсолютної вуглецеємності, підвищення ресурсної ефективності, верифікованості результатів і ринкової стійкості. На відміну від ресурсного трактування, це визначення акцентує не на тому, чим галузь формально володіє, а на її здатності перетворювати наявні можливості на вимірюваний результат.

У структурі категорії необхідно розмежовувати виробничий і трансформаційний виміри. Виробничий потенціал характеризує можливість випуску чавуну, сталі та прокату за наявного складу активів, персоналу і логістичних зв'язків. Трансформаційний потенціал відображає здатність змінювати технологічні маршрути, розширювати використання брухту та прямовідновленого заліза, інтегрувати низьковуглецеву електроенергію, упроваджувати НДТМ, забезпечувати MRV і переводити технологічні рішення у фінансово закриті проєкти. Для сталого розвитку важливе поєднання обох вимірів: зростання випуску без технологічного оновлення посилює вуглецеву та експортну вразливість, тоді як скорочення викидів лише через деіндустріалізацію руйнує економічну й соціальну основу галузі.

За ступенем включення ресурсів до процесу трансформації доцільно виокремлювати наявний, мобілізований і реалізований потенціал. Наявний потенціал охоплює фізичні активи, ресурси, компетентності та інституційні можливості, що існують у певний момент. Мобілізований потенціал формується після їх включення до техніко-економічно обґрунтованих проєктів, інфраструктурних програм, фінансових схем, дозвільних процедур і дорожніх карт. Реалізований потенціал проявляється у введених або модернізованих потужностях, відновленому випуску, зміненій структурі технологічних маршрутів, скорочених викидах, верифікованій продукції та стійкій зайнятості. Таке розмежування не потребує умовного інтегрального індексу: воно перевіряється за фактичними результатами та завершеними етапами проєктного циклу.

Для України оцінювання потенціалу має враховувати воєнний структурний розрив. Частина активів зруйнована або перебуває на тимчасово окупованих територіях, окремі виробничо-логістичні ланцюги втратили цілісність, енергопостачання залишається вразливим, а вартість капіталу відображає високі воєнні й політичні ризики. Одночасно збережена сировинна база, інженерні компетентності, близькість до ринку ЄС, значна частка безвуглецевої генерації та можливість відбудовувати активи за принципом «відбудувати краще, ніж було» створюють вікно для зміни технологічної траєкторії. Отже, довоєнний масштаб виробництва є базою порівняння, але не моделлю майбутнього відновлення [75; 105; 110; 126; 319; 359; 369].

Таблиця 2.1

Позиції окремих виробників у світовому випуску сирої сталі у 2025 р.

Країна / світ	Випуск сирої сталі у 2025 р., млн т	Частка світового випуску, %	Позиція у 2025 р.	Аналітичне значення для оцінювання потенціалу України
Світ	1849,4	100,00	—	масштаб глобального конкурентного середовища
Китай	960,8	51,95	1	домінування за масштабом і прискорена модернізація технологічних маршрутів
Індія	164,9	8,92	2	швидке нарощування нових потужностей і зростання конкуренції
США	82,0	4,43	3	значна частка електросталеплавильного виробництва та промислова підтримка
Японія	80,7	4,36	4	висока технологічна зрілість за складності глибокої декарбонізації
Південна Корея	61,9	3,35	6	експортна орієнтація і розвиток водневих та електричних маршрутів
Туреччина	38,1	2,06	7	важливий регіональний конкурент із високою роллю EAF
Німеччина	34,1	1,84	8	масштабні DRI/H_2-проєкти за високої вартості енергії
Україна	7,4	0,40	23	значний розрив із довоєнним масштабом і потреба у якісно новій моделі відновлення

Джерело: складено та розраховано автором за даними World Steel Association [375; 379].

Світове виробництво сирої сталі у 2025 р. становило 1849,4 млн т. Дані табл. 2.1 свідчать про надзвичайно високу концентрацію галузі: понад половину світового випуску забезпечив Китай, тоді як частка України становила близько

0,40%. Україна посіла 23-тє місце серед країн-виробників сталі. Для оцінювання потенціалу це означає, що відновлення здійснюватиметься у середовищі, де великі конкуренти одночасно нарощують масштаб, модернізують технологічні маршрути та отримують державну підтримку. Повернення до довоєнної структури без зниження вуглецеємності не відновить попередньої конкурентної позиції [375; 379].

Національна динаміка підтверджує відмінність між короткостроковим пожвавленням і повним відновленням. У 2025 р. в Україні вироблено 7,88 млн т чавуну, 7,41 млн т сирої сталі та 6,521 млн т готового прокату. Порівняно з 2024 р. випуск чавуну зріс на 11,1%, прокату — на 4,8%, тоді як виплавка сталі скоротилася на 2,2%. Відносно 2021 р. збережено лише 37,2% випуску чавуну, 34,7% сталі та 34,2% прокату [97–98].

Спираючись на базисний індексний метод, застосований у методологічних положеннях Державної служби статистики України для порівняння фізичних обсягів виробництва [37], у дослідженні використано коефіцієнт відновлення виробництва Krec. Він визначається як відношення фактичного випуску відповідного виду продукції у році оцінювання до випуску базового 2021 р. і подається у відсотках. Показник характеризує лише кількісно збережений масштаб і не є показником технологічної або кліматичної ефективності.

У подальшому аналізі Krec застосовується разом із показниками структури випуску, технологічних маршрутів, абсолютних викидів і питомої вуглецеємності. Це дозволяє відрізняти відновлення виробничої бази від якісної низьковуглецевої трансформації та не трактувати скорочення виробництва як автоматичне поліпшення сталості галузі.

П’ятирічний ряд у табл. 2.2 фіксує три різні фази. У 2022 р. відбулося різке руйнування сформованого виробничого контуру; у 2023 р. виробництво стабілізувалося на низькому рівні; у 2024–2025 рр. з’явилися ознаки часткового відновлення. Водночас співвідношення між чавуном, сталлю і прокатом залишається нестійким. Випереджальне зростання чавуну за скорочення сталі у

2025 р. може відображати зміну завантаження переділів, експорт напівфабрикатів, енергетичні чи логістичні обмеження. Тому потенціал необхідно оцінювати не за одним обсягом випуску, а за узгодженістю всього ланцюга створення доданої вартості.

Таблиця 2.2

Динаміка виробництва основних видів металургійної продукції України у 2021–2025 рр. та відхилення 2025 р. від 2021 і 2024 рр.

Показник, млн т	2021 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2025 р.	Відхилення 2025 р. від 2021 р.		Відхилення 2025 р. від 2024 р.	
						+/−, млн т	%	+/−, млн т	%
Виплавка чавуну	21,17	6,39	6,00	7,09	7,88	−13,29	−62,8	+0,79	+11,1
Виплавка сирої сталі	21,37	6,26	6,23	7,58	7,41	−13,96	−65,3	−0,17	−2,2
Виробництво готового прокату	19,080	5,350	5,372	6,222	6,521	−12,559	−65,8	+0,299	+4,8

Джерело: складено та розраховано автором за даними ОП «Укрметалургпром» та World Steel Association [97–98; 379].

Відновлення фізичного випуску не гарантує його сумісності з новими умовами міжнародної торгівлі. За даними World Steel Association, середня світова повна інтенсивність парникових газів у виробництві сталі у 2024 р. становила 2,18 т CO_2-екв. на тонну сирої сталі, а маршрутні середні істотно відрізнялися залежно від технології, структури шихти та джерел енергії. Отже, однакова тонна сталі може мати принципово різну кліматичну, фінансову та ринкову якість [374; 378].

Економіко-технологічний потенціал доцільно розглядати як конфігурацію взаємопов’язаних складових, а не як одну узагальнену оцінку.

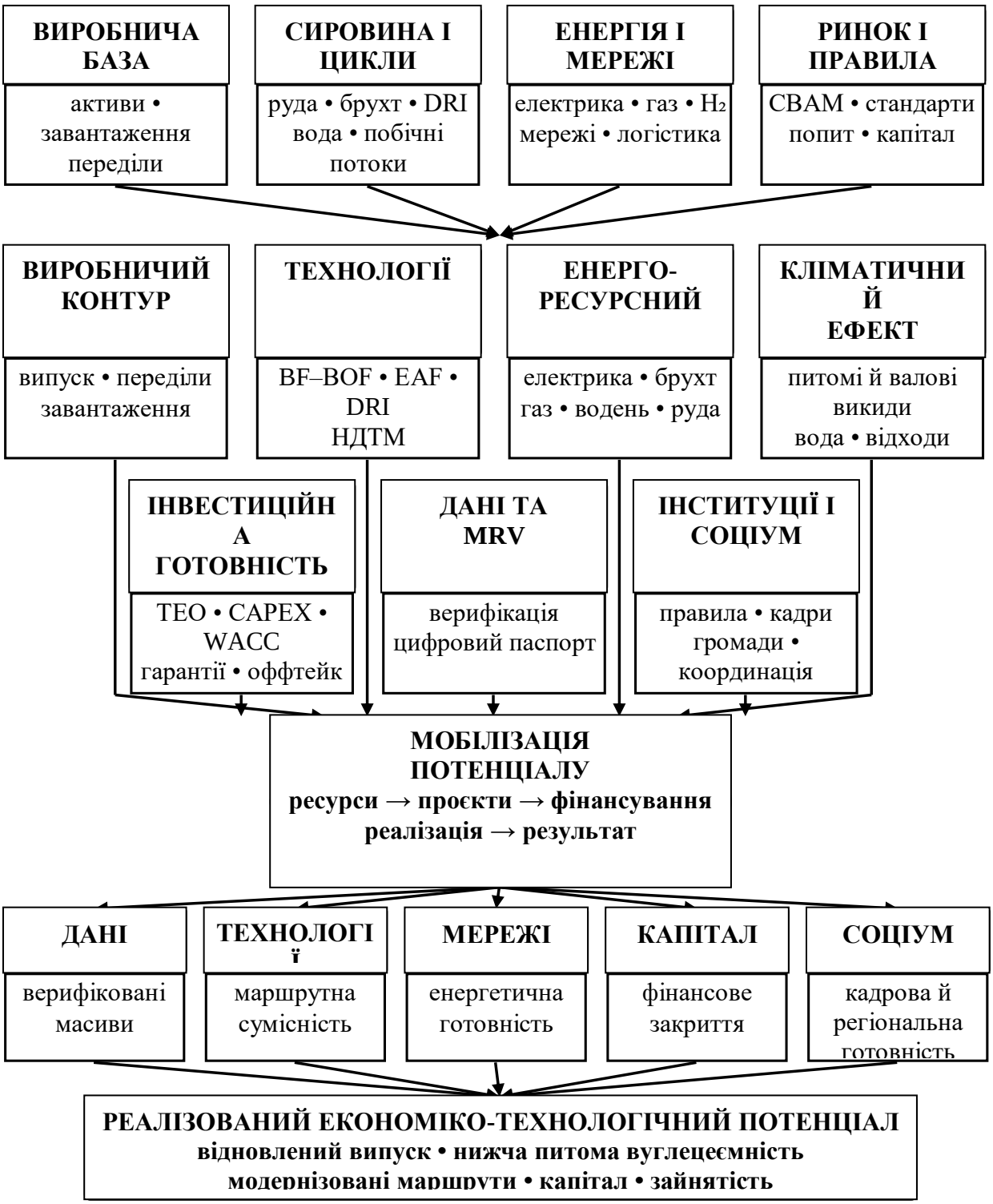


Рис. 2.1. Архітектура економіко-технологічного потенціалу низьковуглецевого розвитку металургійної галузі

Джерело: розроблено автором за [53; 75; 105; 110; 126; 158; 174; 196; 213; 249; 311–312; 314; 319; 329; 345; 347; 355; 359; 364; 369; 374; 378].

Його архітектура має показувати, які ресурси та компетентності наявні, які з них можуть бути мобілізовані, які критичні обмеження перешкоджають реалізації та за якими результатами підтверджується фактична трансформація. Такий підхід забезпечує причинну інтерпретацію і дає змогу пов’язати кожне вузьке місце з конкретним управлінським рішенням. Архітектура на рис. 2.1 поєднує сім основних складових. Виробнича спроможність характеризує діючі та відновлювані активи, їх завантаження і здатність формувати завершений ланцюг «чавун — сталь — прокат». Технологічна зрілість відображає структуру маршрутів, рівень застосування НДТМ, можливість електрифікації та ризик довгострокового вуглецевого закріплення. Енерго-ресурсна забезпеченість охоплює електроенергію, газ, водень, брухт, залізорудну сировину, воду і логістику. Кліматично-екологічна результативність характеризує питомі й абсолютні викиди, матеріальну ефективність, воду, відходи та відповідність екологічним вимогам.

Інвестиційна готовність визначається підготовленістю техніко-економічного обґрунтування, CAPEX, вартістю капіталу, структурою гарантій, страховим покриттям і наявністю довгострокового попиту. Інформаційна складова охоплює MRV, незалежну верифікацію, автоматизацію обліку та продуктову простежуваність. Інституційно-соціальна спроможність включає передбачуваність правил, координацію державних і ринкових учасників, кадрову забезпеченість, перепідготовку працівників та стійкість металургійних громад.

Принциповою властивістю потенціалу є некомпенсованість критичних обмежень. Значна виробнича база не може компенсувати відсутність мережевої потужності, якісного брухту, верифікованих даних або фінансового закриття. Аналогічно технологічно перспективний проєкт не стає реалізованим потенціалом, якщо не має дозволів, кадрового забезпечення чи суспільної прийнятності. Саме тому в роботі не застосовується умовний інтегральний індекс із невизначеними вагами: результатом оцінювання є профіль складових, перелік вузьких місць і ступінь проєктної готовності.

Інформаційна база оцінювання повинна відповідати трьом вимогам. По-перше, межі даних мають бути узгодженими за об’єктом: галузь, технологічний маршрут, установка, продукт або проєкт. По-друге, необхідно розмежовувати фактичні верифіковані, офіційні статистичні, розрахункові та сценарні значення. По-третє, кожен показник повинен мати визначене джерело, період, одиницю виміру і спосіб використання. Змішування фактичних і прогнозних даних у межах однієї таблиці без відповідного маркування створює хибну точність.

Показники потенціалу виконують різні функції і не повинні механічно агрегуватися. Обсяги випуску та коефіцієнт відновлення характеризують фізичну базу; частки технологічних маршрутів — структурну здатність до зміни; енергетичні й сировинні параметри — ресурсну здійсненність; питомі та абсолютні викиди — кліматичний результат; CAPEX і вартість капіталу — фінансову доступність; MRV — доказовість; зайнятість і потреба у перепідготовці — соціальну прийнятність. Їх спільний аналіз формує причинний профіль галузі, а не рейтинг із одним числовим підсумком.

Виробнича спроможність оцінюється за п’ятирічною динамікою випуску, збереженим масштабом відносно базового року, завантаженням активів, співвідношенням переділів і здатністю виробляти продукцію з вищою доданою вартістю. У межах підрозділу 2.1 ці показники визначають вихідну базу; детальна фактична оцінка за 2021–2025 рр. здійснюється у підрозділі 3.1.

Технологічна зрілість характеризується не лише часткою електросталеплавильного виробництва. Необхідно враховувати структуру шихти, стан агломераційного, коксохімічного, доменного, сталеплавильного і прокатного переділів, охоплення НДТМ, можливість використання DRI, готовність активів до водню, ступінь безперервного лиття та цифрового контролю. Це дозволяє відокремити локальне підвищення ефективності від зміни базового технологічного маршруту.

Енерго-ресурсна забезпеченість визначає фізичну здійсненність трансформації. Розширення EAF потребує доступної мережевої потужності,

стабільної низьковуглецевої електроенергії та підготовленого брухту. DRI-EAF додатково залежить від якості залізорудної сировини, газу або водню, води та логістики. Тому ресурсний потенціал оцінюється не за загальним національним запасом, а за доступним для конкретних промислових вузлів обсягом, якістю, ціною і строком підведення.

Кліматично-екологічна результативність повинна характеризувати не лише скорочення валових викидів. Падіння виробництва може зменшити абсолютні викиди без технологічного поліпшення. Для управління необхідно одночасно відстежувати питомі викиди, абсолютні викиди, межі обліку, структуру маршрутів, використання вторинних ресурсів, водоспоживання, відходи та виконання вимог НДТМ. Формалізація показника питомої вуглецеємності й індикативних меж здійснюється у підрозділі 2.2.

Інвестиційно-фінансова складова відображає здатність перетворити технологічну можливість на проєкт, придатний для фінансування. До її характеристик належать повнота ТЕО, CAPEX, операційні витрати, WACC, строк будівництва, ризик недовантаження, доступність гарантій, страхування воєнних ризиків, частка приватного капіталу та наявність оффтейку. Висока технологічна ефективність без фінансового закриття означає підготовлений, але ще не мобілізований потенціал.

Інформаційно-цифрова складова забезпечує доказовість усіх інших результатів. Вона включає межі установок і продуктів, плани моніторингу, контроль якості первинних даних, незалежну верифікацію, автоматизований облік матеріальних та енергетичних потоків, цифровий паспорт продукції і можливість простежити походження вбудованих викидів. Її значення зростає в умовах CBAM, сталого фінансування й контрактів на низьковуглецеву сталь.

Інституційно-соціальна спроможність визначає, чи може модернізація бути реалізована в узгоджених строках.

Таблиця 2.3

Система складових і показників економіко-технологічного потенціалу низьковуглецевого розвитку

Складова потенціалу	Основні вимірювані характеристики	Пріоритетна інформаційна база	Місце подальшого використання	Управлінське значення
Виробнича спроможність	випуск чавуну, сталі й прокату; Krec; завантаження; співвідношення переділів	галузева статистика; дані об'єднань; агреговані корпоративні розкриття	3.1; 3.2	визначення масштабу збереженої бази і виробничого розриву
Технологічна зрілість	частки BF–BOF, EAF, DRI-EAF; НДТМ; безперервне лиття; цифровий контроль	World Steel Association; BAT; технічні паспорти та реєстри установок	2.2; 3.1; 4.1	виявлення структурного розриву і ризику lock-in
Енерго-ресурсна забезпеченість	електроенергія; газ; водень; брухт; DRI-сировина; вода; логістика	енергетична статистика; оператори мереж; OECD; IEA; галузеві баланси	3.2; 4.1; 5.2	перевірка фізичної здійсненності зміни технологічного маршруту
Кліматично-екологічна результативність	питомі й абсолютні викиди; вода; відходи; матеріальна ефективність; НДТМ	MRV; національна інвентаризація; продуктова верифікація; інтегровані дозволи	2.2; 3.2; 3.3	порівняння з індикативними межами та оцінювання фактичного ефекту
Інвестиційна готовність	ТЕО; CAPEX; WACC; строк; гарантії; страхування; оффтейк; частка приватного капіталу	проєктна документація; банки; МФО; державні програми; інвестори	4.1; 5.2	переведення технологічної можливості у фінансово закритий проєкт
Дані та простежуваність	охоплення MRV; незалежна верифікація; автоматизація; продуктовий паспорт	реєстр установок; звіти операторів; верифікатори; цифрові системи	3.2; 3.3; 4.3	доказовість результату, CBAM-готовність і зменшення інформаційної премії
Інституційно-соціальна спроможність	дозвільна готовність; координація; кадри; перепідготовка; зайнятість; стійкість громад	законодавство; центральні й місцеві органи; освітні установи; соціальний діалог	4.2; 5.1; 5.3	здійсненність переходу та справедливий розподіл його наслідків

Джерело: систематизовано та розроблено автором за [53; 75; 105; 110; 126; 158;174; 196; 213; 249; 311–312; 314; 319; 329; 345; 347; 355; 359; 364; 369; 374; 378].

Вона охоплює якість дозвільних процедур, узгодженість промислової, енергетичної та кліматичної політики, розподіл відповідальності за спільну інфраструктуру, наявність кваліфікованих кадрів, програми перепідготовки і здатність громад адаптуватися до зміни зайнятості та податкової бази. Ця складова не є зовнішнім доповненням до технології, а умовою її фактичного введення.

Таким чином, методичним результатом підрозділу є не розрахунок умовного бала, а формування відтворюваного профілю потенціалу: вихідна виробнича база; технологічна структура; енергетичні й сировинні обмеження; кліматичні параметри; інвестиційна готовність; якість даних; інституційні та соціальні умови. Для кожної складової визначаються фактичні показники, джерела інформації, основна прогалина та місце використання у наступних розрахунках.

Система у табл. 2.3 забезпечує наскрізність дослідження. Вона не передбачає одночасного використання всіх можливих показників на кожному рівні. Для галузевої оцінки застосовуються агреговані обсяги, технологічні частки, інфраструктурні та інституційні характеристики; для продуктового контуру — вбудовані викиди й простежуваність; для проєктного контуру — техніко-економічна готовність, фінансування, строки, ризики і прогнозований ефект. Дані підприємств використовуються як первинний масив, але висновок формується на галузевому рівні.

Показники поділяються на параметри стану, траєкторії та готовності. Параметри стану фіксують фактичний випуск, структуру маршрутів, ресурсне забезпечення й викиди у певному році. Параметри траєкторії показують зміни протягом щонайменше п’яти років і дають змогу відокремити стійку тенденцію від короткострокового коливання. Параметри готовності підтверджують проходження проєктних етапів: базова верифікація, ТЕО, дозвіл, приєднання, фінансове закриття, введення потужності та верифікований результат.

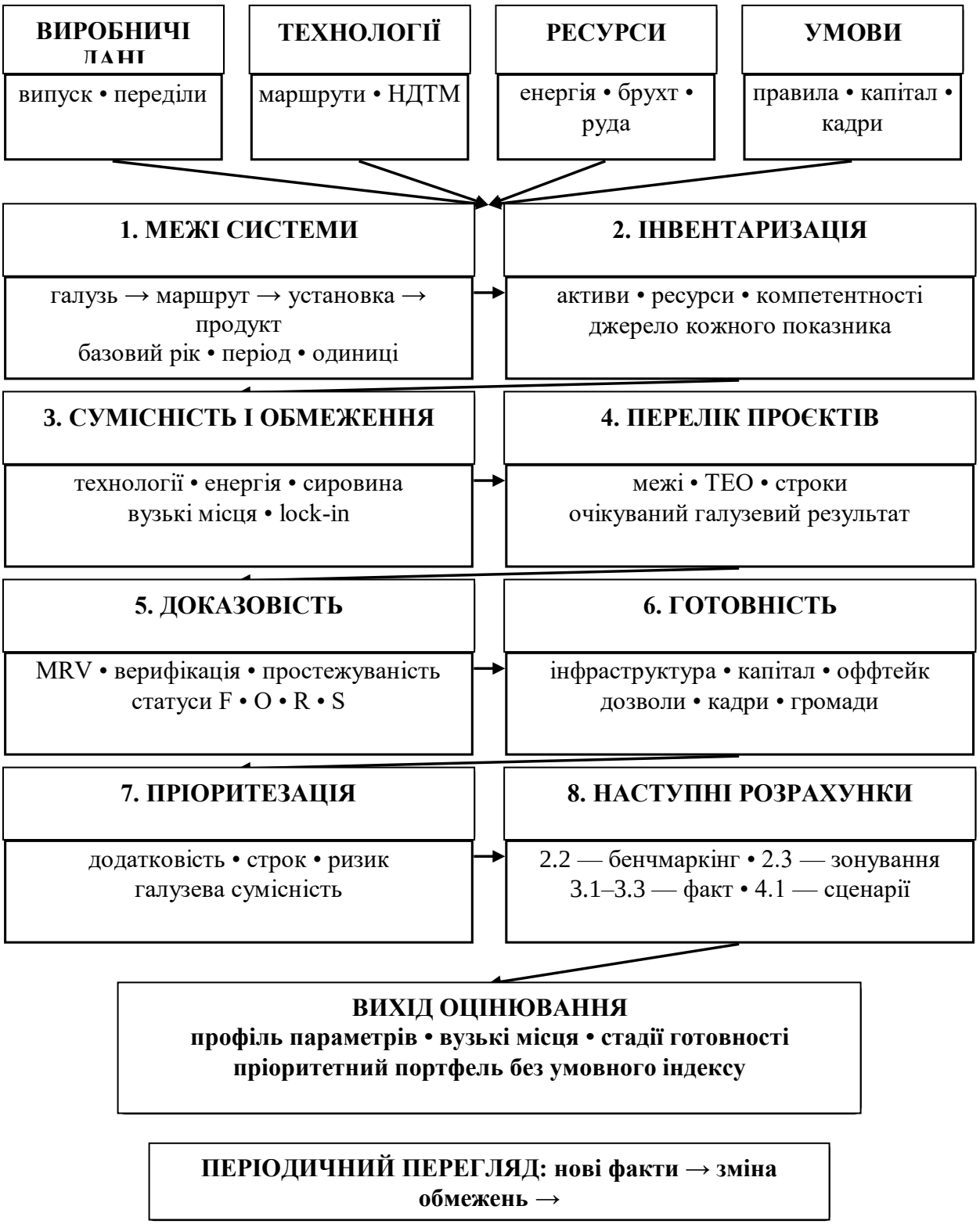


Рис. 2.2. Алгоритм визначення, мобілізації та подальшого використання економіко-технологічного потенціалу

Джерело: розроблено автором за [53; 75; 105; 110; 126;158; 174; 311–312; 314; 319; 329; 345; 347; 355; 359; 364; 369].

Особливе значення має відмежування галузевого потенціалу від суми корпоративних інвестиційних планів. Галузевий результат залежить від спільних мереж, ринку брухту, сировинної логістики, енергетичного балансу, стандартів даних, державних гарантій і соціально-регіональної політики. Тому навіть повністю підготовлений корпоративний проєкт не може вважатися мобілізованим на галузевому рівні, якщо відсутня необхідна спільна інфраструктура або його реалізація суперечить ресурсним обмеженням інших учасників.

Послідовність визначення і мобілізації потенціалу повинна виключати перехід від загальної технологічної ідеї безпосередньо до прогнозних чисел. Спочатку встановлюються межі системи й фактична база; далі визначаються складові, вузькі місця та сумісність ресурсів; після цього формується перелік проєктів і перевіряється їх готовність. Лише результати такого аналізу можуть бути використані для бенчмаркінгу, зонування та сценарного прогнозування.

Алгоритм на рис. 2.2 починається з установлення об’єкта, меж обліку, базового року і часової глибини даних. На другому етапі формується інвентар наявних активів, ресурсів, компетентностей та інституційних можливостей. Третій етап передбачає оцінювання технологічної, енергетичної, сировинної й екологічної сумісності. На четвертому етапі можливості переводяться у перелік потенційних проєктів, після чого перевіряються якість даних, MRV-готовність, інфраструктура, фінансування, ринок і соціальні умови.

Кожному значенню у вихідному масиві доцільно присвоювати статус: F — фактичне верифіковане; O — офіційне статистичне; R — розраховане на основі розкритого алгоритму; S — сценарне. Фактичний профіль формується переважно за F та O. Розрахункові значення використовуються лише за наявності прозорої формули й вихідних даних, а сценарні — у прогнозному блоці з окремим переліком припущень. Це усуває змішування спостережень і цільових параметрів.

На етапі 2.1 сценарії ще не розраховуються. Тут визначається лише, які параметри мають бути змінені, які обмеження є критичними і які технологічні рішення потенційно придатні для України. Кількісне порівняння з індикативними

межами здійснюється у 2.2, зонально-сценарний алгоритм формується у 2.3, фактична апробація — у 3.1–3.3, а нормативно-сценарний прогноз технологічної структури — у 4.1. Такий розподіл не допускає передчасного формування прогнозів до завершення діагностики.

Технологічний маршрут є центральною, але не самодостатньою складовою потенціалу. Маршрутні показники World Steel Association демонструють значну різницю між BF–BOF, scrap-EAF і DRI-EAF, проте їх не можна механічно переносити на Україну. Фактичний результат залежить від меж обліку, частки брухту і чавуну у шихті, якості руди, походження електроенергії, палива для DRI, використання побічних газів і завантаження обладнання [311–312; 319; 374; 378].

Доменне-конвертерне виробництво залишається основою діючих потужностей і забезпечує широкий сортамент продукції, але характеризується високими процесними викидами та ризиком довгострокового lock-in. НДТМ, енергоефективність, утилізація газів і тепла можуть зменшити витрати та викиди у короткостроковому періоді, однак не усувають структурної залежності від коксу. Тому модернізація такого маршруту має оцінюватися з урахуванням строку служби активу і сумісності з майбутньою траєкторією галузі.

Scrap-EAF є найбільш зрілим напрямом швидкого зниження питомої вуглецеємності, але його масштабування обмежується доступністю та якістю брухту, втратами під час збору і сортування, конкуренцією за ресурс, станом мереж і вимогами до якості продукції. OECD наголошує на регіональній неоднорідності ринків брухту і ризику дефіциту придатного матеріалу. Отже, сировинний потенціал слід визначати за реально доступним потоком після збирання, очищення й логістики, а не за загальною оцінкою утворення металобрухту [158; 345; 347].

DRI-EAF дає змогу поєднати виробництво сталі з первинної руди з нижчою вуглецеємністю, але потребує DRI-якісної сировини, стабільного постачання газу або водню та значного обсягу електроенергії.

Таблиця 2.4

Порівняльна характеристика технологічних маршрутів низьковуглецевої трансформації сталі

Маршрут / рішення	Орієнтир CO_2 у 2024 р., т/т сталі	Технологічна зрілість	Ключові умови реалізації	Значення для України
BF–BOF	2,34	зріла традиційна технологія	кокс, агломерат, руда; енергоефективність; утилізація газів; план заміщення активів	основа діючого виробництва; високий структурний вуглецевий і CBAM-ризик
Scrap-EAF	0,69	комерційно зріла	якісний брухт; низьковуглецева електроенергія; мережі; відповідність сортаменту	найшвидший зрілий напрям зниження вуглецеємності; обмеження ресурсу й мереж
DRI-EAF	1,47 у світовому середньому	зріла на природному газі; H_2-ready розвивається	DRI-якісна сировина; газ або водень; електроенергія; кластерна логістика	перспективний середньостроковий маршрут за умови системного енергозабезпечення
H_2-DRI-EAF	залежить від походження H_2 та електроенергії	рання комерціалізація / демонстрація	дешевий низьковуглецевий водень; мережі; вода; оффтейк; довгий капітал	довгостроковий near-zero напрям; необхідне поетапне розгортання
BF–BOF з CCUS	залежить від частки уловлювання та енергетичних витрат	демонстраційна / перехідна	CO_2-інфраструктура; зберігання; додаткова енергія; довгострокова відповідальність	можливе рішення для залишкових активів; високі ризики вартості та lock-in
НДТМ у діючих переділах	скорочення від базового рівня без єдиного маршрутного значення	висока	енергоефективність; тепло і гази; вода; цифровий контроль; інтегрований дозвіл	необхідна короткострокова база, але не заміна структурної трансформації

Джерело: складено автором за World Steel Association, IEA, OECD та BAT conclusions [158; 196; 213; 249; 311–312; 319; 345; 347; 374; 378].

Для України цей маршрут є перспективним у середньостроковому горизонті за умови кластерного поєднання гірничо-збагачувальної, енергетичної, транспортної та металургійної інфраструктури. Його доцільність повинна

оцінюватися не лише за технологічним ефектом, а й за повною вартістю енергозабезпечення та капіталу.

IEA оцінює технічний потенціал відновлюваного водню в Україні у 18–38 млн т на рік, але прямо застерігає, що економічно доступний обсяг буде нижчим через капітальні витрати, воду, мережі й конкуренцію попиту. Потенційний попит сталі та добрив може досягати 2,2 млн т водню на рік за умови відновлення довоєнних потужностей. Тому воднева складова потенціалу має розгортатися поетапно: підготовка DRI-сировини, H_2-ready проєктування, демонстраційні установки, довгі контракти на електроенергію та лише після підтвердження економіки — промислове масштабування [314; 319].

Таблиця 2.4 підтверджує, що назва технологічного маршруту не є достатньою характеристикою його кліматичної якості. EAF на вуглецеємній електроенергії або з великою часткою чавуну може мати значно вищі викиди, ніж маршрутне середнє. DRI на природному газі знижує викиди порівняно з BF–BOF, але не є near-zero рішенням. H_2-DRI-EAF потребує підтвердження походження водню та електроенергії. Отже, для кожного маршруту необхідні єдині межі обліку, енергетичний сценарій і технологічний паспорт.

Концепція НДТМ доповнює маршрутний аналіз, охоплюючи енергоефективність, утилізацію вторинного тепла і газів, герметизацію, водооборотні цикли, підготовку шихти, автоматизацію та превентивне обслуговування. BAT conclusions для виробництва чавуну і сталі визначають технологічні й екологічні орієнтири, а український закон про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення формує правову основу для їх упровадження [126; 196; 213; 249].

Водночас відповідність НДТМ не гарантує досягнення довгострокової низьковуглецевої траєкторії. Необхідно розмежовувати: операційні заходи, які підвищують ефективність чинного активу; перехідні рішення, що готують його до зміни маршруту; трансформаційні проєкти, які змінюють виробничу платформу.

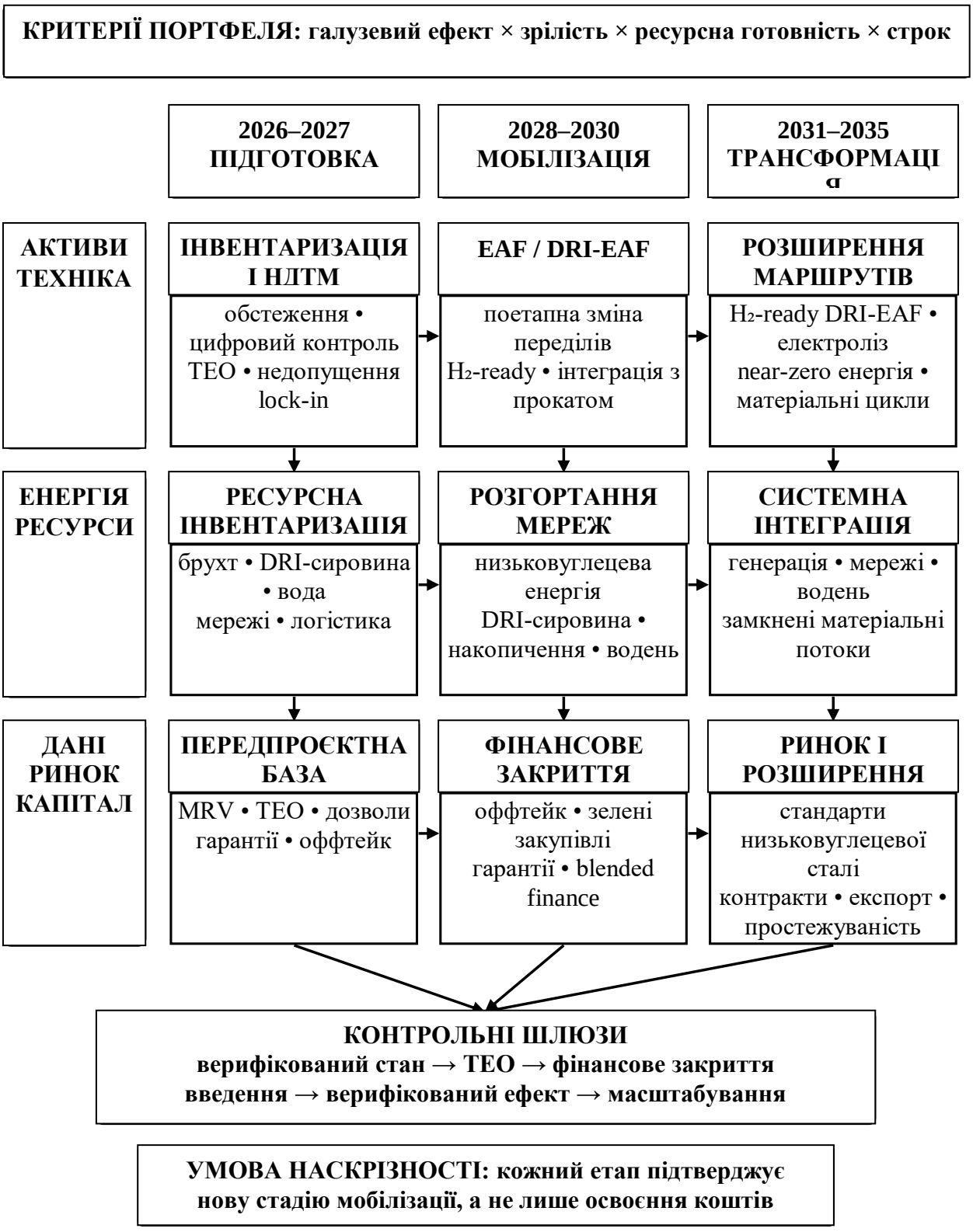


Рис. 2.3. Матриця поетапної конвертації економіко-технологічного потенціалу у портфель низьковуглецевої модернізації

Джерело: розроблено автором за [53; 75; 105; 110; 126; 158; 174; 311–312; 314; 319; 329; 345; 347; 355; 359; 364; 369].

Державна підтримка капіталомісткого ремонту високовуглецевого агрегату без визначеного строку заміщення може посилити lock-in і відкласти структурну модернізацію.

Для переведення технологічної можливості у мобілізований потенціал запропоновано критерій інвестиційної конвертованості. Можливість є конвертованою, якщо визначено межі проєкту і базовий стан; підготовлено ТЕО; підтверджено сировину, енергію та інфраструктуру; сформовано план MRV; розподілено ризики; визначено джерела фінансування; наявний ринок або оффтейк; оцінено вплив на зайнятість і громади. За відсутності цих елементів йдеться про передпроєктний резерв, який потребує технічної допомоги, а не про готовий об'єкт капітального фінансування.

Практичний портфель має поєднувати кліматичну додатковість із промисловою цінністю. Проєкт, який знижує питомі викиди, але призводить до системного недозавантаження і втрати доданої вартості, не забезпечує повного ефекту сталого розвитку. Проєкт, що швидко відновлює значний випуск, але закріплює високовуглецевий актив на десятиліття, створює майбутню CBAM-вразливість. Оптимальна послідовність передбачає стабілізацію керованості, розгортання зрілих низьковуглецевих маршрутів і підготовку глибокої структурної трансформації.

У 2026–2027 рр. пріоритетом є інвентаризація активів і потоків, відновлення MRV, енергоефективність, підготовка брухту, мережеві дослідження та якісні ТЕО. У 2028–2030 рр. потенціал має мобілізуватися через введення EAF і DRI-EAF, модернізацію мереж, довгострокові контракти на електроенергію, оффтейк і гарантії. У 2031–2035 рр. можливе масштабування H_2-ready рішень, кластерної інфраструктури, продуктової простежуваності й ринку підтвердженої низьковуглецевої сталі. Ці горизонти є етапами підготовки рішень, а не готовим кількісним прогнозом.

Таблиця 2.5

Стадії мобілізації економіко-технологічного потенціалу та контрольні результати

Стадія потенціалу	Фактичне підтвердження	Основний управлінський бар'єр	Пріоритетне рішення	Контрольний результат переходу
Наявний	ідентифіковані активи, ресурси або компетентності	неповні дані; невизначена придатність; відсутні межі	інвентаризація; базове технічне обстеження; встановлення меж	верифікований ресурсний і технологічний профіль
Верифікований	параметри, обмеження та базовий стан підтверджено	відсутність ТЕО, дозволів, інфраструктурного й ринкового плану	передпроєктні дослідження; MRV; ТЕО; оцінка ресурсів і впливів	підготовлений проєкт із визначеними строками, ризиками і результатами
Підготовлений	наявні ТЕО, дозвільний план, приєднання, MRV і структура фінансування	висока вартість капіталу; воєнні ризики; непідтверджений попит	гарантії; страхування; blended finance; оффтейк; соціальна угода	фінансове закриття і рішення про початок реалізації
Мобілізований	укладені договори; залучене фінансування; розпочато реалізацію	відхилення строків, бюджету, технологічних та інфраструктурних віх	поетапне фінансування; незалежний технічний контроль; коригування ризиків	введена потужність і підтверджена готовність до експлуатації
Реалізований	стабільний випуск; верифіковані економічні, кліматичні й соціальні результати	ризик недозавантаження або невідповідності запланованому ефекту	післяпроєктний MRV; оцінювання ефектів; рішення про масштабування	стійке зниження вуглецеємності за збереження промислової та соціальної результативності

Джерело: розроблено автором.

Перехід між етапами здійснюється через контрольні шлюзи: верифікований базовий стан; підтверджена технологічна і ресурсна сумісність; завершене ТЕО; дозвільна та інфраструктурна готовність; фінансове закриття; введення потужності; верифікований ефект; рішення про масштабування. Така послідовність запобігає спрямуванню масштабних коштів на проєкти без підтвердженого ресурсу, енергопостачання або ринку.

Ступінь мобілізації потенціалу доцільно визначати не за умовними числовими інтервалами, а за фактично підтвердженими станами. Наявний

потенціал фіксує ресурс або актив; верифікований — підтверджує його параметри та обмеження; підготовлений — має ТЕО, дозвільний та інфраструктурний план; мобілізований — отримав фінансування й увійшов у реалізацію; реалізований — забезпечив введення потужності та верифікований економічний, технологічний, кліматичний і соціальний результат.

Стадійний підхід у табл. 2.5 забезпечує однозначну управлінську інтерпретацію. Якщо ресурс лише наявний, пріоритетом є інвентаризація та перевірка. Для верифікованого потенціалу потрібна передпроєктна підготовка; для підготовленого — зниження інвестиційних та інфраструктурних ризиків; для мобілізованого — контроль строків і віх; для реалізованого — оцінювання фактичного ефекту та рішення про масштабування. Одна стадія не може бути замінена високим значенням іншого показника.

Результати 2.1 безпосередньо формують вхідну базу підрозділу 2.2. Визначені технологічні маршрути, межі даних, ресурсні обмеження і показники кліматичного результату використовуються для обґрунтування національної системи бенчмаркінгу питомих викидів. Саме у 2.2 формально вводяться позначення галузевої питомої вуглецеємності та індикативні показники ІПм і ІПо, визначається їх інформаційно-розрахункова база й економічне призначення.

У підрозділі 2.3 профіль потенціалу перетворюється на правила зонально-сценарного регулювання: фактична вуглецеємність і технологічна структура визначають регуляторну зону, а ресурсна, інвестиційна, інформаційна та соціальна готовність — здійсненність відповідного пакета рішень. У 3.1–3.3 ці положення апробуються на фактичних даних, у 4.1 використовуються для формування технологічного портфеля і нормативно-сценарних розрахунків, а у 4.2 та розділі 5 — для розподілу функцій, ресурсів і механізмів реалізації.

Післявоєнне відновлення створює можливість не відтворювати втрачений високовуглецевий капітал, а формувати нову виробничу платформу. Принцип «відбудувати краще, ніж було» має бути переведений у перевірювані критерії: відсутність неприйнятного lock-in; сумісність із НДТМ і майбутнім вуглецевим

регулюванням; підтверджена траєкторія скорочення питомих і абсолютних викидів; доступність енергії та сировини; фінансова додатковість; продуктова простежуваність; збереження або створення якісної зайнятості [75; 105; 110; 126; 359; 369].

Отже, економіко-технологічний потенціал низьковуглецевого розвитку металургійної галузі є багатокомпонентною динамічною здатністю, що поєднує виробничу базу, технологічну зрілість, енергетичні й сировинні ресурси, кліматично-екологічну результативність, інвестиційну готовність, якість даних та інституційно-соціальну спроможність. Його оцінювання має завершуватися не умовним інтегральним індексом, а доказовим профілем параметрів, вузьких місць і стадій проєктної мобілізації. Така конструкція забезпечує логічний перехід від теоретичної системи інструментів до формування індикативних показників у 2.2 та авторської галузевої зонально-сценарної методики у 2.3.

2.2. Індикативні показники питомих викидів парникових газів як основа національної галузевої системи бенчмаркінгу металургійної галузі

Індикативні показники питомих викидів парникових газів виконують у дисертації не лише функцію кількісного орієнтира, а й функцію методичного мосту між статистичним вимірюванням і управлінським рішенням. Без таких показників оцінка декарбонізації залишається описовою: можна констатувати зниження або зростання викидів, але складно визначити, чи є цей результат достатнім для адаптації до CBAM, доступу до зеленого фінансування, виконання сценарію Net Zero або отримання державної підтримки. Індикативні межі ІПм та ІПо перетворюють СІt на критерій управлінського вибору, що має однакову логіку для підприємства, галузі, держави та інвестора [39; 40; 44; 382].

Національна система бенчмаркінгу має враховувати, що міжнародні еталони не можуть бути механічно перенесені на українську металургію. Європейські або глобальні орієнтири сформовані в інших умовах доступу до капіталу,

енергетичної структури, якості інфраструктури, регуляторної зрілості та технологічної бази. Водночас ігнорування міжнародних бенчмарків також є неприйнятним, оскільки саме вони задають вимоги ринку, фінансів і кліматичної політики. Тому авторська система індикативних показників має виконувати адаптаційну функцію: поєднувати міжнародну порівнянність із реалістичністю для української галузі [134; 346; 373; 376].

Методичне значення ІПм полягає у тому, що він задає не середній, а бажаний рівень розвитку. Підприємство або технологічний переділ, який досягає ІПм чи перебуває нижче нього, має не лише кращий кліматичний профіль, а й потенційно нижчу CBAM–експозицію, вищу інвестиційну привабливість і більшу відповідність очікуванням споживачів низьковуглецевої продукції. Тому ІПм повинен використовуватися як мотиваційний орієнтир для доступу до пріоритетних інструментів підтримки: пільгових кредитів, гарантій, грантів, контрактів попиту та участі у міжнародних програмах декарбонізації [67; 150; 319; 333].

Методичне значення ІПо полягає у встановленні верхньої межі прийнятної вуглецевої інтенсивності. Перевищення ІПо не означає автоматичного виведення підприємства з ринку, але означає потребу в доказовому плані переходу. Такий план повинен містити перелік технологічних заходів, графік зниження CIt, оцінку інвестиційної потреби, MRV–механізм, соціальні заходи та очікуване зменшення CBAM–експозиції. Завдяки цьому ІПо виконує не каральну, а дисциплінуючу функцію: він змушує підприємство перейти від декларацій до вимірюваної траєкторії модернізації [27; 28; 42; 159; 316].

Система бенчмаркінгу повинна бути динамічною. У період післявоєнного відновлення занадто жорсткі показники можуть заблокувати модернізацію, якщо підприємства не матимуть доступу до фінансування та інфраструктури. Водночас занадто м’які показники не створять стимулу для глибокої декарбонізації. Тому індикативні межі мають бути пов’язані з часовими горизонтами: короткостроковим, середньостроковим і довгостроковим. На першому етапі

головним завданням є створення MRV–бази та рух до ІПо; на другому – стабілізація нижче ІПо; на третьому – наближення до ІПм та формування конкурентної переваги в сегменті низьковуглецевої сталі [132; 133; 327; 378].

Для забезпечення достовірності бенчмаркінгу потрібно узгодити межі обліку. Показник CIt може суттєво відрізнятися залежно від того, чи враховуються лише прямі викиди, чи також непрямі викиди від електроенергії, чи включено upstream–процеси, чи враховано транспортування і вторинну сировину. У дисертації доцільно підкреслити, що національна система бенчмаркінгу має забезпечувати прозорість методики: які межі системи застосовуються, які дані використовуються, як відбувається верифікація і як забезпечується зіставність підприємств. Без цього індикативні показники можуть втратити довіру як інструмент регулювання [31; 86; 348; 363].

Бенчмаркінг також повинен бути пов’язаний із технологічною диференціацією. Порівняння доменно–конвертерного маршруту з електродуговим без урахування технологічної структури може призвести до спрощених висновків. Тому доцільно застосовувати дві площини порівняння: загальногалузеву, яка показує інтегральне положення виробництва відносно ІПм та ІПо, і технологічну, яка дозволяє оцінювати ефективність конкретного маршруту. Такий підхід дає змогу уникнути необґрунтованих висновків про «неефективність» окремого переділу без урахування його технологічної ролі, але водночас не знімає потреби в модернізації [346; 348; 350; 365].

Практична цінність індикативної системи полягає у можливості застосування її для ранжування проєктів. Якщо два проєкти мають однакову вартість, але різний вплив на CIt, пріоритет має отримати той, який швидше переводить виробництво з зони перевищення ІПо до проміжної зони або до ІПм. Якщо проєкт має високий кліматичний ефект, але значні соціальні ризики, його підтримка повинна супроводжуватися заходами справедливого переходу. Якщо проєкт знижує витрати, але не впливає на CIt, він може бути комерційно доцільним, але не повинен автоматично претендувати на кліматичні стимули.

Таким чином, бенчмаркінг стає інструментом розподілу обмежених ресурсів відновлення [14; 67; 150; 368].

Система індикативних показників повинна враховувати невизначеність вихідних даних. У металургійному виробництві показники викидів можуть змінюватися залежно від якості сировини, структури шихти, режиму роботи агрегатів, аварійних простоїв, частки власної та купованої електроенергії, доступності брухту і методики розрахунку. Тому бенчмаркінг не повинен сприйматися як механічне порівняння одного числа. Доцільним є використання діапазонів, чутливості та сценарної перевірки: чи зберігається положення підприємства відносно ІПм та ІПо за різних припущень щодо енергетичного міксу, обсягу виробництва і технологічної структури. Це підвищує надійність управлінських висновків [74; 348; 363; 365].

У прикладному вимірі індикативні показники можуть використовуватися як мова комунікації між підприємством, державою та інвестором. Підприємство демонструє, де воно перебуває відносно ІПм та ІПо; держава визначає, чи потребує воно стимулювання або регуляторного тиску; інвестор оцінює, чи здатний проєкт знизити вуглецевий ризик і забезпечити доступ до ринку. Завдяки цьому дискусія про декарбонізацію переходить із площини загальних зобов’язань у площину порівнянних числових критеріїв. Це особливо важливо для галузі, де різні технологічні маршрути мають різну стартову позицію, а фінансові ресурси для модернізації є обмеженими [40; 44; 150; 368].

Перехід металургійної галузі України до низьковуглецевої моделі розвитку потребує не лише визначення загальних цілей скорочення викидів, а й створення методично коректної системи вимірювання, порівняння та регулювання питомих викидів парникових газів. Саме тому бенчмаркінг вуглецеємності набуває значення не допоміжного аналітичного інструменту, а елементу державної промислової, кліматичної та інвестиційної політики.

У межах цього підрозділу поняття «металургійна галузь» використовується як науково–економічне узагальнення сукупності виробництв чавуну, сталі,

прокату, феросплавів та пов’язаних переділів. Для статистичного і методичного обґрунтування застосовуються показники виробництва металургійної продукції, технологічних маршрутів і питомих викидів, що дозволяє не підміняти галузеву логіку лише класифікаційним виміром КВЕД, але водночас зберігати статистичну коректність дослідження.

Попередня редакція підрозділу містила низку показників, які потребували уточнення: зокрема, проєктні значення питомих викидів за окремими переділами та прогнозні результати VECM–моделі були подані як фактична база. У цій редакції фактичні міжнародні бенчмарки відокремлено від авторських індикативних показників, а сценарні та модельні розрахунки трактуються як методичні орієнтири, а не як офіційна статистика.

Світова практика бенчмаркінгу в металургії формується навколо трьох груп джерел: регуляторних бенчмарків EU ETS, галузевих показників World Steel Association та методичних документів щодо енергоефективності й НДТМ. Європейська система торгівлі викидами встановлює продуктово–процесні бенчмарки, які використовуються для безоплатного розподілу квот, тоді як World Steel Association публікує агреговані показники вуглецевої та енергетичної інтенсивності за технологічними маршрутами.

Відповідно до Commission Implementing Regulation (EU) 2021/447, для періоду 2021–2025 рр. у ЄС застосовуються переглянуті значення бенчмарків для безоплатного розподілу дозволів на викиди. Для металургії ключовими є бенчмарки коксу, агломерату, гарячого металу, електросталі та литва чавуну (табл. 2.6).

Дані табл. 2.6 мають принципове методичне значення: вони не можуть бути механічно перенесені в Україну як готові нормативи, оскільки українська металургія відрізняється структурою потужностей, рівнем зношеності основних засобів, якістю сировини, енергобалансом і воєнними обмеженнями. Проте саме ці бенчмарки мають використовуватися як зовнішній європейський еталон для калібрування національної системи індикативних показників.

Паралельно з регуляторними бенчмарками EU ETS доцільно використовувати міжнародні галузеві показники World Steel Association. За даними Sustainability Indicators Report 2025, у 2024 р. середня інтенсивність викидів CO_2 у світовому виробництві сталі становила 1,92 т CO_2/т сталі, а за маршрутом BF–BOF – 2,34 т CO_2/т. Для scrap–EAF цей показник становив 0,69 т CO_2/т, а для DRI–EAF – 1,47 т CO_2/т (табл. 2.7).

Таблиця 2.6

Значення ключових бенчмарків EU ETS для металургійних процесів

Продукт / процес	Середнє значення 10% найефективніших установок, т CO_2–екв./т	Бенчмарк 2021–2025, дозволів/т	Значення для України
Кокс	0,144	0,217	орієнтир для коксохімічного переділу
Агломерат	0,163	0,157	орієнтир для агломераційного виробництва
Гарячий метал	1,331	1,288	найважливіший еталон для доменного переділу
Електросталь, вуглецева сталь	0,209	0,215	орієнтир для EAF–маршруту
Електросталь, високолегована сталь	0,266	0,268	орієнтир для спеціальних сталей
Литво чавуну	0,299	0,282	орієнтир для ливарного виробництва

Джерело: складено автором за Commission Implementing Regulation (EU) 2021/447 [197].

Порівняння технологічних маршрутів засвідчує, що декарбонізація металургійної галузі не може обмежуватися лише енергоефективністю існуючих переділів. Найбільший розрив існує між доменно–конвертерним маршрутом та електросталеплавильним виробництвом на основі брухту, однак для України перехід до scrap–EAF стримується обмеженнями щодо доступності якісного металобрухту, стану електроенергетики, потреби у стабільній низьковуглецевій електроенергії та необхідності відновлення виробничої інфраструктури (рис. 2.5).

Таблиця 2.7

Вуглецева та енергетична інтенсивність виробництва сталі за основними технологічними маршрутами у 2024 р.

Технологічний маршрут	Вуглецева інтенсивність, т CO_2/т сталі	Енергоємність, ГДж/т сталі	Методичне значення для України
BF–BOF	2,34	23,88	еталон високовуглецевого традиційного маршруту
Scrap–EAF	0,69	9,84	орієнтир для електрометалургії на основі брухту
DRI–EAF	1,47	23,30	перехідний / низьковуглецевий маршрут за умови чистішої енергії
Світовий середній рівень	1,92	20,95	порівняльний міжнародний орієнтир

Джерело: складено автором за World Steel Association, Sustainability Indicators Report 2025 [376].

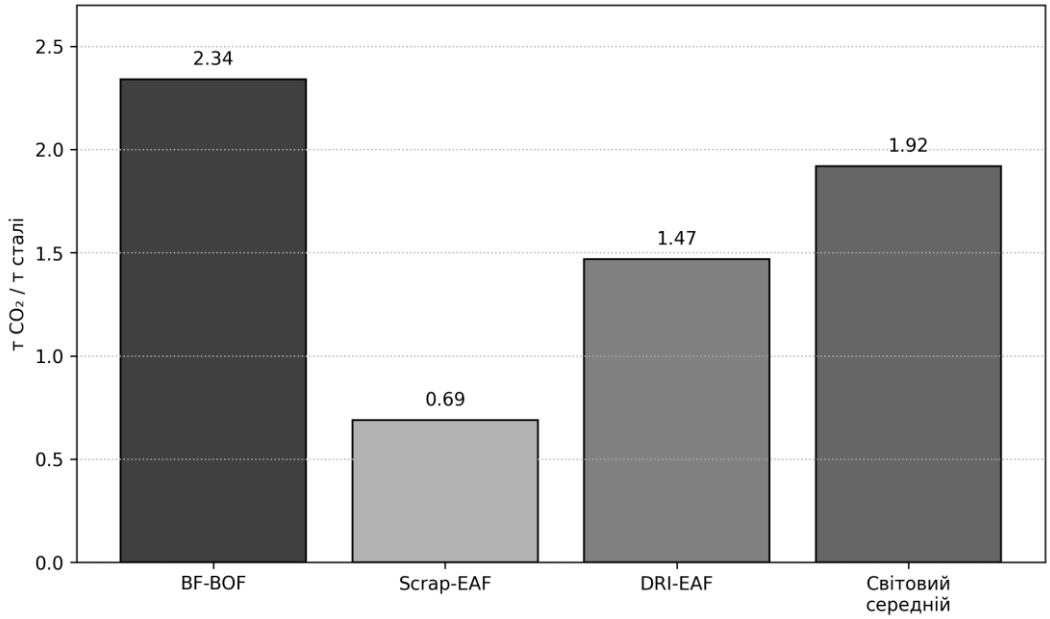


Рис. 2.5. Вуглецева інтенсивність основних технологічних маршрутів виробництва сталі у 2024 р.

Джерело: складено автором за World Steel Association [376].

Національна галузева система бенчмаркінгу має враховувати одночасно європейські регуляторні орієнтири, глобальні галузеві показники та українські технологічні обмеження. Її метою є не механічне ранжування підприємств, а формування прозорого зв’язку між фактичними питомими викидами, доступом до

державної підтримки, вимогами майбутньої СТВ, CBAM–адаптацією та інвестиційною пріоритезацією.

Архітектура такої системи повинна включати чотири послідовні блоки: дані підприємств; MRV і незалежну верифікацію; розрахунок питомих показників; побудову кривої бенчмаркінгу та формування регуляторного коридору (рис. 2.6).

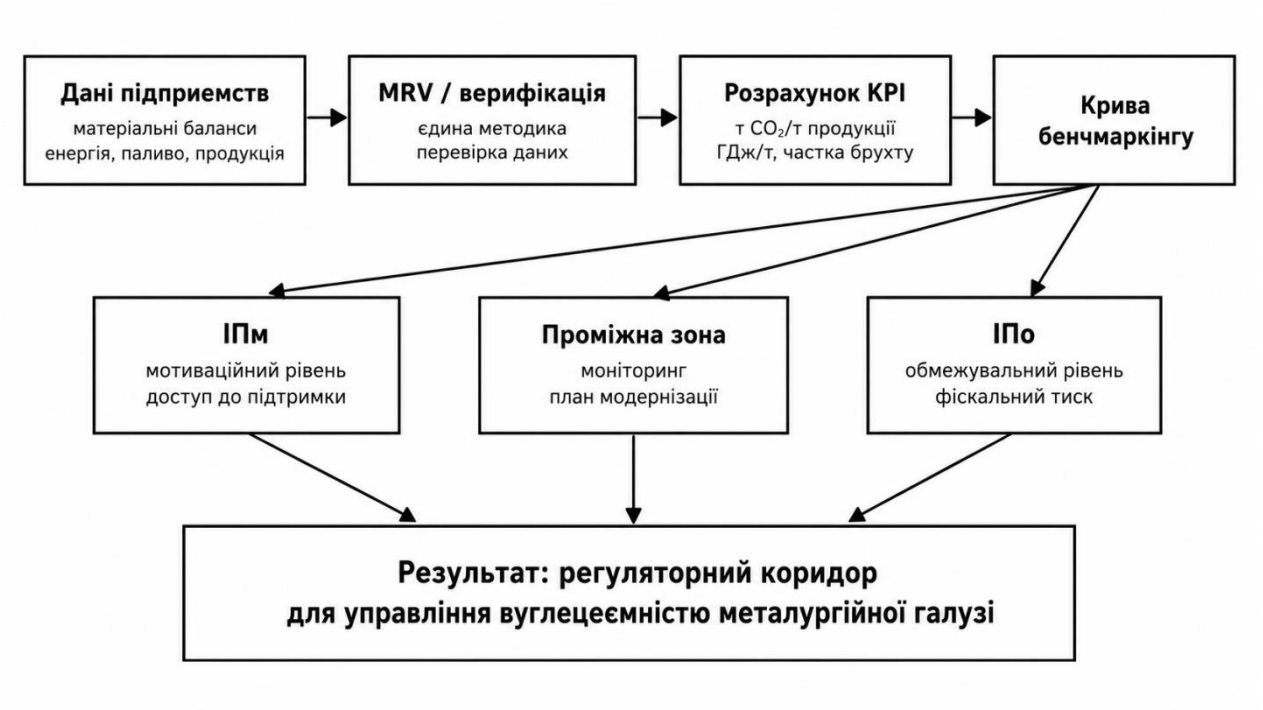


Рис. 2.6. Архітектура національної галузевої системи бенчмаркінгу питомих викидів у металургійній галузі

Джерело: розроблено автором.

Під національним галузевим бенчмаркінгом питомих викидів парникових газів у металургійній галузі пропонується розуміти стандартизовану процедуру збирання, верифікації, порівняння та ранжування даних про питомі викиди за ключовими технологічними переділами, що дозволяє встановлювати мотиваційні та обмежувальні індикативні показники для державного регулювання, зеленого фінансування, CBAM–звітності та стратегічного планування низьковуглецевого розвитку.

Алгоритм побудови національної галузевої системи бенчмаркінгу має бути циклічним, оскільки технологічна структура виробництва, енергобаланс, вимоги CBAM та доступність низьковуглецевих технологій змінюються в часі (табл. 2.8).

Таблиця 2.8

Алгоритм проведення бенчмаркінгу питомих викидів парникових газів у металургійній галузі

Етап	Зміст етапу	Результат
1. Визначення меж системи	вибір технологічних переділів, периметру викидів Scope 1, Scope 2 та пов'язаних потоків	карта об'єктів моніторингу
2. Формування бази даних	збір даних про сировину, паливо, електроенергію, тепло, продукцію, побічні гази та відходи	стандартизована база MRV
3. Верифікація	перевірка повноти, достовірності та зіставності даних незалежними верифікаторами	підтверджені дані для розрахунку
4. Розрахунок питомих викидів	обчислення т CO_2–екв./т продукції за переділами і маршрутами	набір порівнюваних KPI
5. Побудова кривої	ранжування виробництв від найнижчих до найвищих питомих викидів	крива галузевої ефективності
6. Встановлення ІПм та ІПо	визначення мотиваційного та обмежувального рівнів з урахуванням НДТМ, EU ETS та українських умов	регуляторний коридор
7. Застосування інструментів політики	диференціація підтримки, оподаткування, квотування, зеленого фінансування	адресні управлінські рішення
8. Перегляд і актуалізація	періодичне оновлення показників відповідно до технологічних змін і цілей НПЕК / НВВ2	динамічна система управління

Джерело: розроблено автором з урахуванням вимог MRV, EU ETS та НПЕК України [89; 110; 112; 197].

Ключова відмінність запропонованого підходу полягає у використанні не одного бенчмарку, а дворівневої системи індикативних показників. Мотиваційний індикативний показник (ІПм) фіксує рівень, наближення до якого має відкривати доступ до пріоритетної державної підтримки, зеленого фінансування, податкових стимулів та репутаційних переваг. Обмежувальний індикативний показник (ІПо) визначає верхню межу прийнятної вуглецеємності, перевищення якої має запускати посилені регуляторні вимоги, підвищені екологічні платежі, обов'язкові плани модернізації або придбання квот.

На відміну від лінійного підходу, дворівневий регуляторний коридор дає можливість одночасно врахувати європейський вектор інтеграції та реальний стан української металургійної бази. Це особливо важливо у післявоєнному

відновленні, коли надмірно жорстке запровадження європейських бенчмарків без перехідного періоду може поглибити ризики деіндустріалізації, тоді як занадто м'яке регулювання не стимулюватиме технологічну модернізацію (рис. 2.7).

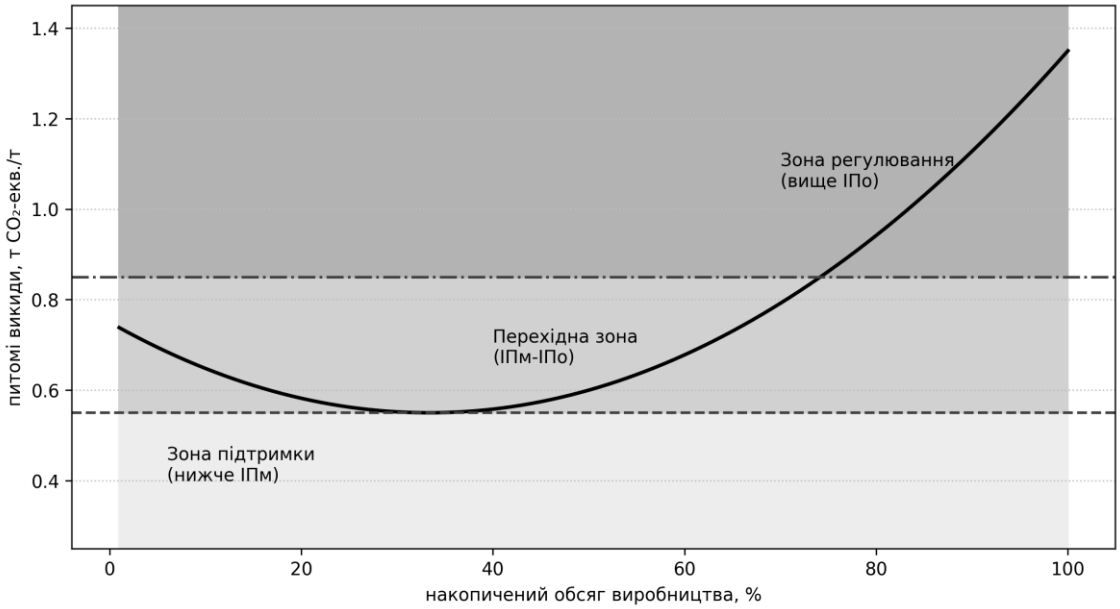


Рис. 2.7. Типова крива бенчмаркінгу питомих викидів із дворівневим регуляторним коридором

Джерело: розроблено автором.

Методичну структуру дворівневих індикативних показників наведено у табл. 2.9.

Таблиця 2.9

Структура дворівневої системи індикативних показників питомих викидів

Зона	Критерій	Технологічна характеристика	Рекомендовані інструменти впливу
Зона підтримки	фактичні питомі викиди ≤ ІПм	найбільш ефективні виробництва, наближені до НДТМ або низьковуглецевих маршрутів	пріоритетне зелене фінансування, гранти, податкові стимули, репутаційна підтримка
Перехідна зона	ІПм < фактичні питомі викиди ≤ ІПо	середньогалузевий рівень, наявний потенціал модернізації	MRV, цільові плани скорочення викидів, часткова підтримка модернізації
Зона регулювання	фактичні питомі викиди > ІПо	застарілі або високовуглецеві технологічні процеси	підвищені платежі, обов'язковий аудит, квоти, ліміти, план виведення або модернізації

Джерело: розроблено автором.

Для практичного застосування в Україні доцільно розмежовувати фактичні міжнародні бенчмарки та авторські індикативні показники. У табл. 2.10 подано орієнтовну систему індикативних показників, побудовану на основі перевірених значень EU ETS, даних World Steel Association та принципу перехідного регуляторного коридору. Значення мають методичний характер і потребують подальшої верифікації на базі українських MRV–даних підприємств.

Особливу увагу слід звернути на те, що бенчмарк EAF у EU ETS і показник scrap–EAF у World Steel Association не є тотожними. Перший використовується у регуляторній системі безоплатного розподілу дозволів і має чітко визначені межі продукту, другий відображає ширший галузевий показник інтенсивності викидів за технологічним маршрутом. Тому в українській системі індикативних показників для EAF доцільно використовувати ширший коридор, який враховує вуглецеву інтенсивність електроенергії, якість брухту, частку DRI/ГБЗ у шихті та енергоефективність конкретного виробництва.

Таблиця 2.10

Індикативні показники питомих викидів для металургійних переділів України

Процес / маршрут	Зовнішній еталон	ІПм, т CO_2–екв./т	ІПо, т CO_2–екв./т	Логіка застосування
Кокс	EU ETS 0,217	0,22	0,30	оновлення коксохімії
Агломерат	EU ETS 0,157	0,18	0,26	контроль агломерації
Гарячий метал	EU ETS 1,288	1,35	1,60	доменний переділ
EAF carbon steel	EU ETS 0,215; scrap–EAF 0,69	0,35	0,70	EAF з урахуванням енергії
DRI–EAF	worldsteel 1,47	1,25	1,60	водень / DRI / енергія
BF–BOF	worldsteel 2,34	1,80	2,30	традиційний маршрут

Джерело: розраховано автором за [158; 376].

Національний план з енергетики та клімату України до 2030 року визначає скорочення викидів парникових газів до рівня 35% порівняно з 1990 р. та досягнення 27% частки ВДЕ у загальному кінцевому енергоспоживанні. Отже, галузева система бенчмаркінгу має бути сумісною не лише з EU ETS і CBAM, а й з національними цілями НПЕК та Оновленого НВВ2.

Управлінська цінність запропонованої системи полягає у тому, що вона дає змогу перейти від загального твердження про необхідність декарбонізації до конкретного набору правил: які підприємства можуть претендувати на підтримку; які мають розробити план модернізації; які повинні сплачувати підвищені платежі або купувати додаткові квоти; які проєкти можуть вважатися справді низьковуглецевими.

Зв’язок індикативних показників з інструментами державної політики наведено на рис. 2.8.

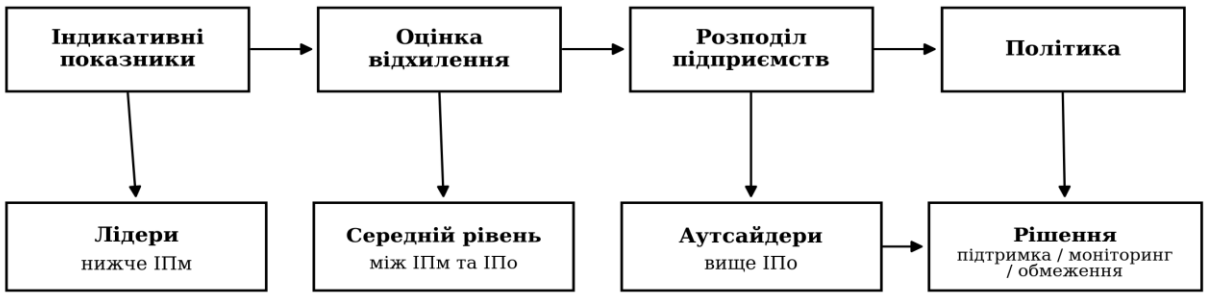


Рис. 2.8. Використання індикативних показників у системі державного регулювання вуглецеємності металургійної галузі

Джерело: розроблено автором.

Система показників, необхідна для функціонування галузевого бенчмаркінгу, повинна охоплювати не лише безпосередні викиди, а й технологічні, енергетичні, ресурсні та регуляторні характеристики (табл. 2.11).

Економетричне обґрунтування індикативних показників у межах цього підрозділу доцільно розглядати як наступний етап після формування верифікованої MRV–бази. Використання VECM/VARX є методично виправданим тоді, коли є достатній часовий ряд співставних даних про виробництво, викиди, енергоспоживання, частку технологічних маршрутів та екзогенні фактори. Без

такої бази економетрична модель може виконувати лише сценарно–аналітичну, але не нормативну функцію.

Таблиця 2.11

Система показників для національного галузевого бенчмаркінгу питомих викидів

Група показників	Основні KPI	Джерело даних / спосіб підтвердження
Виробничі	випуск сталі, чавуну, коксу, агломерату, прокату; завантаження потужностей	статистична звітність, виробничі журнали, галузеві асоціації
Кліматичні	Scope 1, Scope 2, т CO_2–екв./т продукції, вуглецева інтенсивність маршруту	MRV, верифіковані звіти, аудиторські висновки
Енергетичні	ГДж/т, МВт·год/т, структура енергоспоживання, частка ВДЕ	енергетичні баланси, дані постачальників енергії
Ресурсні	частка брухту, частка DRI/ГБЗ, питомі витрати сировини, вода, відходи	матеріальні баланси, екологічна звітність
Технологічні	частка BF–BOF, EAF, DRI–EAF; рівень НДТМ; зношеність основних засобів	технічний аудит, інвестиційні програми, звіти підприємств
Регуляторні	відхилення від ІПм та ІПо; CBAM–експозиція; наявність плану декарбонізації	галузева база бенчмаркінгу, CBAM–звіти, ESG–звітність

Джерело: розроблено автором.

Базова логіка моделювання може бути подана через зв’язок виробництва, енергоспоживання та викидів: CIt = GHG_t / Q_t, де CIt – вуглецева інтенсивність; GHG_t – валові викиди парникових газів; Q_t – обсяг виробництва продукції. Відхилення від індикативних показників визначається як ΔІПм = CIt – ІПм та ΔІПо = CIt – ІПо. Якщо ΔІПо > 0, підприємство або переділ потрапляє до зони регулювання; якщо ΔІПм ≤ 0 – до зони підтримки.

Для галузевого рівня інтегральний індекс відповідності бенчмаркам може бути представлений як зважена сума нормалізованих відхилень за основними переділами: I_B = Σ w_i · f(CI_i, ІПм_i, ІПо_i), де w_i – частка відповідного переділу у викидах або виробництві. Такий підхід дозволяє оцінювати не лише окремі підприємства, а й стан металургійної галузі загалом.

Практичне застосування запропонованої системи має бути поетапним. На першому етапі необхідно забезпечити повноцінну MRV–базу для металургійних підприємств. На другому – побудувати фактичну криву бенчмаркінгу за основними переділами. На третьому – затвердити ІПм та ІПо як індикативні, а не одразу жорстко нормативні значення. На четвертому – інтегрувати їх у механізми державної підтримки, зеленого фінансування, податкового стимулювання і майбутньої системи торгівлі викидами.

Національна система бенчмаркінгу CIt має розглядатися не як окремий приклад або ілюстрація, а як елемент наскрізної логіки управління сталим розвитком металургійної галузі. У дисертації вже сформовано базову вісь дослідження: CIt – ІПм – ІПо – CBAM – MRV/ESG – інвестиційна і соціальна стійкість. Механізм має посилити саме цю вісь, показавши, що кожне управлінське рішення повинно мати вимірюваний вплив на вуглецеву інтенсивність, регуляторний ризик, доступ до фінансування і спроможність галузі залишатися частиною міжнародних ланцюгів створення вартості [39; 40; 159; 316; 373; 376].

Бенчмаркінг CIt має бути не лише аналітичним, а й регуляторним інструментом. Аналітичний бенчмаркінг фіксує відмінності між підприємствами або технологіями. Регуляторний бенчмаркінг створює наслідки для управління: визначає право на підтримку, вимогу до плану модернізації, необхідність додаткової верифікації або пріоритетність включення проєкту до фінансового портфеля [39; 40; 159; 316].

Варто також підкреслити, що ІПм та ІПо не повинні сприйматися як статичні нормативи. Вони виконують роль перехідних орієнтирів, які можуть уточнюватися в міру зміни технологічної структури, доступності енергії, якості даних і наближення України до європейського кліматичного регулювання. Це робить систему гнучкою і дає змогу поєднати реалістичність відновлення з довгостроковою амбіцією декарбонізації [373; 376; 382].

Для металургії недостатньо зафіксувати факт наявності проблеми або бажаного стану; необхідно показати, через які управлінські змінні відбувається перехід від базового рівня CIt до проміжного, адаптаційного або трансформаційного результату. Такими змінними є структура технологічного маршруту, частка електросталеплавильного виробництва, якість енергетичного забезпечення, доступність брухту, наявність MRV, верифікація даних, умови фінансування та регуляторний тиск. Саме вони перетворюють сталий розвиток із загальної декларації на керований процес [39; 40; 159].

Металургійна галузь характеризується високою капіталомісткістю, тривалим строком служби агрегатів і значними витратами зміни технологічного маршруту. Тому рішення, які сьогодні здаються короткостроково дешевшими, можуть закріпити високий CIt на довгий період і створити додаткові CBAM–витрати в майбутньому. Навпаки, більш капіталомісткі проєкти можуть мати нижчу поточну привабливість, але забезпечувати стратегічний виграш через зниження вуглецевих платежів, доступ до зеленого фінансування, покращення ESG–профілю і збереження ринку ЄС [159; 316; 373].

Національна система бенчмаркінгу cit не формується лише на рівні підприємства або лише на рівні держави. Підприємство може реалізувати проєкт модернізації, але не здатне самостійно створити сумісну з ЄС MRV–інфраструктуру, гарантійну систему для здешевлення капіталу, правила зелених закупівель або соціальні програми для промислових громад. Держава, у свою чергу, може створити нормативну рамку, але без корпоративних інвестицій, технологічної дисципліни і верифікованих даних ця рамка залишиться формальною. Саме тому в тексті доцільно постійно пов’язувати мікро–, мезо– і макрорівень управління [40; 373; 376].

У низьковуглецевій трансформації ризик виникає не тільки через технологічну невизначеність. Він також пов’язаний із вартістю капіталу, майбутніми правилами CBAM, якістю даних, довірою імпортерів, доступом до електроенергії, соціальним сприйняттям переходу і здатністю державних

інститутів координувати підтримку. Якщо ці ризики не включені в управління, то навіть технічно правильна модернізація може не забезпечити очікуваного економічного ефекту. Тому необхідно розширювати не опис заходів, а механізм їхньої ризик–орієнтованої інтеграції [39; 40; 159; 316; 373; 376].

Такими доказами можуть бути відхилення CIt від ІПм та ІПо, зміна CBAM–експозиції, кількість верифікованих виробничих даних, зниження WACC, приріст інвестиційного портфеля, частка виробництва, охоплена MRV, або збереження зайнятості у промислових громадах. У цьому полягає відмінність запропонованої логіки від описових підходів: кожен елемент має бути включений у вимірювану систему управління [39; 159; 376].

У звичайних умовах низьковуглецева модернізація могла б розглядатися як поступове оновлення активів. В українських умовах вона збігається з необхідністю відновлення виробничих потужностей, логістики, енергетики, кадрового потенціалу і експортної інфраструктури. Це означає, що кожне рішення про відбудову має одночасно відповідати критеріям промислової доцільності, кліматичної сумісності та соціальної прийнятності. Відновлення, яке не враховує CIt і CBAM, може відтворити довоєнну вразливість; відновлення, яке враховує тільки кліматичний критерій, але не враховує зайнятість і капітал, може бути соціально та фінансово нестійким [40; 316; 373].

Окремий проєкт енергоефективності, MRV або технологічного оновлення має обмежений ефект, якщо він не включений у галузевий портфель, де різні заходи взаємно підсилюють один одного. Наприклад, MRV підвищує якість даних для CBAM, CBAM створює економічний стимул для модернізації, фінансові гарантії знижують WACC, а соціальні програми зменшують ризик опору переходу. У такій системі ефект виникає не як сума ізольованих дій, а як результат їхньої синергії [39; 40; 159; 316; 373; 376].

Отже, індикативні показники питомих викидів парникових газів формують методичну основу для управління сталим розвитком металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації національної економіки. Їх значення

полягає у поєднанні трьох завдань: вимірювання фактичної вуглецеємності, порівняння підприємств і технологічних маршрутів, а також визначення адресних інструментів державного впливу. У такому розумінні бенчмаркінг стає не лише аналітичним методом, а й організаційно–економічним інструментом промислової політики.

2.3. Методика галузевого зонально–сценарного регулювання вуглецеємності металургії

У підрозділі 2.1 економіко-технологічний потенціал низьковуглецевого розвитку було розкрито як сукупність виробничих, технологічних, енергетичних, сировинних, інвестиційних, інформаційних та інституційно-соціальних можливостей галузі. У підрозділі 2.2 ці можливості переведено у кількісну площину через формування мотиваційного та обмежувального індикативних показників питомих викидів. Наступним методичним завданням є поєднання фактичних даних, технологічної структури, індикативного коридору та управлінських інструментів у єдину відтворювану процедуру, придатну для регулювання металургійної галузі на рівні національного господарства.

Необхідність галузевої методики зумовлена тим, що вуглецеємність металургії визначається не лише ефективністю окремої установки. Вона залежить від співвідношення доменно-конвертерного, мартенівського, електросталеплавильного та перспективного DRI–EAF виробництва; доступності низьковуглецевої електроенергії, природного газу і водню; якості залізорудної сировини та металобрухту; стану мережевої, транспортної й газової інфраструктури; експортної орієнтації; вартості капіталу; якості MRV і територіальної концентрації зайнятості. Отже, одиницею управлінського результату має бути не окремий проєкт, а зміна структури та вуглецевого профілю національної металургійної галузі [158; 238; 308; 311–312; 345].

Перехід CBAM до остаточного періоду з 1 січня 2026 р. підвищує вимоги до зіставності меж обліку, фактичності вбудованих викидів і технологічної простежуваності металопродукції. Одночасно відновлення української системи моніторингу, звітності та верифікації не усуває ретроспективних прогалин і неоднакового охоплення технологічних маршрутів. За таких умов методика повинна не маскувати інформаційну невизначеність середніми значеннями, а формально відокремлювати верифіковані факти, офіційні статистичні дані, розрахункові оцінки та сценарні припущення [105; 110; 113; 116; 212; 242–243; 352].

Метою методики є формування доказового галузевого вуглецевого профілю та перетворення його на систему диференційованих управлінських рішень. Для цього необхідно послідовно: визначити межі оцінювання; сформувати п’ятирічну інформаційну базу; сегментувати випуск за технологічними маршрутами; розрахувати середньозважену вуглецеємність; зіставити її з ІПм та ІПо; визначити структуру випуску за регуляторними зонами; встановити причини розриву; оцінити CBAM-вразливість; виконати умовне сценарне переоцінювання; сформувати управлінський пакет і систему контролю результатів.

У межах дослідження автором уперше розроблено методику галузевого зонально–сценарного регулювання вуглецеємності металургії, яка поєднує дворівневий індикативний коридор ІПм–ІПо, технологічну сегментацію випуску, визначення часток виробництва у чотирьох регуляторних зонах, причинну діагностику відхилень, добір диференційованих інструментів та умовне сценарне переоцінювання зміни галузевого профілю до 2030 і 2035 рр. Методика формує наскрізний перехід від бенчмаркінгу розділу 2 до фактичної апробації у 3.1–3.3, технологічного сценарного портфеля у 4.1, моделі управління й MRV/ESG-контуру у 4.2–4.3 та інституційно-фінансового забезпечення у розділі 5.

Коректність методики потребує чіткого розмежування підприємницького та галузевого рівнів. На рівні підприємства оцінюються конкретна установка, інвестиційний проєкт, внутрішня собівартість, строки окупності та корпоративні

KPI. На галузевому рівні визначаються структурні пропорції виробництва, середньозважена вуглецеємність, частки технологічних маршрутів і регуляторних зон, потреба у спільній інфраструктурі, експортна експозиція та соціально-регіональні наслідки. Підприємства у запропонованій конструкції є учасниками системи і джерелами первинних даних, але не кінцевим об'єктом методики.

Таблиця 2.13

Розмежування підприємницького та галузевого рівнів оцінювання вуглецеємності металургії

Критерій розмежування	Підприємницький рівень	Галузевий рівень у запропонованій методиці	Методичний наслідок
Об'єкт оцінювання	установка, підприємство або окремий інвестиційний проєкт	металургійна галузь, технологічні сегменти, види продукції та промислові території	визначення структурної траєкторії галузі
Первинні дані	корпоративна виробнича, екологічна та фінансова звітність	агреговані дані за маршрутами BF–BOF, BF–OHF, scrap-EAF, DRI–EAF та іншими групами	формування зіставного галузевого масиву
Ключові показники	CI установки, собівартість, NPV, IRR, строк окупності	CI_t, відхилення від ІПм/ІПо, частки випуску в зонах, абсолютні викиди, CBAM-експозиція	галузевий вуглецевий профіль
Інструменти впливу	внутрішній CAPEX, операційна ефективність, корпоративні KPI	промислова, енергетична, кліматична, інвестиційна, торговельна і регіональна політика	причинно адресний пакет заходів
Результат	ефект для окремого суб'єкта господарювання	зміна технологічної структури, CI_t, абсолютних викидів, експорту, MRV-охоплення, зайнятості та регіональної стійкості	оцінювання суспільно-галузевої результативності

Джерело: розроблено автором на основі систематизації рівнів управління національним господарством та галузевих підходів [11; 158; 308; 311–312; 345].

Об'єктом методики є процес структурної низьковуглецевої трансформації металургійної галузі. Предметом є сукупність методичних положень щодо формування галузевого вуглецевого профілю, визначення регуляторних зон, вибору управлінського пакета та переоцінювання очікуваних результатів. Мета застосування полягає у забезпеченні узгодженого скорочення питомих і абсолютних викидів за збереження виробничої, експортної, інвестиційної та

соціально-регіональної стійкості. Суб’єктами застосування виступають центральні органи виконавчої влади, галузеві об’єднання, оператори інфраструктури, державні й міжнародні фінансові установи, регіональні органи, незалежні верифікатори та представники соціального діалогу [105; 110; 113; 116; 126; 238; 246; 340; 353].

Методика ґрунтується на принципах галузевої репрезентативності, технологічної зіставності, ієрархії доказовості даних, розмежування питомих і абсолютних ефектів, причинної адресності інструментів, динамічності індикативних меж, сценарної умовності, додатковості державної підтримки, запобігання carbon lock-in, соціальної прийнятності та періодичного зворотного зв’язку. Дотримання цих принципів не дозволяє трактувати падіння виробництва як декарбонізацію або надавати підтримку без підтвердженого галузевого ефекту.

Інформаційна база формується щонайменше за п’ять років. Для кожного показника фіксуються межі системи, рік, технологічний маршрут, одиниця виміру, джерело і статус: F — фактичні верифіковані дані; O — офіційні статистичні або інвентаризаційні дані; E — розрахункова оцінка з розкритим алгоритмом; S — сценарне припущення. У фактичному профілі пріоритет мають F та O. Значення E використовуються лише за відсутності повної відкритої бази та супроводжуються інтервалом невизначеності, а S застосовуються виключно у сценарному блоці 4.1.

Відповідно до Закону України «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів», Порядку здійснення моніторингу і звітності, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23.09.2020 № 960, а також принципів GHG Protocol та ISO 14064-1, кількісна оцінка має спиратися на визначені межі, дані про діяльність, коефіцієнти викидів і незалежну перевірку [110; 116; 299; 326].

Таблиця 2.14

Інформаційні блоки авторської методики та результати технологічної сегментації металургійної галузі

Інформаційний блок	Показники та одиниці виміру	Пріоритетний статус і джерело даних	Функція в методиці	Результат для подальших розрахунків
Виробничий	випуск сталі, чавуну і прокату, млн т; завантаження, %	O/F: офіційна галузева статистика та верифіковані розкриття	визначення бази питомих показників і ваг маршрутів	структура випуску $Q_{s,t}$
Технологічний	частки BF–BOF, BF–OHF, scrap-EAF, DRI–EAF, %; безперервне лиття, %	O/F; за прогалин — E із розкритим алгоритмом	сегментація та визначення технологічної причини розриву	маршрутна карта галузі
Кліматичний	викиди, млн т CO_2-екв.; $CI_{s,t}$ і CI_t, т CO_2-екв./т	F/O: MRV, національна інвентаризація; E лише з інтервалом	розрахунок фактичної інтенсивності та зонального профілю	CI_t, $G_{s,t}$ і частки зон
Енергетично-сировинний	електроенергія, газ, водень, брухт, DRI-сировина, вода — у натуральних одиницях і на т продукції	O/F; для майбутніх обсягів — S	пояснення фізичної здійсненності технологічної зміни	потреба у мережах, енергії, брухті та сировині
Експортно-регуляторний	експорт до ЄС, млн т і %; вбудовані викиди; охоплення CBAM	O/F/E із відокремленням юридичного і діагностичного контурів	визначення торговельного ризику	CBAM-експозиція та групи ризику
Інвестиційний	CAPEX, млрд євро; WACC, %; строк, років; гарантії та частка приватного капіталу, %	F для проєктів; S для сценарного портфеля	перевірка фінансової здійсненності	потреба у гарантіях, страхуванні та blended finance
Інформаційно-соціальний	MRV-охоплення, % випуску; зайнятість, осіб; перекваліфікація, %; територіальна концентрація	F/O; E лише з описом меж	визначення доказовості та соціально-регіональних наслідків	зона невизначеності і параметри справедливого переходу

Джерело: розроблено автором за вимогами системи MRV України, принципами галузевого бенчмаркінгу та міжнародними методиками вимірювання викидів [105; 110; 113; 116; 299; 308; 326].

У дослідженні ця офіційна логіка застосовується для переходу від рівня установок і технологічних сегментів до зіставного галузевого показника; тому середньозважена вуглецеємність визначається за формулою:

$$CI_t = (\Sigma_s E_{s,t}) / (\Sigma_s Q_{s,t}) \qquad (2.4)$$

де CI_t — середньозважена вуглецеємність металургійної галузі у році t, т CO_2-екв./т; $E_{s,t}$ — викиди технологічного сегмента s у році t, т CO_2-екв.; $Q_{s,t}$ — репрезентативний випуск відповідного сегмента, т; s = 1…m — сукупність сегментів, включених до оцінювання. Формула (2.4) відтворює загальноприйнятий принцип співвідношення викидів і даних про діяльність. Авторська складова полягає не у самому діленні, а у правилах відбору даних, сегментації, перевірки охоплення, зонування та управлінської інтерпретації результату.

Технологічна сегментація виконує три функції. По-перше, вона визначає вагу кожного маршруту у випуску та середньому CI_t. По-друге, дозволяє відокремити технологічну причину розриву від енергетичної, сировинної, інформаційної або фінансової. По-третє, забезпечує відповідність управлінського рішення фізичній природі виробництва. Для BF–BOF пріоритетними можуть бути НДТМ, ефективність шихти, DRI/HBI, заміщення активів і рішення для залишкових викидів; для scrap-EAF — якість брухту, низьковуглецева електроенергія та мережі; для DRI–EAF — DRI-якісна сировина, газ або водень, електроенергія, логістика і довгостроковий капітал [158; 238; 308; 311–312; 345].

Послідовність застосування методики подано в табл. 2.15. Її принципова відмінність полягає в тому, що розрахунок CI_t не є завершальним результатом. Значення переходить до зіставлення з ІПм та ІПо, формування зонального профілю, причинної діагностики, оцінювання CBAM-вразливості, умовного сценарного переоцінювання та вибору інструментів. Завдяки цьому показник набуває функції координації промислової, кліматичної, енергетичної, інвестиційної та регіональної політики.

Таблиця 2.15

Етапи авторської методики галузевого зонально–сценарного регулювання вуглецеємності металургії

Етап методики	Зміст процедур	Основні показники та критерії	Проміжний результат	Місце апробації
1. Формування бази	збирання даних не менш як за п’ять років; визначення меж; маркування F/O/E/S	випуск, маршрути, викиди, енергія, сировина, експорт, інвестиції, зайнятість	репрезентативний галузевий масив	3.1
2. Сегментація та розрахунок CI_t	групування випуску за маршрутами; узгодження викидів і знаменника	BF–BOF, BF–OHF, scrap-EAF, DRI–EAF; $CI_{s,t}$; CI_t; MRV-охоплення	структурна карта і фактична вуглецеємність	3.1–3.2
3. Зонування та причинна діагностика	зіставлення з ІПм/ІПо; визначення $G_{s,t}$ і часток випуску; аналіз причин	CI_t; ІПм; ІПо; $G_{s,t}$; технологічні, енергетичні, ресурсні й фінансові чинники	галузевий профіль і карта бар’єрів	3.2
4. Оцінювання CBAM-вразливості	визначення експортної експозиції, якості даних і чутливості до ціни вуглецю	експорт до ЄС; вбудовані викиди; фактичні/default values; CBAM-експозиція	карта торговельної та інформаційної вразливості	3.3
5. Сценарне переоцінювання	умовна зміна структури маршрутів, CI_t, випуску, абсолютних викидів і зон	інерційний, адаптаційний і трансформаційний сценарії на 2030/2035 рр.	сценарні галузеві профілі	4.1
6. Формування моделі управління	розподіл функцій, відповідальності, даних і зворотного зв’язку між стейкхолдерами	CI_t, зони, CBAM, MRV, інвестиції, зайнятість і регіональна стійкість	стейкхолдерно-координована модель	4.2–4.3
7. Інституційно-фінансове забезпечення	поєднання дозволів, інфраструктури, гарантій, фінансування, партнерств і справедливого переходу	CAPEX, WACC, гарантії, строки, відповідальні суб’єкти, соціальні програми	механізми реалізації портфеля	5.1–5.3
8. Оцінювання та коригування	порівняння факту зі сценарієм; MRV ефектів; перегляд меж, інструментів і портфеля	ΔCI_t, ΔE, структура зон, ΔCBAM, MRV-охоплення, інвестиції, зайнятість	оновлена галузева траєкторія	4.3; 5.3

Джерело: розроблено автором.

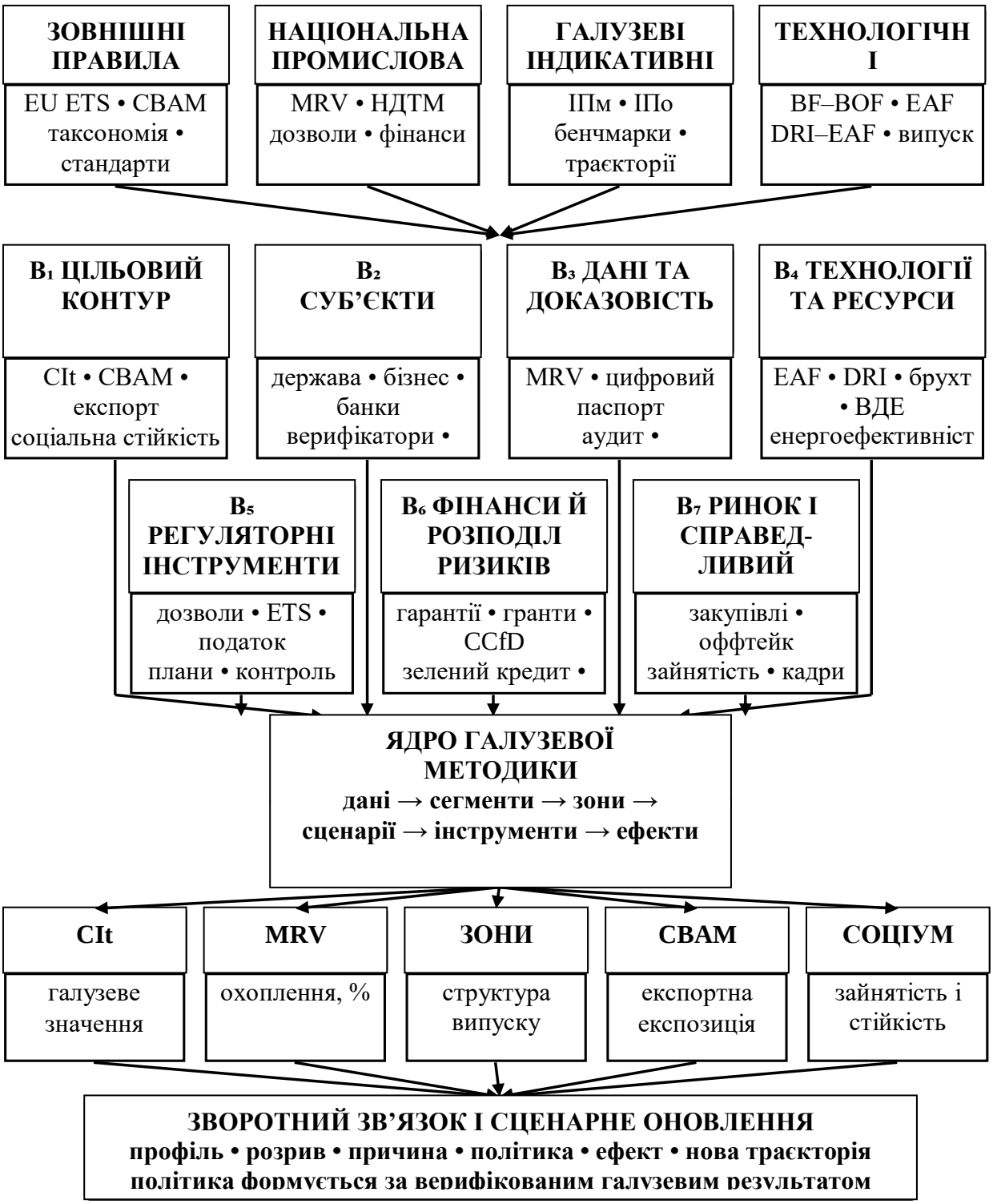


Рис. 2.7. Архітектоніка авторської методики галузевого зонально–сценарного регулювання вуглецеємності металургії

Джерело: розроблено автором за [105; 110; 113; 116; 126; 158; 191; 193; 212; 238; 242–243; 246; 299; 308; 311–312; 326; 340; 345; 352–353; 361; 370; 378].

Архітектоніка на рис. 2.7 розмежовує зовнішній, національний і галузевий контури. Зовнішній контур формують CBAM, EU ETS, стандарти низько- та

майже нульової сталі, таксономія сталого фінансування і міжнародний попит. Національний контур охоплює MRV, інтегровані довкіллєві дозволи, промислову й енергетичну політику, фінансові інструменти та регіональний розвиток. Галузевий контур містить CI_t, ІПм, ІПо, технологічні сегменти, структуру випуску за зонами, CBAM-експозицію, MRV-охоплення та соціально-регіональні параметри. Ядром є замкнений цикл «дані — профіль — причини — інструменти — ефекти — оновлення».

У методичному циклі 2025 р. використовуються сформовані у підрозділі 2.2 значення ІПм = 1,343 т CO_2-екв./т та ІПо = 1,460 т CO_2-екв./т. ІПм виконує мотиваційну функцію і позначає орієнтир для пріоритетного масштабування низьковуглецевих маршрутів. ІПо є межею підвищеної регуляторної уваги, перевищення якої потребує плану структурної модернізації. Ці значення не є незмінними нормативами: вони підлягають періодичному перегляду за єдиною процедурою з урахуванням нових фактичних даних, технологічного прогресу та зміни європейських правил.

Для переведення абсолютного відхилення $CI_{s,t}$ від двох меж у зіставну шкалу автором запропоновано нормалізований вуглецевий розрив. Формула застосовується тому, що одна лише різниця з ІПм або ІПо не показує положення сегмента всередині всього індикативного коридору і не забезпечує єдиного правила зонування:

$$G_{s,t} = (CI_{s,t} - ІПм_{s,t}) / (ІПо_{s,t} - ІПм_{s,t}) \quad (2.5)$$

де $G_{s,t}$ — нормалізований вуглецевий розрив технологічного сегмента s у році t; $CI_{s,t}$ — його фактична вуглецеємність, т CO_2-екв./т; $ІПм_{s,t}$ — мотиваційний індикативний показник; $ІПо_{s,t}$ — обмежувальний індикативний показник. Формула (2.5) є авторським елементом методики. Вона не визначає автоматичної санкції для підприємства, а встановлює положення відповідної частки галузевого випуску у регуляторному коридорі.

Значення $G_{s,t} \leq 0$ відповідає зоні низьковуглецевого лідерства; $0 < G_{s,t} \leq 1$ — зоні керованої адаптації; $G_{s,t} > 1$ — зоні структурної модернізації. Правило якості

даних має пріоритет над числовим результатом: якщо маршрут, межі обліку або викиди не підтверджені, відповідна частка випуску відноситься до зони інформаційної невизначеності. Галузевий профіль формується як частка репрезентативного випуску у кожній зоні, а не як кількість установок.

Таблиця 2.16

Регуляторні зони галузевого вуглецевого профілю та відповідні напрями державної політики

Регуляторна зона	Критерій віднесення випуску	Економічна інтерпретація	Пріоритетні напрями державної політики	Контрольний галузевий результат
Низьковуглецеве лідерство	$G_{s,t} \leq 0$; $CI_{s,t} \leq$ ІПм; дані F/O з достатнім MRV	маршрут відповідає мотиваційному орієнтиру або перевищує його	зелені закупівлі, довгі оффтейки, гарантії масштабування, експортне просування, інфраструктура	зростання частки випуску нижче ІПм
Керована адаптація	$0 < G_{s,t} \leq 1$; ІПм $< CI_{s,t} \leq$ ІПо; дані достатні	розрив може бути скорочений поетапною модернізацією без негайної повної заміни маршруту	НДТМ, енергоефективність, ТЕО, мережі, підтримка брухту, цифровізація, доступне фінансування	переміщення випуску до зони лідерства
Структурна модернізація	$G_{s,t} > 1$; $CI_{s,t} >$ ІПо; дані достатні	маршрут формує підвищений CBAM-ризик і небезпеку довгострокового carbon lock-in	заміщення потужностей, EAF/DRI, енергетична інфраструктура, гарантії, blended finance, справедливий перехід	скорочення частки випуску вище ІПо
Інформаційна невизначеність	неповне MRV, незіставні межі, відсутність верифікації або маршрутної простежуваності	числовий результат не є достатньою основою для остаточного рішення	єдиний реєстр, цифрові шаблони, верифікація, продуктовий паспорт, технічна допомога й аудит	зменшення частки випуску без надійних даних

Джерело: розроблено автором.

Питома вуглецеємність і зональна структура аналізуються разом з абсолютними викидами та обсягом випуску. Зниження CI_t за різкого нарощування виробництва може не забезпечити скорочення загального обсягу викидів, а зменшення абсолютних викидів через втрату потужностей не є сталим

результатом. Тому сценарний блок 4.1 повинен одночасно показувати випуск сталі, структуру технологічних маршрутів, CI_t, абсолютні викиди та частки випуску нижче ІПм, між ІПм та ІПо, вище ІПо і без достатньої доказової бази.

Причинна діагностика здійснюється після зонування. Для кожного сегмента визначається, яка частина розриву може бути скорочена операційними заходами, яка потребує реконструкції або заміни основного технологічного маршруту, а яка залежить від зовнішньої інфраструктури, вартості капіталу, регуляторних строків чи кадрових обмежень. Результатом є карта причин, у якій розмежовано внутрішньогалузеві, інфраструктурні, фінансові, інформаційні та соціально-регіональні бар'єри.

Добір інструментів здійснюється за причиною, а не за формальним принципом «одна зона — одна пільга». Технологічна неефективність потребує НДТМ, аудиту і модернізації; дефіцит мережевої потужності — інвестицій оператора мережі та довгострокового доступу до низьковуглецевої електроенергії; високий WACC і воєнний ризик — гарантій, страхування та blended finance; інформаційна невизначеність — єдиного MRV-контуру і незалежної верифікації; ризики зайнятості — програм перекваліфікації та угод справедливого переходу. Детальний розподіл функцій між стейкхолдерами формується у 4.2, а інституційне й фінансове забезпечення — у розділі 5.

Підрозділ 2.3 формує методику концептуально та процедурно, але не підміняє її фактичну апробацію. У 3.1 створюється п'ятирічна виробнича, технологічна, ринкова та інформаційна база. У 3.2 розраховуються CI_t, відхилення від ІПм та ІПо, нормалізований розрив і структура випуску за зонами. У 3.3 визначається CBAM-вразливість. У 4.1 на основі відкрито сформульованих технологічних, ресурсних та макроекономічних припущень будуються умовні сценарні профілі до 2030 і 2035 рр. У 4.2–4.3 результати переводяться у модель управління та MRV/ESG-контур, а у 5.1–5.3 — у механізми реалізації.



Рис. 2.8. Алгоритм застосування методики галузевого зонально–сценарного регулювання вуглецеємності металургії

Джерело: розроблено автором.

Таблиця 2.17

Наскрізна апробація авторської методики у подальших підрозділах дисертації

Підрозділ	Розрахункове або аналітичне завдання	Вхідні показники методики	Очікуваний результат	Передача результату
2.1–2.2	визначення потенціалу та формування ІПм/ІПо	виробничі, технологічні, енергетичні та кліматичні орієнтири	профіль можливостей і дворівневий індикативний коридор	вхід до методики 2.3
3.1	формування фактичної бази за 2021–2025 рр.	випуск, маршрути, ринки, джерела та статуси даних	репрезентативний масив і ваги сегментів	розрахунки 3.2
3.2	оцінювання галузевого вуглецевого профілю та Net Zero-розриву	CI_t, $CI_{s,t}$, ІПм, ІПо, $G_{s,t}$, частки випуску за зонами	фактичний профіль і карта структурних причин	діагностика 3.3 та припущення 4.1
3.3	діагностика CBAM-вразливості	експорт до ЄС, вбудовані викиди, ціна вуглецю, якість даних	торговельна, технологічна та інформаційна експозиція	інструменти 4.1–5.3
4.1	нормативно-сценарне переоцінювання до 2030 і 2035 рр.	структура маршрутів, випуск, CI_t, викиди, енергія, сировина, CAPEX, MRV	інерційний, адаптаційний і трансформаційний профілі	вибір технологічного портфеля
4.2–4.3	формування моделі управління та MRV/ESG-зворотного зв’язку	зони, CBAM, інвестиції, відповідальність, дані та соціально-регіональні показники	управлінська архітектура і контрольний контур	практичні механізми розділу 5
5.1–5.3	інституційне, фінансове, партнерське й соціальне забезпечення	CAPEX, WACC, гарантії, строки, зайнятість, громади, KPI	механізм реалізації та коригування портфеля	остаточна стратегія реалізації

Джерело: розроблено автором.

Сценарне переоцінювання не є точковим статистичним прогнозом. Воно визначає умовні наслідки зміни технологічної структури за чітко розкритих припущень щодо випуску, часток BF–BOF, scrap-EAF і DRI–EAF, вуглецеємності маршрутів, доступності енергії та сировини, MRV-охоплення, CAPEX і вартості

капіталу. Результативний ефект визначається за принципом додатковості — як відмінність сценарію з управлінським пакетом від інерційної траєкторії.

Таблиця 2.18

Система показників оцінювання ефектів реалізації галузевих заходів низьковуглецевої трансформації

Блок ефекту	Показники та одиниці виміру	База порівняння	Місце розрахунку	Управлінська інтерпретація
Технологічно-екологічний	CI_t та його відхилення від ІПм/ІПо, т CO_2-екв./т; абсолютні викиди, млн т CO_2-екв.; частки маршрутів і зон, %	фактичний профіль 2025 р. та інерційний сценарій	3.2; 4.1	масштаб структурної декарбонізації без підміни її скороченням випуску
Експортний	CBAM-експозиція, млн т CO_2-екв. та, за наявності припущень, млн євро; експорт із фактичними даними, %	фактична експозиція 2025 р. та інерційний сценарій	3.3; 4.1; 5.2	збереження ринкового доступу та зниження торговельного ризику
Інвестиційний	необхідний CAPEX, млрд євро; WACC, %; частка приватного капіталу, %; гарантійне покриття, %	вартість капіталу і портфель без інструментів підтримки	4.1; 5.2	фінансова здійсненність і додатковість публічних ресурсів
Інформаційно-регуляторний	MRV-охоплення, % випуску; верифіковані продуктові дані, %; частка зони невизначеності, %	стан інформаційної інфраструктури 2025 р.	3.2–3.3; 4.3	зменшення інформаційного ризику і транзакційних витрат
Соціально-регіональний	зайнятість, осіб; охоплення перекваліфікацією, %; потреба у нових компетентностях; вплив на місцеві бюджети	базова зайнятість і територіальна структура	4.2; 5.1; 5.3	справедливість і територіальна прийнятність переходу
Управлінський	виконання етапів, %; строки рішень; частка проєктів із визначеною відповідальністю і фінансуванням, %	планова дорожня карта і сценарні контрольні точки	4.2–4.3; 5.3	здатність системи перетворювати дані й ресурси на верифікований результат

Джерело: розроблено автором.

Розрахункові й допоміжні масиви мають подаватися у додатках, тоді як у тексті залишаються вихідні припущення та одна-дві підсумкові таблиці. Економічний та інвестиційний ефекти не можуть визначатися умовними коефіцієнтами або непідтвердженими вагами. Монетарні показники розраховуються лише за наявності відкритих припущень щодо обсягу випуску, ціни енергії, ціни вуглецю, CAPEX, WACC, строку реалізації та частки публічної підтримки. За відсутності такої бази результат подається у натуральних показниках: зниження CI_t, скорочення абсолютних викидів, зміна технологічної структури, обсяг необхідних інвестицій і частка випуску з верифікованими даними.

Соціально-регіональний блок повинен враховувати територіальну концентрацію металургії. Зміна технологічного маршруту впливає на структуру професій, потребу у перекваліфікації, доходи домогосподарств і місцевих бюджетів, попит на суміжні послуги та прийнятність проєктів для громад. Тому сценарна перевага не може обґрунтовуватися лише мінімальним CI_t: вона має включати строки вивільнення і створення робочих місць, охоплення навчанням і потребу у регіональних програмах справедливого переходу.

Інформаційно-регуляторний ефект вимірюється скороченням частки випуску у зоні невизначеності, зростанням MRV-охоплення, питомої ваги верифікованих продуктових даних і технологічної простежуваності. Ці результати мають самостійне економічне значення: вони зменшують ризик використання консервативних значень, поліпшують якість CBAM-декларування, знижують інформаційну премію у вартості капіталу та підвищують керованість державної підтримки.

Обмеження методики пов’язані з неповним охопленням MRV, відмінностями між інвентаризаційним і продуктовим контурами, браком відкритих маршрутних даних, невизначеністю майбутніх цін на енергію і вуглець, воєнними ризиками та швидкістю технологічного розвитку.

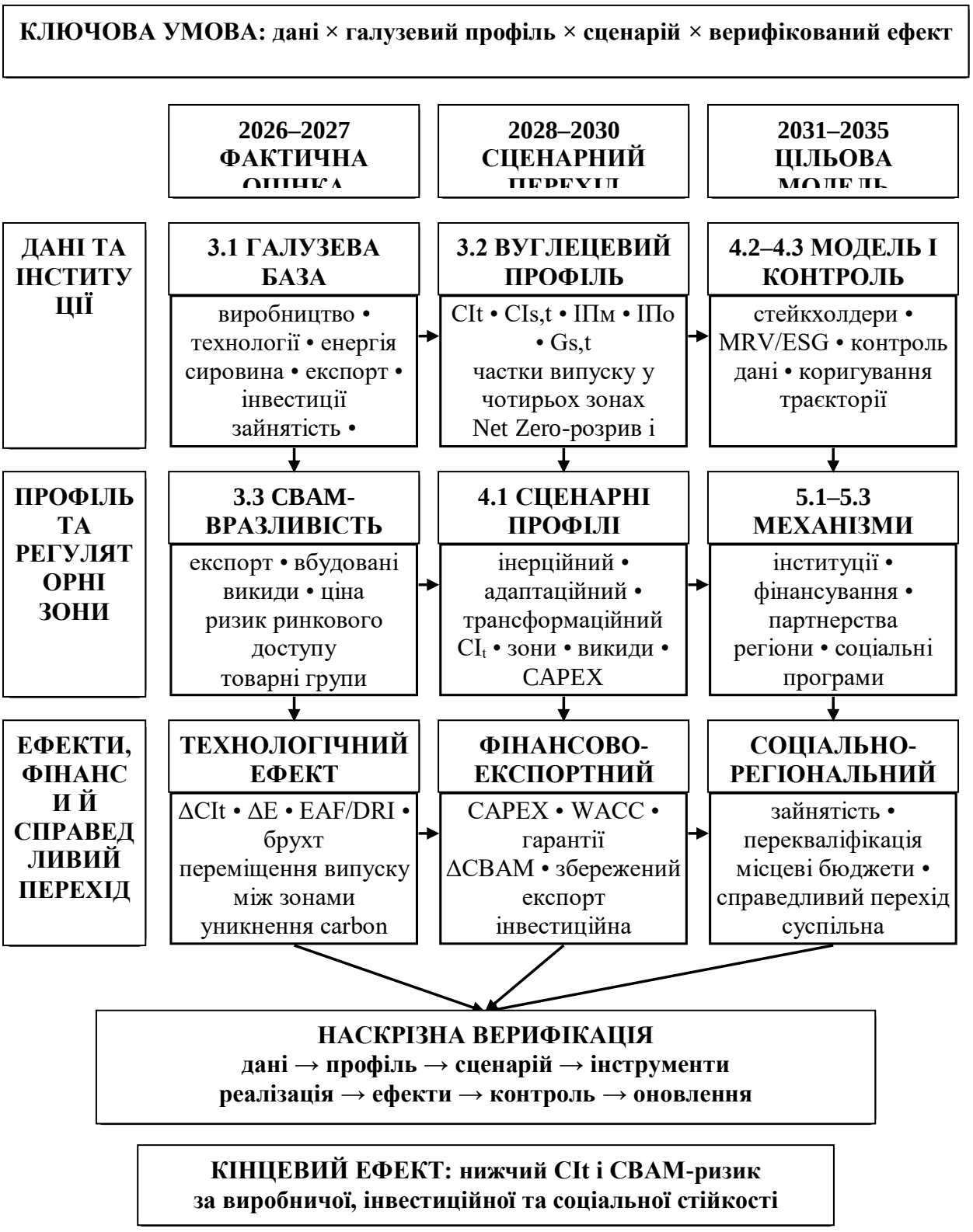


Рис. 2.9. Наскрізна логіка апробації методики та оцінювання ефектів низьковуглецевої трансформації металургії

Джерело: розроблено автором.

Ці обмеження враховуються через маркування статусу даних, зону інформаційної невизначеності, сценарні інтервали, аналіз чутливості та розкриття припущень. Необґрунтована точкова оцінка не допускається.

Наукова новизна полягає не у збільшенні кількості формул, а у новій логіці галузевого регулювання. Уперше в єдиній процедурі поєднано дворівневий індикативний коридор, технологічну сегментацію, пріоритет доказовості даних, зональну структуру випуску, причинну діагностику, оцінювання CBAM-вразливості, умовне сценарне переоцінювання та систему ефектів. На відміну від корпоративного рейтингу, результатом є доказовий профіль і траєкторія структурної трансформації національної металургії.

Таким чином, авторська методика відповідає предметному полю спеціальності 08.00.03: вона оцінює металургійну галузь як структурну складову національного господарства, використовує корпоративні дані лише після агрегування і перевірки, пов’язує вуглецеві показники з технологічними, інвестиційними, експортними та соціально-регіональними параметрами і завершується формуванням управлінського пакета.

Висновки до розділу 2

1. У розділі економіко-технологічний потенціал низьковуглецевого розвитку визначено як здатність взаємопов’язаних виробничих, технологічних, енергетичних, сировинних, інвестиційних, інформаційних, інституційних і кадрових складових забезпечувати відновлення випуску зі скороченням вуглецеємності та збереженням ринкової стійкості.

Розмежовано наявний, мобілізований і реалізований потенціал. Таке розмежування дозволило відокремити формальну наявність ресурсів від їх включення до підготовлених проєктів, інфраструктурних програм, фінансових схем і фактично введених низьковуглецевих потужностей.

2. Обґрунтовано дворівневий індикативний коридор питомих викидів. Мотиваційна межа встановлена на рівні 1,343 т CO_2-екв./т сталі, обмежувальна – 1,460 т CO_2-екв./т сталі. Їх використання забезпечує диференціацію підтримки, адаптаційних вимог і регуляторної уваги.

Розроблено методику галузевого зонально-сценарного регулювання, яка поєднує інформаційну паспортизацію даних, технологічну сегментацію, розрахунок середньозваженої вуглецеємності, зіставлення з індикативними межами, визначення регуляторних зон, причинну діагностику та сценарне переоцінювання.

3. Методика орієнтована на галузевий рівень і не підмінює техніко-економічного аналізу окремих підприємств. Її результатом є зміна структури національної металургії, якості даних, вуглецевого профілю, інвестиційного портфеля та соціально-регіональних умов відтворення.

РОЗДІЛ 3
ДІАГНОСТИКА ВИРОБНИЧОГО, ВУГЛЕЦЕВОГО ТА ЕКСПОРТНО-РЕГУЛЯТОРНОГО ПРОФІЛЮ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

3.1. Аналіз виробництва у металургійній галузі України

Підрозділ 3.1 є першим етапом фактичної апробації авторської методики галузевого зонально–сценарного регулювання вуглецеємності металургії, розробленої у підрозділі 2.3. На цьому етапі не здійснюються передчасний розрахунок галузевої вуглецеємності, зіставлення з ІПм та ІПо або розподіл випуску за регуляторними зонами. Завдання підрозділу полягає у формуванні репрезентативної п’ятирічної бази, визначенні фактичних ваг технологічних сегментів, оцінюванні виробничих і ринкових структурних змін та встановленні меж придатності даних для розрахунків у підрозділах 3.2–3.3 і сценарного переоцінювання у 4.1 [91; 110; 119; 164–172; 238; 242; 312; 348; 368; 380–385].

Галузевий рівень дослідження вимагає відмови від ототожнення стану металургії з результатами одного підприємства. Корпоративні дані можуть використовуватися для уточнення причин змін, перевірки технологічних обмежень і конкретизації інвестиційних потреб, проте підсумковими одиницями аналізу є національна металургійна галузь, види продукції, технологічні сегменти та частки загального випуску. Така побудова відповідає спеціальності 08.00.03 і забезпечує перехід від фактичної бази до галузевого вуглецевого профілю, CBAM-діагностики, технологічного портфеля та моделі управління [91; 110; 119; 238; 242; 312; 335; 348; 368; 385].

Період 2021–2025 рр. обрано як єдиний п’ятирічний аналітичний горизонт. 2021 р. відображає останню повну довоєнну виробничу базу; 2022 р. фіксує руйнування сформованого виробничо-логістичного контуру; 2023 р. характеризує операційну адаптацію до роботи з обмеженим складом активів; 2024 р. — перший рік відчутнішого відновлення; 2025 р. дає змогу перевірити його стійкість.

Одночасне порівняння 2025 р. з 2021 і 2024 рр. відокремлює довгостроковий структурний розрив від короткострокової річної зміни [168–172; 380–384].

Інформаційна база поєднує дані об'єднання «Укрметалургпром» щодо виплавки чавуну, сталі та виробництва готового прокату; статистику World Steel Association щодо технологічної структури, безперервного лиття, світового виробництва і позиції України; галузеві відомості про виробництво, експорт та умовний внутрішній ресурс металопродукції; нормативні матеріали щодо моніторингу, звітності та верифікації викидів. Відповідно до методики 2.3 кожне значення отримує статус: F — фактичні верифіковані дані; O — офіційні статистичні або інвентаризаційні дані; E — розрахункова оцінка з розкритим алгоритмом; S — сценарне припущення. У 3.1 переважають дані O, тоді як E використовуються для відтворюваних структурних розрахунків; значення S у фактичний масив не включаються [91; 110; 119; 164–172; 335; 380–384].

Формування бази ускладнюється тим, що після початку повномасштабної війни частина обов'язкової звітності подавалася та оприлюднювалася в обмеженому режимі. Закон України № 2115-IX послабив строки подання звітності під час воєнного стану, а обов'язковість системи МЗВ була законодавчо відновлена у 2025 р. Тому ряди фізичного виробництва, технологічних часток і експорту є повнішими, ніж відкриті ряди верифікованих викидів, енергоспоживання, капітальних інвестицій та зайнятості за маршрутами. Ця нерівномірність фіксується як інформаційне обмеження, а не компенсується нерозкритими середніми значеннями [91; 110; 119].

Для цілей авторської методики розмежовано фактичний випуск, технологічну структуру та виробничу спроможність. Скорочення тоннажу може автоматично зменшити абсолютні викиди, але не свідчить про технологічну декарбонізацію. Натомість зміна співвідношення киснево-конвертерного, електросталеплавильного та інших процесів формує ваги сегментів у подальшому розрахунку CI_t. Отже, випуск сталі є знаменником питомого показника, а частки

процесів — структурною основою агрегування сегментних значень $CI_{s,t}$ [242; 348; 380–385].

Не менш важливо відокремити виробництво від ринкового результату. Висока експортна орієнтація традиційно забезпечувала валютні надходження, але водночас посилювала залежність від морської логістики, зовнішньої кон'юнктури та кліматичних правил ЄС. Умовний внутрішній ресурс характеризує потенційну пропозицію на внутрішньому ринку, однак не є тотожним фактичному споживанню, оскільки не повністю враховує імпорт, запаси й асортиментні невідповідності. Його динаміка використовується для оцінювання зміни співвідношення між зовнішнім і внутрішнім контурами збуту [164–167; 238; 312; 368].

Аналіз здійснюється у послідовності, передбаченій етапом формування бази методики: фізичний випуск → збережений рівень довоєнного масштабу → технологічна структура → безперервне лиття та структурні співвідношення переділів → експортна орієнтація → міжнародна позиція → аудит інформаційної готовності. Результатом є набір стартових змінних зі статусами F/O/E та зафіксованими обмеженнями, який передається до оцінювання вуглецевого профілю у 3.2, діагностики CBAM-вразливості у 3.3 і формування сценарних припущень у 4.1 [91; 110; 119; 164–172; 238; 242; 312; 335–339; 348; 368; 380–385].

Таблиця 3.1 засвідчує, що виробничий шок 2022 р. охопив усі основні переділи. Виплавка чавуну скоротилася з 21,17 до 6,39 млн т, сталі — з 21,37 до 6,26 млн т, готового прокату — з 19,08 до 5,35 млн т. Синхронність падіння підтверджує системний, а не локальний характер розриву: одночасно були втрачені великі виробничі майданчики, порушені сировинні й транспортні потоки, обмежене енергопостачання та звужені можливості збуту. [168–169; 336–339]

У 2023 р. галузь не повернулася до стійкого зростання. Виплавка чавуну зменшилася до 6,00 млн т, сталь залишилася майже на рівні 2022 р., а прокат зріс лише на 0,022 млн т. Це характеризує 2023 р. як період операційної стабілізації на

різко звуженій базі. Відновлення окремих поставок і адаптація логістики дозволили підтримати роботу доступних агрегатів, але не компенсували втрату виробничих потужностей. [169–170]

Таблиця 3.1

Динаміка виробництва основної металургійної продукції в Україні у 2021–2025 рр.

Показник	2021	2022	2023	2024	2025	Відхилення 2025 р. від		Темп зміни 2025 до	
						2021 р. (+,–)	2024 р. (+,–)	2021 р., %	2024 р., %
Виплавка чавуну, млн т	21,17	6,39	6,00	7,09	7,88	–13,290	0,790	37,2	111,1
Виплавка сталі, млн т	21,37	6,26	6,23	7,58	7,41	–13,960	–0,170	34,7	97,8
Виробництво готового прокату, млн т	19,08	5,350	5,372	6,222	6,52	–12,559	0,299	34,2	104,8

Джерело: складено та розраховано автором за даними «Укрметалургпром» [164–172].

У 2024 р. зростання було суттєвішим: чавун збільшився на 18,1%, сталь — на 21,6%, прокат — на 15,8% порівняно з 2023 р. Однак у 2025 р. траєкторії знову розійшлися. Виплавка чавуну зросла до 7,88 млн т, прокат — до 6,521 млн т, тоді як сталь скоротилася до 7,41 млн т. Отже, позитивна зміна 2024 р. не перетворилася на рівномірне розширення всього технологічного ланцюга. [171–172]

Порівняно з 2021 р. у 2025 р. випуск чавуну залишався нижчим на 13,29 млн т, сталі — на 13,96 млн т, прокату — на 12,559 млн т. Водночас річне відхилення від 2024 р. було значно меншим і різноспрямованим. Така комбінація є принциповою для подальшого сценарного аналізу: короткострокове поліпшення не усуває довгострокового структурного розриву, а тому базовий сценарій не може будуватися як механічне продовження темпів одного року. [168–172]

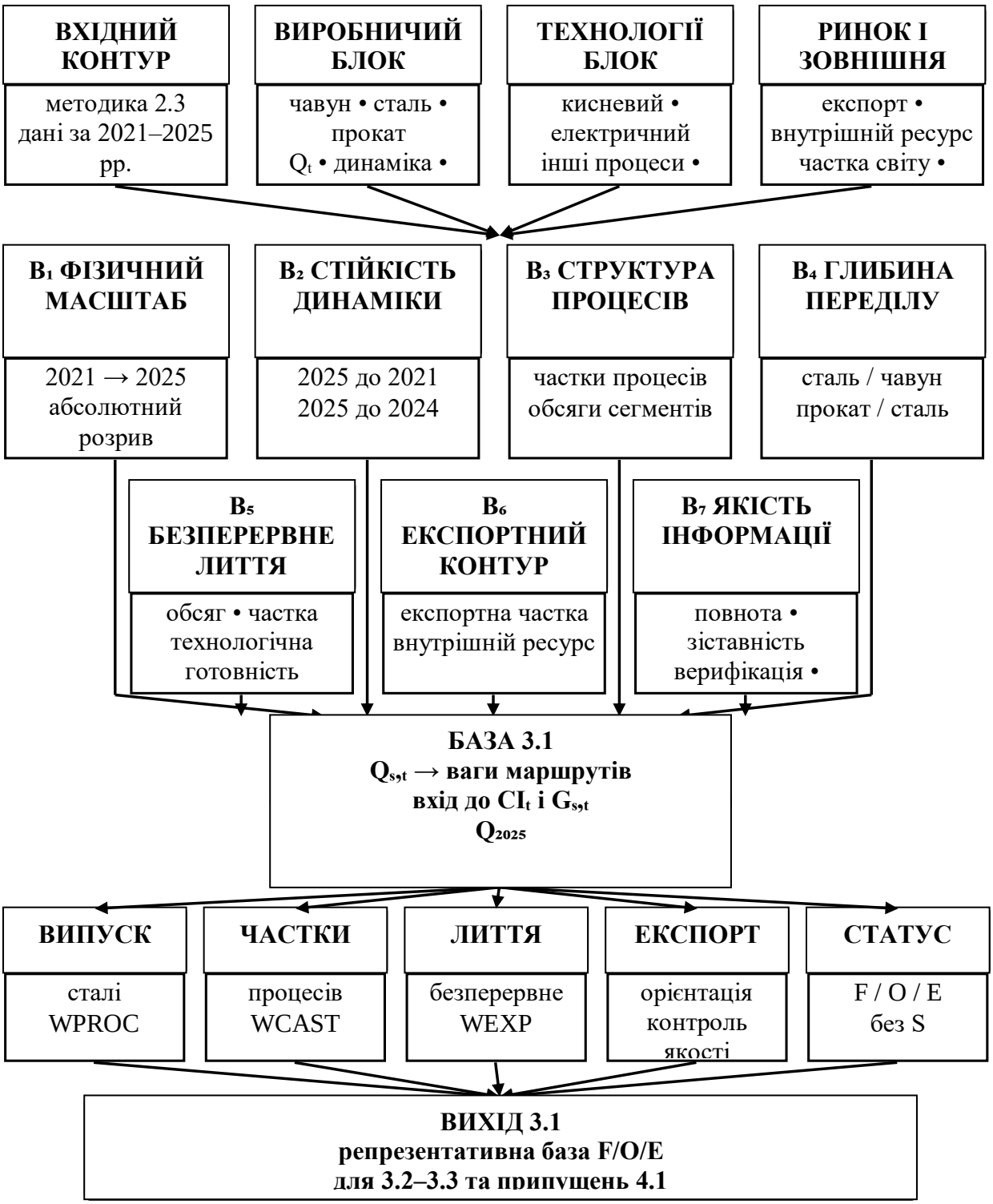


Рис. 3.1. Логіка формування фактичної бази для апробації галузевої зонально–сценарної методики

Джерело: розроблено автором на основі методики, обґрунтованої у підрозділі 2.3.

Рис. 3.1 показує, що підрозділ 3.1 не є автономним статистичним оглядом. Обсяги в табл. 3.1 не підсумовуються в один «сукупний випуск», оскільки чавун,

сталь і прокат є послідовними стадіями одного виробничого ланцюга, а їх додавання спричинило б повторний рахунок фізичної маси. Для авторської методики кожний показник виконує окрему функцію: чавун характеризує завантаження доменного переділу, сталь є базою технологічної сегментації та розрахунку CIt, прокат відображає вихід готовішої до реалізації продукції. [242; 348; 385]

Асиметрія 2025 р., коли чавун зростав за одночасного скорочення сталі, вказує на необхідність дослідження співвідношень між переділами. Вона може бути пов’язана з ремонтами, зміною запасів напівфабрикатів, різною тривалістю виробничих циклів та неоднаковим завантаженням майданчиків. Тому висновок про стан галузі не повинен ґрунтуватися на одному натуральному показнику. [172; 336–339]

Фізичний випуск формує знаменник питомих показників; технологічні частки — ваги сегментів; експорт — масштаб зовнішнього ризику; аудит джерел — межу між офіційними даними O, верифікованими фактами F, розрахунковими оцінками E та майбутніми сценарними припущеннями S. Завдяки цьому невідомі параметри не підмінюються умовними середніми, а виділяються як зона інформаційної невизначеності [91; 110; 119; 238; 242; 312; 348; 368; 385].

Таблиця 3.2

Збережений рівень виробництва металургійної продукції у 2021–2025 рр.

Показник	2021	2022	2023	2024	2025	Відхилення 2025 р. від		Темп зміни 2025 р. до	
						2021 р., в.п.	2024 р., в.п.	2021 р., %	2024 р., %
Збережений рівень виплавки чавуну, 2021 р. = 100%	100,0	30,2	28,3	33,5	37,2	–62,8	3,7	37,2	111,1
Збережений рівень виплавки сталі, 2021 р. = 100%	100,0	29,3	29,2	35,5	34,7	–65,3	–0,8	34,7	97,8
Збережений рівень виробництва прокату, 2021 р. = 100%	100,0	28,0	28,2	32,6	34,2	–65,8	1,6	34,2	104,8

Джерело: розраховано автором за даними табл. 3.1.

Індекси збереженого рівня усувають ілюзію швидкого відновлення, яка може виникати під час аналізу лише ланцюгових темпів. У 2025 р. виробництво чавуну становило 37,2% рівня 2021 р., сталі — 34,7%, прокату — 34,2%. Таким чином, жодний із ключових переділів не повернув навіть половини довоєнного масштабу. [168–172]

Найвищий показник збереження має чавун, однак саме по собі це не означає вищої економічної результативності. Доменний переділ є найбільш вуглецеємною частиною традиційного маршруту, тому відновлення чавуну без випереджального зростання сталі та прокату може збільшувати ресурсне навантаження і не забезпечувати пропорційного приросту доданої вартості. Для наступного етапу важливо оцінити, якими процесами цей чавун перетворюється на сталь. [242; 348; 385]

Відхилення 2025 р. від 2024 р. становило +3,7 в.п. для чавуну, –0,8 в.п. для сталі та +1,6 в.п. для прокату. Це підтверджує, що адаптаційний потенціал різних стадій не є однаковим. Подальші сценарії повинні містити окремі припущення щодо доступності доменних, сталеплавильних і прокатних потужностей, а не один загальний коефіцієнт зростання галузі. [171–172]

Структурний розрив також змінює інвестиційне середовище. Проєкти, розраховані на довоєнні обсяги, можуть не мати достатнього завантаження, а відновлення старих потужностей без перевірки майбутнього попиту створює ризик carbon lock-in. Тому збережений рівень випуску використовується як обмеження сценаріїв, але не як безумовна ціль повернення до 100%. Цільовою має бути конкурентоспроможна структура, а не механічне відтворення попередньої. [238; 242; 312; 348; 368; 385]

Для оцінювання сталого розвитку принципово розрізняти втрату масштабу та зниження вуглецеємності. Якщо абсолютні викиди зменшилися лише через падіння випуску, це не створює низьковуглецевої конкурентної переваги. Саме тому у підрозділі 3.2 фактичний CIt буде зіставлено з IПм та IПо на основі

технологічної структури, а не виведено з одного абсолютного показника викидів. [91; 110; 119; 238; 312; 368]

Таблиця 3.3

Технологічна структура виплавки сталі в Україні у 2021–2025 рр.

Показник	2021	2022	2023	2024	2025	Відхилення 2025 р. від		Темп зміни 2025 р. до	
						2021 р. (+,–)	2024 р. (+,–)	2021 р., %	2024 р., %
Частка киснево-конвертерного процесу, %	76,0	65,5	48,1	49,5	50,0	–26,0	0,5	65,8	101,0
Випуск сталі киснево-конвертерним процесом, млн т	16,26	4,13	2,98	3,76	3,70	–12,56	–0,06	22,7	98,4
Частка електросталеплавильного процесу, %	5,8	10,6	12,3	12,3	6,6	0,8	–5,7	113,8	53,7
Випуск сталі електросталеплавильним процесом, млн т	1,24	0,67	0,76	0,93	0,49	–0,75	–0,45	39,3	52,2
Частка інших процесів (у 2021 р. — мартенівського), %	18,2	23,9	39,6	38,2	43,4	25,2	5,2	238,5	113,6
Випуск сталі іншими процесами, млн т	3,89	1,51	2,46	2,90	3,21	–0,68	0,31	82,5	110,6

Джерело: складено та розраховано автором за даними World Steel Association [380–384]. Примітка: з 2022 р. worldsteel об’єднує мартенівський та інші некласифіковані процеси у категорії «Other».

Технологічна структура у табл. 3.3 є центральним результатом підрозділу для подальшої апробації методики. У 2021 р. 76,0% сталі вироблялося киснево-конвертерним процесом, 5,8% — електросталеплавильним, 18,2% — мартенівським. У 2025 р. частка киснево-конвертерного процесу становила 50,0%, електросталеплавильного — 6,6%, а категорії «інші процеси» — 43,4%. Остання категорія є технологічно недостатньо розкритою у відкритій статистиці worldsteel і не може автоматично ототожнюватися з одним конкретним маршрутом або єдиним рівнем вуглецеємності [380–384].

Зміна часток не тотожна зміні встановлених потужностей. Вона відображає структуру фактичного випуску в конкретному році та залежить від складу працюючих підприємств і агрегатів. Тому її не можна прямо інтерпретувати як завершену модернізацію або деградацію всього виробничого фонду. Водночас саме фактичні частки є обґрунтованими вагами для середньозваженого CI_t, оскільки показують, якими процесами реально вироблено сталь [242; 348; 380–385].

У 2022–2024 рр. частка електросталеплавильного процесу зросла до 10,6–12,3%, але у 2025 р. знизилася до 6,6%. У натуральному вимірі електросталь становила орієнтовно 0,49 млн т проти 1,24 млн т у 2021 р. Тобто відносне поліпшення окремих років було наслідком зміни структури скороченого випуску, а не сталого масштабування низьковуглецевішого маршруту. [380–384]

Частка категорії «інші процеси» у 2025 р. перевищила рівень 2021 р. на 25,2 в.п. і рівень 2024 р. на 5,2 в.п. Проте через відсутність детальної відкритої декомпозиції цей сегмент не слід безпосередньо відносити до високої або низької регуляторної зони. У 3.2 він має бути розкладений за доступними технологічними ознаками або віднесений до зони інформаційної невизначеності із застосуванням офіційних коефіцієнтів та розкриттям меж оцінювання [91; 110; 119; 238; 242; 312; 348; 368; 380–385].

Киснево-конвертерний сегмент скоротився в абсолютному вимірі приблизно з 16,26 до 3,70 млн т. Навіть якщо його питома вуглецеємність залишалася незмінною, зниження абсолютних викидів було б переважно результатом втрати масштабу. Тому подальша оцінка повинна одночасно показувати $CI_{s,t}$ технологічного сегмента, його частку у випуску та абсолютний внесок у викиди. [242; 348; 380–385]

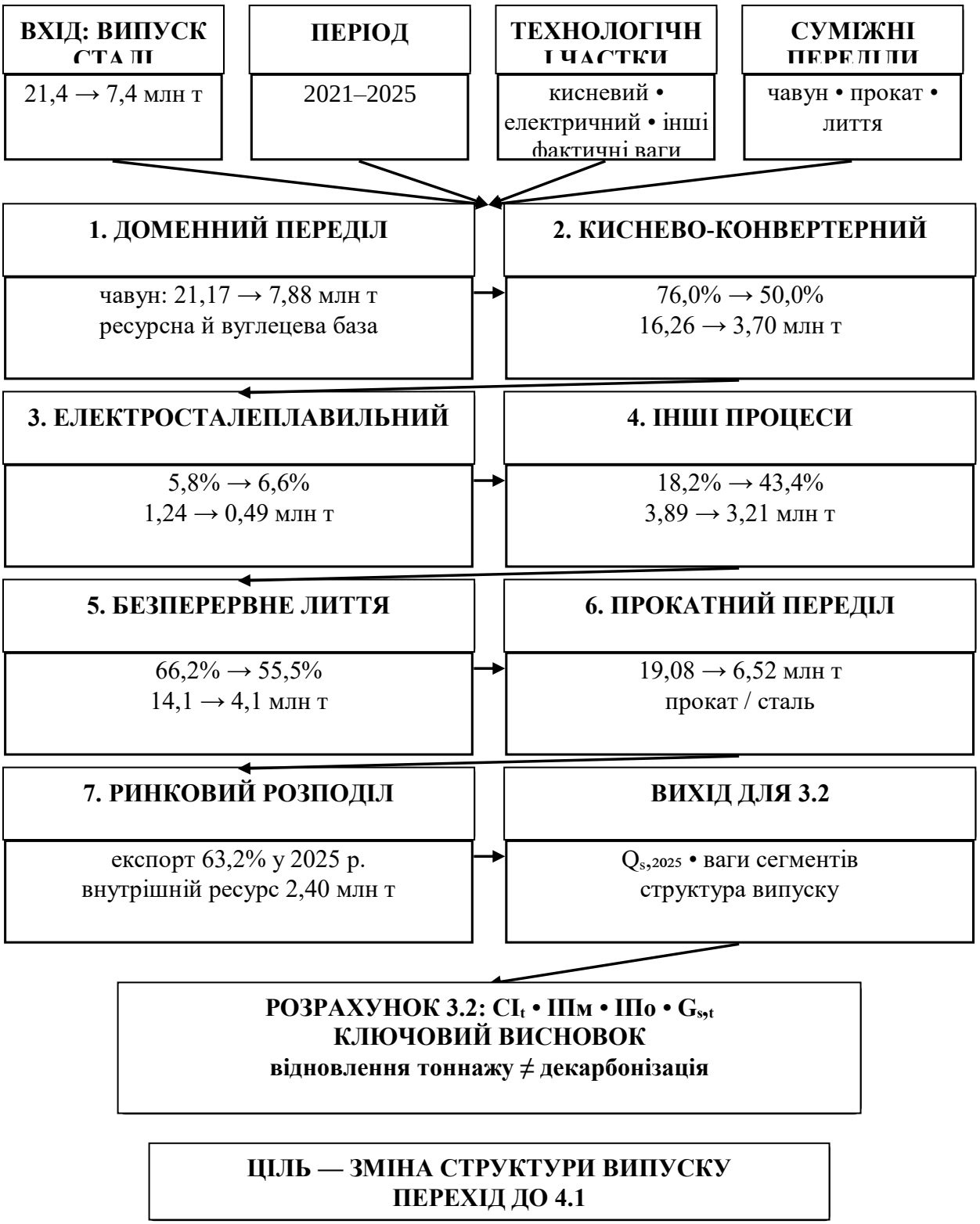


Рис. 3.2. Виробничо-технологічний контур металургійної галузі України та його зміни у 2021–2025 рр.

Джерело: розроблено автором за результатами розрахунків табл. 3.1–3.3 [164–172; 380–384].

Для галузевої політики отримані пропорції означають необхідність керувати не підтримкою одного суб'єкта, а зміною структури загального випуску: масштабуванням EAF, підготовкою умов для DRI–EAF, розвитком системи металобрухту, доступом до низьковуглецевої електроенергії та поетапним заміщенням найбільш вуглецеємних активів. Частка випуску, переміщена між технологічними сегментами, надалі використовується як один із вимірників технологічного ефекту [238; 242; 312; 348; 368; 385].

Рис. 3.2 узагальнює взаємозв'язок переділів і показує, чому однакова динаміка випуску може мати різний низьковуглецевий зміст. За збереження високої частки вуглецеємних процесів зростання сталі підвищує абсолютні викиди, тоді як масштабування EAF або DRI–EAF змінює структуру галузевого профілю. Тому в нормативно-сценарному переоцінюванні 4.1 обсяг випуску й технологічні частки повинні змінюватися як окремі, але взаємопов'язані параметри [238; 242; 312; 348; 368; 385].

Таблиця 3.4

Динаміка безперервного лиття сталі в Україні у 2021–2025 рр.

Показник	2021	2022	2023	2024	2025	Відхилення 2025 р. від		Темп зміни 2025 р. до	
						2021 р. (+,–)	2024 р. (+,–)	2021 р., %	2024 р., %
Випуск безперервнолитої сталі, млн т	14,1	4,7	3,7	4,6	4,1	–10,0	–0,5	29,1	89,1
Частка безперервнолитої сталі у випуску, %	66,2	75,2	59,2	60,6	55,5	–10,7	–5,1	83,8	91,6

Джерело: складено та розраховано автором за даними World Steel Association [380–384].

Безперервне лиття є важливою характеристикою технологічної ефективності, оскільки зменшує кількість проміжних операцій, втрати металу та енергії порівняно з розливанням у виливниці. У 2021 р. в Україні безперервно було відлито 14,1 млн т сталі, або 66,2% загального випуску. У 2025 р. обсяг скоротився до 4,1 млн т, а частка — до 55,5%. [380–384]

Найвища частка за п’ятирічний період спостерігалася у 2022 р. — 75,2%. Однак це не означало технологічного прориву: показник сформувався в умовах різкого скорочення загального виробництва та зміни набору працюючих агрегатів. Подальше зниження до 59,2% у 2023 р., 60,6% у 2024 р. і 55,5% у 2025 р. підтверджує нестійкість структури фактичного випуску. [380–384]

Відхилення 2025 р. від 2021 р. становило –10,7 в.п., а від 2024 р. — –5,1 в.п. Для майбутньої модернізації це означає, що інвестиційний портфель не може обмежуватися зміною способу виплавки. Необхідне узгоджене оновлення розливання, позапічної обробки, підготовки брухту, прокатних переділів і цифрового контролю якості. [242; 348; 385]

Таблиця 3.5

Структурні співвідношення виробничого ланцюга металургії України у 2021–2025 рр.

Показник	2021	2022	2023	2024	2025	Відхилення 2025 р. від		Темп зміни 2025 р. до	
						2021 р. (+,–)	2024 р. (+,–)	2021 р., %	2024 р., %
Співвідношення виплавки сталі до чавуну, коеф.	1,009	0,980	1,038	1,069	0,940	–0,069	–0,129	93,2	88,0
Співвідношення виробництва прокату до виплавки сталі, коеф.	0,893	0,855	0,862	0,821	0,880	–0,013	0,059	98,6	107,2
Частка електросталеплавильного процесу, %	5,8	10,6	12,3	12,3	6,6	0,8	–5,7	113,8	53,7
Частка безперервнолитої сталі, %	66,2	75,2	59,2	60,6	55,5	–10,7	–5,1	83,8	91,6

Джерело: розраховано автором за даними «Укрметалургпром» і World Steel Association [164–172; 380–384].

Показник безперервного лиття не включається безпосередньо до формули середньозваженого CIt, але використовується як пояснювальний фактор технологічного розриву та як індикатор готовності до виробництва продукції з

меншою ресурсоємністю. У розділі 4 він може бути застосований для оцінювання технологічного ефекту запропонованих заходів. [238; 242; 312; 348; 368; 385]

Співвідношення сталі до чавуну у 2025 р. знизилося до 0,940 проти 1,069 у 2024 р. і 1,009 у 2021 р. Значення менше одиниці означає, що фактична виплавка сталі була нижчою за випуск чавуну. Це може свідчити про часові розриви між переділами, зміну запасів, продаж напівфабрикатів або неповне завантаження сталеплавильних потужностей. [168–172]

Співвідношення прокату до сталі у 2025 р. підвищилося до 0,880 порівняно з 0,821 у 2024 р., але залишилося нижчим за 0,893 у 2021 р. Позитивна річна зміна вказує на краще використання прокатного переділу, однак не доводить збільшення частки продукції з високою доданою вартістю, оскільки показник не розкриває сортамент, якість і ціну реалізації. [164–172]

Одночасне зниження частки електросталі та безперервного лиття у 2025 р. показує, що короткострокове збільшення прокату не супроводжувалося однозначним поліпшенням технологічної структури. Саме тому ефективність відновлення має вимірюватися не лише фізичним виходом готової продукції, а й зміною частки низьковуглецевіших процесів. [238; 242; 312; 348; 368; 380–385]

Для подальших розрахунків структурні коефіцієнти виконують функцію внутрішньої перевірки. Якщо сценарне зростання прокату значно випереджатиме випуск сталі без пояснення імпорту напівфабрикатів, використання запасів або зміни виходу придатного, сценарій буде суперечливим. Аналогічно збільшення сталі без відповідного ресурсу чавуну, DRI або брухту потребує окремого сировинного припущення у 4.1 [238; 242; 312; 348; 368; 385].

У 2021 р. на експорт було спрямовано 15,12 млн т металопродукції, або 79,2% її виробництва. У 2022 р. фізичний експорт скоротився до 4,37 млн т, але частка підвищилася до 81,7%, оскільки внутрішній ресурс продукції зменшився ще швидше. Отже, висока частка експорту у кризовому році не була ознакою посилення конкурентоспроможності, а відображала різке звуження внутрішнього попиту і виробництва. [164–165]

Таблиця 3.6

Виробництво та експортна орієнтація металопродукції України у 2021–2025 рр.

Показник	2021	2022	2023	2024	2025	Відхилення 2025 р. від		Темп зміни 2025 р. до	
						2021 р. (+,–)	2024 р. (+,–)	2021 р., %	2024 р., %
Виробництво готового прокату, млн т	19,080	5,350	5,372	6,222	6,521	–12,559	0,299	34,2	104,8
Експорт металопродукції, млн т	15,120	4,370	2,985	4,170	4,123	–10,997	–0,047	27,3	98,9
Частка експорту у виробництві, %	79,2	81,7	55,6	67,0	63,2	–16,0	–3,8	79,8	94,3
Умовний внутрішній ресурс продукції вітчизняного виробництва, млн т	3,960	0,980	2,387	2,052	2,398	–1,562	0,346	60,6	116,9

Джерело: складено та розраховано автором за даними «Укрметалургпром» і Державної митної служби України, узагальненими в галузевих оглядах [164–167].

У 2023 р. експорт зменшився до 2,985 млн т, а його частка — до 55,6%. У 2024 р. відновлення морської логістики сприяло зростанню експорту до 4,17 млн т і частки до 67,0%. У 2025 р. експорт майже не змінився, становивши 4,123 млн т, тоді як виробництво прокату зросло. У результаті експортна частка знизилася до 63,2%. [165–167]

Порівняно з 2021 р. фізичний експорт 2025 р. становив лише 27,3%, тоді як виробництво прокату — 34,2%. Це означає, що експорт відновлювався повільніше за випуск. Певне зростання умовного внутрішнього ресурсу до 2,398 млн т може підтримувати відбудову, машинобудування та оборонні замовлення, але не гарантує фактичного внутрішнього споживання через можливі запаси, імпорт і сортаментні розбіжності. [164–167]

Для авторської методики експортний блок має дві функції. По-перше, він визначає частку галузевого випуску, потенційно чутливу до зовнішніх кліматичних правил. По-друге, він показує, яку частину економічного ефекту

декарбонізації можна пов’язувати зі збереженням ринкового доступу і скороченням CBAM-експозиції. Детальний розрахунок цього ризику переноситься до підрозділу 3.3. [238; 312; 368]

Зниження експортної частки не слід автоматично оцінювати позитивно або негативно. Позитивний зміст виникає тоді, коли внутрішній попит формує довгострокові замовлення на продукцію з вищою доданою вартістю та нижчими викидами. Негативний — коли експорт скорочується через логістичні бар’єри, втрату конкурентоспроможності або невідповідність кліматичним вимогам. [238; 312; 368]

Таблиця 3.7

Позиція України у світовому виробництві сталі у 2021–2025 рр.

Показник	2021	2022	2023	2024	2025	Відхилення 2025 р. від		Темп зміни 2025 р. до	
						2021 р. (+,–)	2024 р. (+,–)	2021 р., %	2024 р., %
Виплавка сталі в Україні, млн т	21,4	6,3	6,2	7,6	7,4	–14,0	–0,2	34,6	97,4
Світове виробництво сталі, млн т	1963	1889	1904	1887	1849	–114,0	–38,0	94,2	98,0
Частка України у світовому виробництві сталі, %	1,09	0,33	0,32	0,40	0,40	–0,690	–0,003	36,7	99,4
Місце України серед країн-виробників сталі, позиція	14	25	24	22	23	+9	+1	–	–

Джерело: складено та розраховано автором за даними World Steel Association [380–384].

У 2021 р. Україна посідала 14-те місце у світі з випуском 21,4 млн т сталі та часткою близько 1,09% світового виробництва. У 2022 р. країна перемістилася на 25-ту позицію, а частка скоротилася приблизно до 0,33%. Падіння на одинадцять місць відбулося на тлі відносно помірного зниження світового випуску, що підкреслює винятково український масштаб виробничого шоку. [380–381]

Таблиця 3.8

Інформаційна готовність показників і статус даних для подальшої апробації авторської методики

Інформаційний блок	Наявна база за 2021–2025 рр. і статус	Основна прогалина	Спосіб використання у дисертації	Місце наступного розрахунку
Виробництво і продукція	O: річні обсяги чавуну, сталі й прокату; повний п'ятирічний ряд	неповні відкриті дані про завантаження потужностей за маршрутами	визначення Q_t, виробничого розриву та стартових обсягів	3.2; 4.1
Технологічні процеси	O/E: частки кисневого, електричного та інших процесів; безперервне лиття	категорія «Other» не розкриває детальний склад; немає повного відкритого реєстру агрегатів	формування ваг сегментів; декомпозиція або зона інформаційної невизначеності	3.2
Викиди та МЗВ	F/O/E: нормативна система діє з 2021 р.; обов'язковість відновлена у 2025 р.	відсутній повний відкритий зіставний ряд верифікованих галузевих викидів за маршрутами	поєднання MRV, інвентаризаційних даних, офіційних коефіцієнтів і меж невизначеності	3.2
Енергія і сировина	O/F; для майбутніх обсягів S: галузеві й корпоративні відомості про ключові обмеження	немає повної відкритої щорічної агрегації споживання за маршрутами	пояснювальні чинники фактичного профілю та обмеження сценаріїв	3.2; 4.1
Експорт і ринки	O/E: обсяг експорту, частка у виробництві, географічні орієнтири	товарні групи не завжди зіставні з технологічними маршрутами	визначення експортної бази та CBAM-вразливості	3.3
Інвестиції і фінанси	F/E/S: корпоративні CAPEX, окремі галузеві оцінки, міжнародні програми	немає повного публічного портфеля проєктів із WACC, строками та джерелами фінансування	сценарні припущення; визначення потреби у гарантіях і blended finance	4.1; 5.2
Зайнятість і регіони	O/F/E: офіційні й корпоративні агрегати, регіональні матеріали	неповна технологічна й територіальна деталізація після 2022 р.	оцінювання справедливого переходу та регіональних ефектів	4.2; 5.1; 5.3

Джерело: розроблено автором за результатами аудиту джерел [91; 110; 119; 164–172; 238; 242; 312; 335–339; 348; 368; 380–385].

У 2023–2024 рр. Україна покращила позицію до 22-го місця, однак у 2025 р. опустилася на 23-тє. При цьому частка у світовому виробництві залишилася близькою до 0,40%. Це означає, що внутрішнє відновлення було недостатнім для стійкого повернення вищої міжнародної позиції, оскільки інші країни паралельно розширювали нові потужності та змінювали технологічну структуру. [382–384]

Порівняно з 2021 р. світове виробництво у 2025 р. скоротилося лише на 5,8%, тоді як українське — приблизно на 65,4%. Отже, втрата частки України пояснюється не загальносвітовою кризою сталі, а руйнуванням і звуженням національного виробничого контуру. Повернення міжнародної конкурентоспроможності потребує не лише приросту тоннажу, а й нижчої вуглецеємності, стабільної логістики, простежуваності та продукції з вищою доданою вартістю. [238; 312; 368; 380–384]

Міжнародна позиція використовується у 4.1 як зовнішній контроль реалістичності. Надмірно оптимістичне збільшення українського випуску без урахування світового попиту, нових потужностей, доступної логістики та кліматичних стандартів може завищити потенціал збуту. Тому сценарні профілі 2030 і 2035 рр. мають поєднувати внутрішні виробничі можливості з ринковими обмеженнями [238; 312; 368].

Таблиця 3.8 фіксує межу фактичної бази та статуси даних. Виробничі, технологічні й експортні показники зі статусом O дозволяють сформувати структуру випуску, ваги сегментів і ринкову експозицію. Водночас відкриті дані F про верифіковані викиди, енергію, інвестиції та зайнятість за маршрутами залишаються неповними. Тому у 3.2–3.3 розрахункові значення E мають супроводжуватися алгоритмом, джерелом і межею невизначеності, а значення S застосовуються лише у 4.1 [91; 110; 119; 164–172; 238; 242; 312; 335–339; 348; 368; 380–385].

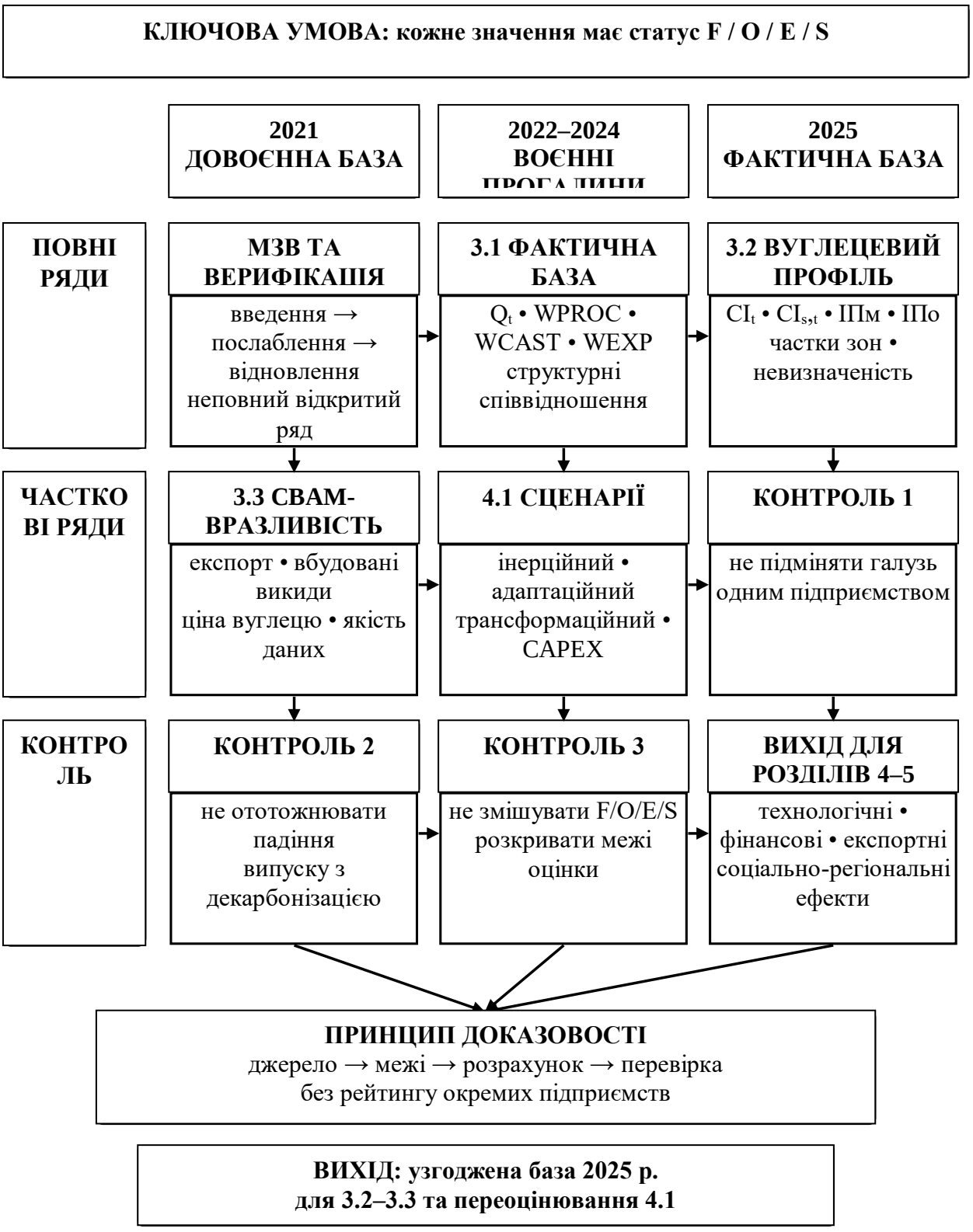


Рис. 3.3. Карта інформаційної готовності та переходу від фактичної бази до розрахунків і ефектів

Джерело: розроблено автором за результатами аудиту інформаційної бази [91; 110; 119; 164–172; 238; 242; 312; 335–339; 348; 368; 380–385].

Особливо важливим є стан МЗВ. Система була введена у дію з 1 січня 2021 р., але воєнні послаблення звітності порушили безперервність відкритого ряду, а відновлення обов'язковості у 2025 р. не створює ретроспективно повної статистики за попередні роки. Це обґрунтовує виділення у 3.2 зони інформаційної невизначеності та окреме визначення частки випуску, охопленої верифікованими даними F [91; 110; 119].

Для 3.2 базовим роком фактичного профілю визначено 2025 р., оскільки він є останнім повним роком аналізу й відображає актуальну структуру випуску: 50,0% киснево-конвертерного, 6,6% електросталеплавильного та 43,4% інших процесів. Дані 2021–2024 рр. використовуються для перевірки стійкості пропорцій, виявлення структурних зламів і формування меж невизначеності, але не замінюють базову структуру 2025 р. [380–384].

Якщо фактичні викиди сегмента не можуть бути повністю агреговані з відкритих джерел, оцінка E повинна ґрунтуватися на офіційних або міжнародно визнаних коефіцієнтах із зазначенням меж системи, знаменника та діапазону застосування. Таке значення не подається як верифікований факт F. Розмежування статусів забезпечує прозорість, порівняність і можливість наступного оновлення профілю після надходження повніших MRV-даних [91; 110; 242; 348; 385].

Рис. 3.3 закріплює наскрізну доказову логіку: у 3.1 формується масив F/O/E та фіксуються прогалини; у 3.2 до нього додається розрахунок галузевого вуглецевого профілю; у 3.3 — зовнішньоторговельна й інформаційна вразливість; у 4.1 — окремо позначені сценарні припущення S. Така послідовність запобігає поданню модельних параметрів як фактичної статистики та корпоративного прикладу як характеристики всієї галузі [91; 110; 119; 238; 242; 312; 348; 368; 385].

Першим підсумковим результатом є встановлення масштабу структурної втрати. У 2025 р. випуск чавуну становив 37,2% рівня 2021 р., сталі — 34,7%, готового прокату — 34,2%. Отже, короткострокові позитивні зміни окремих

переділів відбувалися на базі, що залишалася майже на дві третини меншою за довоєнну [168–172].

Другим результатом є визначення стартових технологічних ваг для 3.2. У 2025 р. на киснево-конвертерний процес припадало 50,0% фактичного випуску сталі, на електросталеплавильний — 6,6%, на категорію інших процесів — 43,4%. Перші два сегменти можуть бути безпосередньо використані для агрегування $CI_{s,t}$, тоді як третій потребує декомпозиції або віднесення до інформаційної невизначеності [91; 110; 119; 380–384].

Третім результатом є оцінка технологічної глибини й узгодженості переділів. Частка безперервного лиття у 2025 р. знизилася до 55,5%, співвідношення сталі до чавуну — до 0,940, а прокату до сталі підвищилося до 0,880. Ці показники не входять безпосередньо до формули CI_t, але є контрольними ознаками технологічної здійсненності та внутрішньої узгодженості майбутніх сценаріїв [164–172; 380–384].

Четвертим результатом є визначення ринкового контуру. У 2025 р. було експортовано 4,123 млн т металопродукції, або 63,2% виробництва. Експорт залишався на 72,7% нижчим за 2021 р., тоді як умовний внутрішній ресурс збільшився порівняно з 2024 р. Ці дані формують базу для діагностики CBAM-вразливості у 3.3 та оцінювання потенціалу внутрішнього попиту на низьковуглецеву продукцію [164–167].

П’ятим результатом є зовнішня перевірка масштабу відновлення. Україна у 2025 р. посідала 23-тє місце у світовому виробництві сталі й формувала близько 0,40% світового випуску проти 14-го місця та приблизно 1,09% у 2021 р. Тому сценарні параметри 4.1 мають враховувати не лише доступність національних активів, а й світовий попит, нові потужності та вимоги до низьковуглецевої сталі [238; 312; 368; 380–384].

Шостим результатом є виявлення інформаційної асиметрії. Відкриті ряди випуску, технологічної структури й експорту є достатніми для формування ваг, але повний галузевий ряд верифікованих викидів за маршрутами відсутній. Тому

у 3.2 окремо визначаються MRV-охоплення, джерела коефіцієнтів та частка випуску, для якої результат має статус E, а не F; у 4.1 сценарні параметри S не змішуються з фактичною базою [91; 110; 119].

Отриманий масив чітко розподіляє подальші розрахунки. У 3.2 визначаються CI_t, $CI_{s,t}$, відхилення від ІПм/ІПо та структура регуляторних зон; у 3.3 до технологічного профілю додаються експортні обсяги, вбудовані викиди, якість даних і вуглецева цінова чутливість; у 4.1 умовно змінюються випуск, технологічні частки, енергетично-сировинні передумови, CAPEX та MRV-охоплення за інерційним, адаптаційним і трансформаційним сценаріями. Базою порівняння для технологічних, експортних, інвестиційних і соціально-регіональних ефектів є 2025 р. Результати 3.1 не призначені для прямого ранжування підприємств: підприємства залишаються джерелами первинних даних і виконавцями проєктів, а об’єктом наукового узагальнення є структура національної металургійної галузі. Таким чином забезпечено перехід «методика → фактична база → вуглецевий профіль → CBAM-діагностика → сценарне переоцінювання → модель управління → механізми реалізації» [91; 110; 119; 164–172; 238; 242; 312; 335–339; 348; 368; 380–385].

3.2. Оцінювання галузевого вуглецевого профілю та розриву металургії України щодо Net Zero

Підрозділ 3.2 є другим етапом фактичної апробації авторської методики галузевого зонально–сценарного регулювання вуглецеємності металургії, розробленої у підрозділі 2.3. Якщо у підрозділі 3.1 сформовано виробничу, технологічну та інформаційну базу за 2021–2025 рр., то на цьому етапі вона доповнюється офіційними інвентаризаційними даними, приводиться до зіставних меж обліку й перетворюється на галузевий вуглецевий профіль. Результатом є не оцінка окремого підприємства, а визначення положення національної металургійної галузі відносно авторського коридору ІПм–ІПо, маршрутних

орієнтирів і довгострокової траєкторії Net Zero [110; 113; 118; 158; 308; 310–312; 316; 341; 358; 374; 378].

Об’єктивність оцінювання залежить насамперед від меж системи. Показник, розрахований лише за прямими технологічними викидами виробництва сталі, не є тотожним показнику, що охоплює доменне виробництво, агломерацію, використання вапняку, електроенергію та частину upstream-процесів. Так само продуктове значення для CBAM не можна механічно прирівнювати до національного інвентаризаційного показника. Тому в роботі розмежовано офіційний інвентаризаційний контур, гармонізований маршрутний контур та продуктовий контур, який буде використано у підрозділі 3.3. [110; 198; 238; 242; 308; 310; 324–325; 341; 352; 358; 374; 378]

Базовим джерелом фактичних викидів є Національний інвентаризаційний документ України 2026 року, що охоплює 1990–2024 рр. У категорії 2.C.1 «Iron and Steel Production» враховано викиди від виробництва чавуну і сталі, використання вапняку та доломіту, а також метан від виробництва чавуну й агломерату. У 2024 р. сукупні викиди категорії становили 13,7117 млн т CO_2-екв., а випуск сирої сталі — 7,5954 млн т. Документ використовує Tier 3 для виробництва чавуну, дані виробників і національні коефіцієнти, що робить цей масив найбільш придатною відкритою основою для галузевого розрахунку. [110; 324–325; 341]

Разом із тим інвентаризаційний контур має обмеження. Він не є повним життєвим циклом металопродукції, не охоплює всі непрямі викиди електроенергії та не відтворює вбудовані викиди кожної експортної товарної позиції. Тому отримане CI_t слід інтерпретувати як національний галузевий індикатор фактичної інтенсивності категорії 2.C.1, придатний для динамічного аналізу й оцінки структурного розриву, але не як готове значення для CBAM-декларації або сертифіката low-emission steel. [110; 198; 238; 242; 308; 310; 341; 352; 358; 374; 378]

Період 2021–2025 рр. збережено відповідно до логіки підрозділу 3.1. За 2021–2024 рр. використовуються офіційні інвентаризаційні дані зі статусом O. Для 2025 р. повний офіційний інвентар ще не сформовано, тому наведено розрахункову оцінку зі статусом E, отриману за фактичними обсягами випуску чавуну і сталі та національними коефіцієнтами 2024 р. Таке значення використовується лише для безперервності п’ятирічного аналітичного ряду, не є юридично придатним для CBAM-декларування і підлягає заміні після оприлюднення офіційного інвентарю [110; 172; 341; 384].

Методичний принцип полягає в одночасному аналізі абсолютних і питомих показників. Скорочення абсолютних викидів унаслідок втрати виробничих потужностей не є декарбонізацією у технологічному значенні. Навпаки, CI_t може погіршуватися за низького завантаження, зміни співвідношення чавуну і сталі, зростання частки вуглецеємного маршруту або використання менш ефективних агрегатів. Саме тому динаміка викидів зіставляється з випуском, технологічними частками і збереженим рівнем довоєнного масштабу. [172; 311–312; 341; 378; 384]

Відповідно до Порядку здійснення моніторингу та звітності, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 960, моніторинг має бути повним, послідовним і охоплювати всі передбачені джерела в межах установки. Національний інвентаризаційний документ агрегує ці принципи на рівні категорії 2.C.1. Для галузевого оцінювання авторської методики застосовується співвідношення сукупних викидів категорії та обсягу сирої сталі, оскільки сталь є спільним кінцевим знаменником основних маршрутів і використовується у міжнародному бенчмаркінгу. [110; 118; 324–325; 341; 374; 378]

$$CI_t = E_2.C.1,_t / Qsteel,_t , \qquad (3.1)$$

де CI_t — галузева вуглецеємність у році t, т CO_2-екв./т сирої сталі; $E_2.C.1,_t$ — сукупні викиди парникових газів категорії 2.C.1 «Виробництво чавуну і сталі» у році t, млн т CO_2-екв.; $Qsteel,_t$ — випуск сирої сталі у році t, млн т. Формула не є новою фізичною залежністю, а є авторським галузевим застосуванням офіційної

інвентаризаційної бази до системи ІПм–ІПо, розробленої у підрозділах 2.2–2.3. [110; 118; 324–325; 341; 374; 378]

Таблиця 3.9

Динаміка викидів і галузевої вуглецеємності металургії України у 2021–2025 рр.

Показник	2021	2022	2023	2024	2025	Відхилення 2025 р. від		Темп зміни 2025 р. до	
						2021 р. (+,–)	2024 р. (+,–)	2021 р., %	2024 р., %
Випуск сирої сталі, млн т	21,366	6,299	6,227	7,595	7,410	–13,956	–0,185	34,7	97,6
Викиди категорії 2.C.1, млн т CO_2-екв.	37,369	11,008	9,694	13,712	14,979	–22,390	1,268	40,1	109,2
CI_t, т CO_2-екв./т	1,749	1,748	1,557	1,805	2,021	0,272	0,216	115,6	112,0

Джерело: розраховано автором за Національним інвентаризаційним документом України 2026 року та даними «Укрметалургпром» [172; 341; 384].

Примітка: дані 2021–2024 рр. мають статус O; значення 2025 р. має статус E за коефіцієнтами 2024 р. і підлягає уточненню після офіційного інвентарю.

Таблиця 3.9 демонструє принципову відмінність між абсолютним і питомим результатом. Сукупні викиди категорії 2.C.1 зменшилися з 37,369 млн т CO_2-екв. у 2021 р. до оцінних 14,979 млн т у 2025 р., тобто на 59,9%. Однак випуск сталі за той самий період скоротився на 65,3%. Оскільки виробничий знаменник зменшився швидше, ніж викиди, CI_t не покращився, а зріс з 1,749 до 2,021 т CO_2-екв./т. [172; 341; 384]

У 2022 р. абсолютні викиди скоротилися майже в 3,4 раза, але CI_t залишився практично на рівні 2021 р. — 1,748 т CO_2-екв./т. Це означає, що різке зменшення навантаження було наслідком втрати масштабу, а не технологічного поліпшення. З позиції управління національним господарством такий результат не може трактуватися як виконання кліматичної цілі, оскільки він супроводжувався падінням випуску, експорту, зайнятості й податкової бази. [172; 341; 384]

Найнижче значення CI_t у п’ятирічному ряду отримано у 2023 р. — 1,557 т CO_2-екв./т. Його формування пов’язане передусім зі зниженням національного коефіцієнта викидів доменного виробництва до 1,29 т CO_2/т чавуну, скороченням використання вапняку й особливостями завантаження доступних агрегатів. Проте

навіть цей найкращий рік не забезпечив входження до авторського обмежувального рівня ІПо = 1,460 т CO_2-екв./т. [341; 374; 378]

У 2024 р. CI_t зріс до 1,805 т CO_2-екв./т. Національний інвентар пояснює збільшення викидів відновленням виробництва чавуну і сталі та підвищенням коефіцієнта викидів чавуну до 1,61 т CO_2/т. Додатково на показник вплинуло використання 2,737 млн т вапняку і доломітового вапняку, що сформувало близько 1,187 млн т CO_2. Отже, повернення фізичного випуску за незміненої технологічної структури відновлює і вуглецеве навантаження. [324–325; 341]

Попередня оцінка 2025 р. становить 2,021 т CO_2-екв./т. Її зростання пояснюється не тільки застосуванням коефіцієнтів 2024 р., а й співвідношенням 7,88 млн т чавуну до 7,41 млн т сталі. Коли випуск вуглецеємного проміжного продукту перевищує випуск сталі, частина викидів доменного переділу розподіляється на менший обсяг кінцевого знаменника. Це підтверджує необхідність управляти не лише технологічним коефіцієнтом окремого агрегату, а структурою всього галузевого ланцюга. [172; 341; 384]

Порівняно з 2024 р. оцінні викиди 2025 р. збільшилися на 9,2%, тоді як CI_t — на 12,0%. Вища динаміка питомого показника означає, що відновлення доменного переділу не було повністю синхронізоване з виплавкою сталі. Для подальшої політики це створює ризик закріплення сировинно-напівфабрикатної моделі, за якої країна несе викиди ранніх переділів, але не завжди отримує повну додану вартість кінцевої металопродукції. [172; 341; 384]

Інвентаризаційна невизначеність категорії 2.C.1 у 2024 р. оцінювалася приблизно у 6,95%. За аналогічного діапазону оцінне CI_t 2025 р. може перебувати орієнтовно в межах 1,88–2,16 т CO_2-екв./т. Навіть нижня межа такого інтервалу перевищує ІПо. Отже, висновок про структурний розрив є стійким до розумної зміни вихідних припущень, хоча точне значення має бути уточнене після завершення офіційної інвентаризації. [324–325; 341]

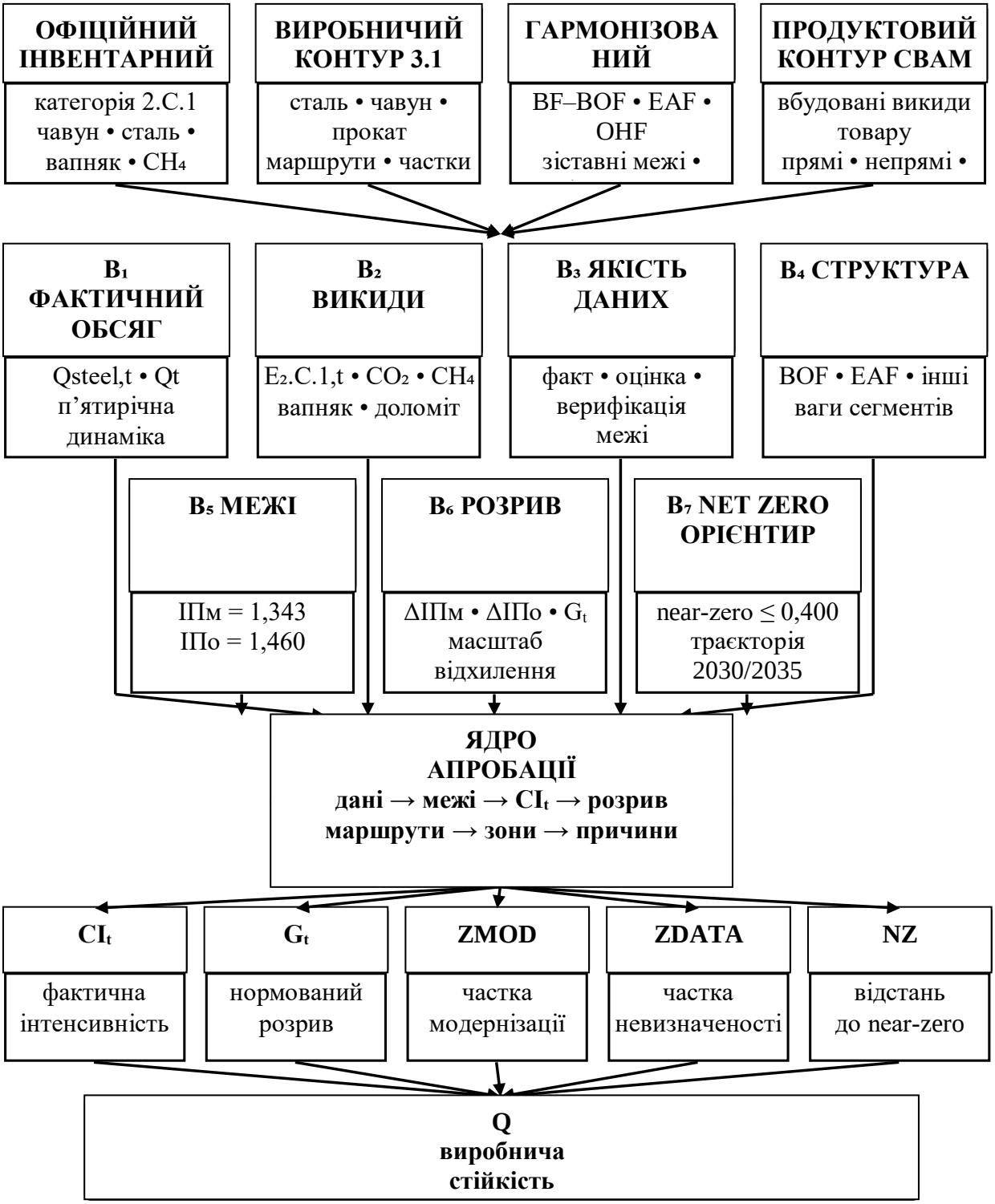


Рис. 3.4. Межі обліку та логіка формування галузевого вуглецевого профілю металургії

Джерело: розроблено автором на основі системи МЗВ України, Національного інвентаризаційного документа, методології worldsteel та правил CBAM [110; 113; 118; 198; 238; 242; 308; 310; 324–325; 341; 352; 358; 374; 378].

Рис. 3.4 показує, що в дисертації не допускається змішування чотирьох різних об'єктів вимірювання. Офіційний інвентар потрібний для національного

тренду; виробничий контур — для пояснення зміни знаменника і технологічних ваг; маршрутний — для зіставлення з бенчмарками; продуктовий — для оцінки CBAM. Саме послідовне з’єднання цих контурів утворює доказову основу управлінської моделі. [110; 113; 118; 198; 238; 242; 308; 310; 324–325; 341; 352; 358; 374; 378]

Для оцінювання положення галузі відносно ІПм та ІПо застосовується нормалізований розрив, включений до авторської методики Зеленіна Юрія Миколайовича у підрозділі 2.3. Його використання дає змогу перевести абсолютне відхилення у безрозмірну шкалу ширини регуляторного коридору та зіставляти роки з різним обсягом випуску. Значення понад одиницю означає вихід за ІПо; чим вищий показник, тим більшим є масштаб структурного відхилення та складнішим має бути пакет технологічних, інвестиційних і регуляторних заходів [158; 191; 299; 311–312; 316; 326; 345; 361].

Формула ґрунтується на авторському інтервальному нормуванні між ІПм та ІПо й узгоджується з міжнародною логікою визначення низько- та майже нульових викидів IEA, OECD, UNIDO і Climate Club [158; 191; 299; 308; 310–312; 316; 326; 345; 361]. У дослідженні вона застосовується не для рейтингування або санкціонування окремих підприємств, а для діагностики національної галузевої траєкторії та визначення масштабу промислової, енергетичної, інвестиційної, торговельної й соціальної політики.

$$G_t = (CI_t – ІПм) / (ІПо – ІПм) . \qquad (3.2)$$

де G_t — нормалізований галузевий вуглецевий розрив у році t; CI_t — фактична або попередньо оцінена вуглецеємність; ІПм = 1,343 т CO_2-екв./т — мотиваційний індикативний показник; ІПо = 1,460 т CO_2-екв./т — обмежувальний індикативний показник. У межах галузевої методики $G_t \leq 0$ відповідає досягненню мотиваційної межі, $0 < G_t \leq 1$ — перебуванню всередині коридору, $G_t > 1$ — перевищенню ІПо. [158; 191; 299; 311–312; 316; 326; 345; 361]

Таблиця 3.10

Динаміка відхилення CI_t від авторських індикативних показників у 2021–2025 рр.

Показник	2021	2022	2023	2024	2025	Відхилення 2025 р. від		Темп зміни 2025 р. до	
						2021 р. (+,–)	2024 р. (+,–)	2021 р., %	2024 р., %
Відхилення CI_t від ІПм, т CO_2-екв./т	0,406	0,405	0,214	0,462	0,678	0,272	0,216	167,1	146,8
Відхилення CI_t від ІПо, т CO_2-екв./т	0,289	0,288	0,097	0,345	0,561	0,272	0,216	194,3	162,6
Нормалізований розрив G_t, коеф.	3,47	3,46	1,83	3,95	5,80	2,33	1,85	167,1	146,8
Необхідне скорочення CI_t для досягнення ІПо, %	16,5	16,5	6,2	19,1	27,8	11,3	8,7	168,1	145,2

Джерело: розраховано автором за результатами табл. 3.9 та індикативними показниками, обґрунтованими у підрозділі 2.2 [158; 311–312; 316; 345].

Примітка: темпи зміни для показників розриву відображають зміну масштабу відхилення, а не позитивну або негативну оцінку самі по собі.

Результати табл. 3.10 засвідчують, що у жодному році досліджуваного періоду галузеве значення не увійшло до коридору ІПм–ІПо. Навіть у 2023 р. перевищення ІПо становило 0,097 т CO_2-екв./т, а G_t — 1,83. Отже, найкращий фактичний результат залишався за межею керованої адаптації й вимагав структурних дій, хоча масштаб розриву був істотно меншим, ніж в інші роки. [158; 311–312; 316; 341; 345]

У 2021–2022 рр. G_t становив близько 3,5. Стабільність коефіцієнта за різко різних обсягів випуску підтверджує, що падіння абсолютних викидів 2022 р. не змінило технологічної якості галузі. Викиди й виробництво скоротилися майже пропорційно, тому положення відносно коридору залишилося практично незмінним. [172; 341; 384]

У 2024 р. нормалізований розрив збільшився до 3,95. Це означає, що фактичний CI_t перевищив ІПо майже на три ширини індикативного коридору понад його верхню межу. Для галузевої політики такий результат вказує на недостатність лише операційної енергоефективності: потрібні зміна технологічних часток, розвиток електросталеплавильного виробництва,

модернізація доменного переділу й підготовка DRI–EAF проєктів. [158; 191; 299; 308; 310–312; 316; 326; 345; 361; 374; 378]

Оцінний G_t 2025 р. дорівнює 5,80. Це найвище значення п’ятирічного ряду, однак воно не повинно автоматично тлумачитися як шестикратне погіршення технології. Коефіцієнт показує відстань від вузького авторського коридору, а його зростання відображає поєднання високого співвідношення чавуну до сталі, оцінних коефіцієнтів 2024 р. і відсутності повної верифікованої маршрутної деталізації за 2025 р. [172; 341; 384]

Для досягнення лише верхньої межі ІПо галузі потрібно було б скоротити CI_t на 16,5% у 2021–2022 рр., на 6,2% у 2023 р., на 19,1% у 2024 р. та орієнтовно на 27,8% у 2025 р. Ці значення є не прогнозом автоматичного скорочення, а мінімальним масштабом результату, який має забезпечити сукупність технологічних і організаційно-економічних заходів. [158; 191; 299; 311–312; 316; 326; 345; 361]

Показник ІПо не є Net Zero-ціллю. Він виконує функцію перехідної межі, досягнення якої зменшує регуляторну й торговельну вразливість, але не створює near-zero steel. Тому вихід до ІПо слід розглядати як перший етап, після якого галузь має переходити до ІПм, маршрутних низьковуглецевих орієнтирів і цільового рівня near-zero. [158; 191; 299; 308; 310–312; 316; 326; 345; 361]

З позиції спеціальності 08.00.03 значення розриву потрібне для формування масштабу державної політики. Чим більша частка вуглецеємних маршрутів і величина G_t, тим вищою є потреба у мережевій інфраструктурі, довгостроковому фінансуванні, гарантіях, зелених закупівлях, системі MRV і програмах справедливого переходу. Індивідуальний інвестиційний проєкт є складовою цієї політики, але не замінює галузевої траєкторії. [158; 191; 299; 326; 345; 361]

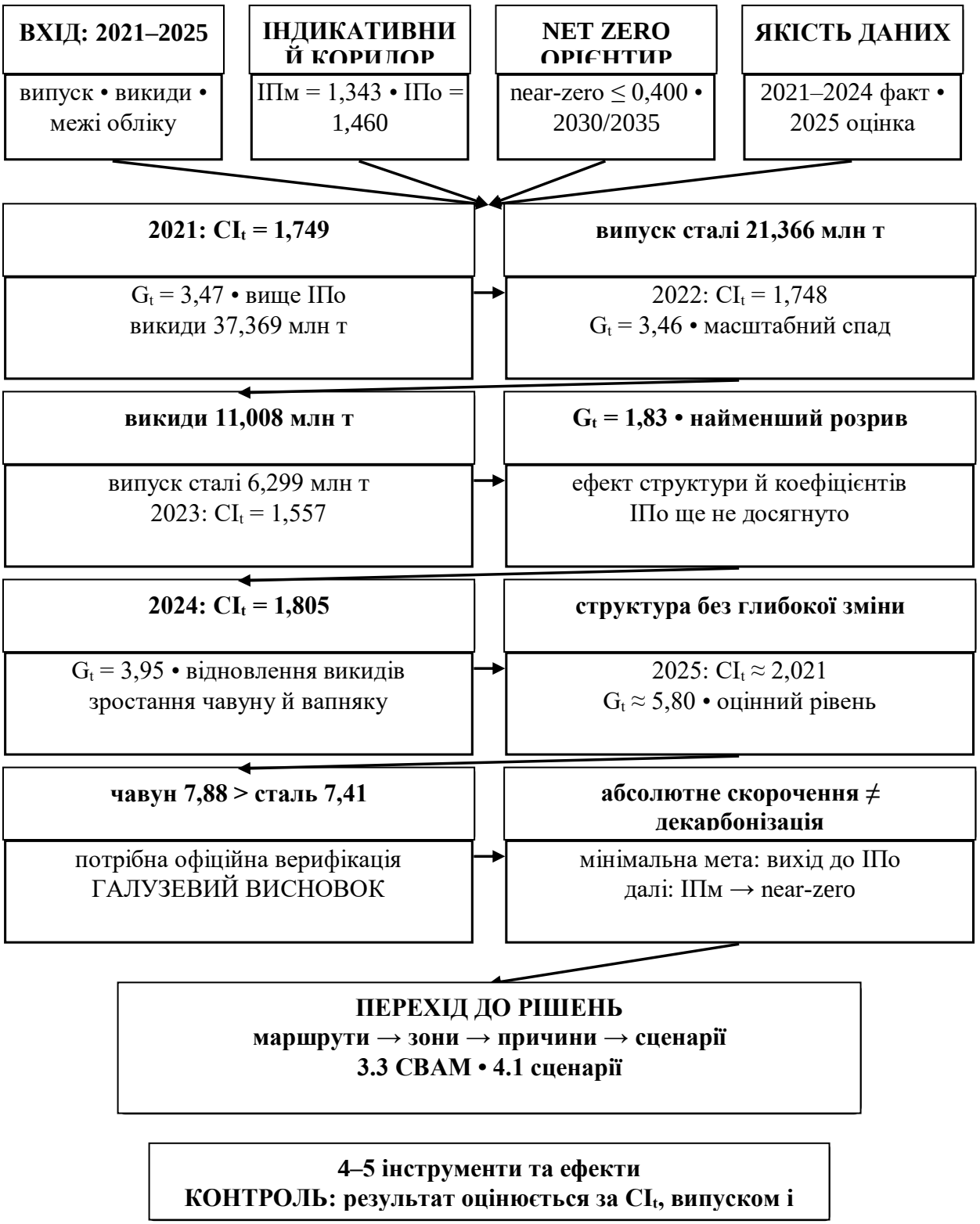


Рис. 3.5. Фактична траєкторія CI_t металургійної галузі України відносно ІПм, ІПо та Net Zero

Джерело: розроблено автором за результатами табл. 3.9–3.10.

Рис. 3.5 підтверджує нелінійний характер фактичної траєкторії. Вона не утворює стійкого тренду декарбонізації: майже незмінний рівень 2021–2022 рр.

змінюється тимчасовим поліпшенням 2023 р., після чого CI_t знову зростає. Тому механічна екстраполяція одного року є методично неприйнятною. У нормативно-сценарному переоцінюванні 4.1 технологічні частки, енергетичні коефіцієнти, обсяг випуску та якість даних мають змінюватися як окремі, але взаємопов'язані параметри [158; 311–312; 316; 341; 345].

Наступним елементом авторської методики є технологічна сегментація. Офіційний CI_t показує середній галузевий результат, але не визначає, яка частина випуску формує розрив. Для цього використовуються частки киснево-конвертерного, електросталеплавильного та інших процесів, визначені у підрозділі 3.1. Через відсутність повного відкритого масиву верифікованих маршрутних викидів застосовується дворівнева процедура: строгий доказовий профіль за даними O/F та профіль чутливості за розрахунковими припущеннями E щодо категорії «інші процеси» [158; 172; 308; 310–312; 316; 341; 345; 374; 378; 384].

Для BF–BOF використано розрахунковий маршрутний орієнтир E на рівні 2,22 т CO_2-екв./т як середину інтервалу ІПм = 2,10 та ІПо = 2,34 т CO_2-екв./т. Для scrap-EAF прийнято 0,60 т CO_2-екв./т як округлену середину інтервалу 0,50–0,69. Для категорії «інші процеси» точне значення не приймається як факт: у профілі чутливості використано 2,50 т CO_2-екв./т з інтервалом 2,35–2,65, що відображає консервативний рівень мартенівського або іншого вуглецеємного маршруту. Усі такі значення мають статус E і підлягають заміні після накопичення верифікованих маршрутних даних F [158; 191; 299; 308; 310–312; 316; 326; 345; 361; 374; 378].

Такі коефіцієнти не замінюють національної верифікації. Їх функція полягає у визначенні структурного сигналу: чи може зміна часток маршрутів пояснити високий CI_t і яка частина випуску потребує модернізації або уточнення даних. Після накопичення реєстрових MRV-значень точкові припущення мають бути замінені медіанами й квартилями національного розподілу. [110; 113; 118; 158; 308; 310–312; 316; 345; 374; 378]

Таблиця 3.11

Контроль розбіжності між інвентаризаційним і гармонізованим маршрутним контурами у 2021–2025 рр.

Показник	2021	2022	2023	2024	2025	Відхилення 2025 р. від		Темп зміни 2025 р. до	
						2021 р. (+,–)	2024 р. (+,–)	2021 р., %	2024 р., %
Офіційний інвентаризаційний CI_t, т CO_2-екв./т	1,749	1,748	1,557	1,805	2,021	0,272	0,216	115,6	112,0
Гармонізований маршрутний CI_t, т CO_2-екв./т	2,177	2,115	2,132	2,128	2,235	0,058	0,107	102,6	105,0
Різниця маршрутного та інвентаризаційного контурів, т CO_2-екв./т	0,428	0,368	0,575	0,322	0,213	–0,215	–0,109	49,8	66,1

Джерело: розраховано автором за технологічними частками підрозділу 3.1, маршрутними межами підрозділу 2.2 та даними табл. 3.9 [158; 172; 308; 310–312; 316; 341; 345; 374; 378; 384].

Примітка: гармонізований маршрутний CI_t є структурним аналітичним показником за єдиними точковими коефіцієнтами, а не офіційним звітом про викиди.

Таблиця 3.11 показує, що маршрутний індикатор в усі роки перевищує інвентаризаційний CI_t. Це очікувано, оскільки маршрутні орієнтири відображають ширшу зіставну межу та консервативне припущення щодо «інших процесів». Різниця не є статистичною помилкою; вона є оцінкою ефекту межі системи і якості маршрутної деталізації. [158; 308; 310–312; 316; 341; 345; 374; 378]

У 2021 р. різниця становила близько 0,428 т CO_2-екв./т, у 2022 р. — 0,367, у 2023 р. — 0,575, у 2024 р. — 0,323, а у 2025 р. скоротилася до 0,213. Найбільше відхилення 2023 р. пояснюється тим, що офіційний інвентар зафіксував низький національний коефіцієнт доменного виробництва, тоді як маршрутна оцінка зберігає стандартизований коефіцієнт для структурного порівняння. [341; 374; 378]

Зближення двох контурів у 2025 р. не означає підвищення точності офіційних даних, оскільки значення року є оцінним. Воно свідчить, що за високого співвідношення чавуну до сталі інвентаризаційна інтенсивність

наближається до маршрутного структурного рівня. Після появи офіційного інвентарю 2025 р. цей висновок має бути повторно перевірений. [172; 341; 384]

Для управлінських рішень доцільно використовувати обидва контури. Офіційний CI_t є базою контролю фактичного результату, а маршрутний — базою вибору технологічного напряму. Політика, що реагує лише на офіційне середнє, може не помітити структурний carbon lock-in; політика, що використовує лише міжнародний коефіцієнт, може ігнорувати українські фактичні умови. [158; 191; 299; 308; 310–312; 316; 326; 345; 361; 374; 378]

Таблиця 3.12

Технологічний вуглецевий профіль випуску сталі України у 2025 р.

Технологічний сегмент	Випуск, млн т; частка, %	Оцінний $CI_{s,t}$, т CO_2-екв./т	ІПм / ІПо, т CO_2-екв./т	$G_{s,t}$	Регулятор на зона	Статус даних
Киснево-конвертерний BF–BOF	3,70; 50,0	2,22	2,10 / 2,34	0,50	Керована адаптація	О — частка випуску; Е — маршрутний CI; потрібне подальше підтвердження F
Електросталеплавильний scrap-EAF	0,49; 6,6	0,60	0,50 / 0,69	0,53	Керована адаптація	О — частка випуску; Е — CI, залежний від електроенергії та шихти; потрібні F-дані
Інші процеси — строгий профіль	3,21; 43,4	не визначено	потрібна окрема маршрутна межа	не визначено	Інформаційна невизначеність	О — агрегована частка; маршрут не розкрито; зона інформаційної невизначеності
Інші процеси — профіль чутливості	3,21; 43,4	2,50 (2,35–2,65)	2,10 / 2,34 як тимчасовий проксі	>1,0	Структурна модернізація	Е — консервативне припущення для аналізу чутливості; не є фактичним маршрутом

Джерело: сформовано та розраховано автором за даними підрозділів 2.2, 2.3 і 3.1 та міжнародними маршрутними орієнтирами [158; 172; 191; 299; 308; 310–312; 316; 326; 345; 361; 374; 378; 384].

Таблиця 3.12 дає змогу перейти від середнього CI_t до структури випуску. П’ятдесят відсотків сталі вироблялося киснево-конвертерним способом і за точковим маршрутним орієнтиром перебувало в зоні керованої адаптації. Це означає, що сегмент є кращим за верхню маршрутну межу ІПо = 2,34, але не досягає мотиваційного рівня 2,10; його короткостроковий резерв пов’язаний з

НДТМ, шихтою, енергоефективністю та підготовкою структурного переходу. [158; 191; 299; 308; 310–312; 316; 326; 345; 361; 374; 378]

Електросталеплавильний сегмент охоплював лише 6,6% випуску. Його точкове значення 0,60 т CO_2-екв./т також відповідає зоні керованої адаптації, але перебуває значно ближче до near-zero траєкторії. Вирішальними чинниками є вуглецеємність електроенергії, частка чавуну або DRI у шихті, якість брухту і простежуваність походження енергії. [158; 191; 299; 308; 310–312; 316; 326; 345; 361; 374; 378]

Найскладнішим є інтерпретування 43,4% «інших процесів». У строгому профілі ця частка не може бути автоматично віднесена до мартенівського виробництва без детальної відкритої маршрутної верифікації, тому вона формує зону інформаційної невизначеності. Такий підхід запобігає підміні факту припущенням і відповідає принципу доказовості авторської методики. [110; 113; 118; 172; 384]

Водночас ігнорування потенційної вуглецеємності «інших процесів» створило б протилежну помилку. Тому профіль чутливості використовує консервативний інтервал 2,35–2,65 т CO_2-екв./т. За його серединою сегмент перевищує тимчасову верхню межу і належить до зони структурної модернізації. Отже, незалежно від обраного варіанта 43,4% випуску потребує негайної управлінської дії: або верифікації, або технологічного переходу. [158; 191; 299; 308; 310–312; 316; 326; 345; 361; 374; 378]

Запропонована процедура не формує рейтинг підприємств. Її результатом є визначення частки національного випуску, для якої потрібна державна інфраструктурна, регуляторна та фінансова політика. Підприємства надають первинні дані й реалізують проєкти, але управлінське рішення стосується розвитку маршрутів, енергомереж, ринку брухту, зеленого фінансування та промислових регіонів. [158; 191; 299; 326; 345; 361]

Таблиця 3.13

Структура регуляторних зон металургійної галузі України у 2025 р. за альтернативними профілями

Варіант профілю	Низькову глецеве лідерство, %	Керована адаптація, %	Структурна модерніза ція, %	Інформаційна невизначеність, %	Галузева інтерпретація
Строгий доказовий профіль	0,0	56,6	0,0	43,4	мінімум 56,6% випуску потребує керованої адаптації; 43,4% — маршрутного розкриття та MRV
Профіль чутливості для «інших процесів»	0,0	56,6	43,4	0,0	за підтвердження вуглецеємного OHF/іншого маршруту майже половина випуску потребує структурної модернізації
Стійкий до припущень висновок	0,0	56,6	не менш як 0,0 і до 43,4	від 0,0 до 43,4	100% випуску не належить до зони лідерства; 43,4% є критичною часткою незалежно від природи ризику

Джерело: розраховано автором за результатами табл. 3.12.

Таблиця 3.13 є безпосереднім результатом уперше запропонованої галузевої зонально-сценарної методики. У строгому профілі 56,6% випуску належить до керованої адаптації, а 43,4% — до інформаційної невизначеності. У профілі чутливості частка невизначеності переходить до структурної модернізації. В обох випадках зона низьковуглецевого лідерства відсутня. [158; 172; 191; 299; 311–312; 316; 326; 345; 361; 384]

Стійкий висновок полягає не в точному виборі між 0 і 43,4% структурної модернізації, а в тому, що вся галузь перебуває поза зоною лідерства, а майже половина випуску є критичною за технологічним або інформаційним критерієм. Тому першим етапом державної політики має бути одночасне розкриття маршрутних даних і підготовка проєктів заміщення вуглецеємних потужностей. [110; 113; 118; 158; 345]

Управлінська реакція на інформаційну невизначеність і структурну модернізацію відрізняється за інструментом, але збігається за строковістю. У першому випадку потрібні реєстр, цифрові плани моніторингу, верифікація і продуктова простежуваність; у другому — ТЕО EAF/DRI, мережеві рішення,

фінансові гарантії, зелені закупівлі та програми справедливого переходу. [110; 113; 118; 158; 191; 299; 326; 345; 361]

Збереження 56,6% у зоні керованої адаптації не означає достатності поточного стану. Цей випуск має перейти до зони лідерства через зниження маршрутної інтенсивності, чистішу електроенергію, збільшення частки брухту та підготовку до DRI–EAF. Отже, керована адаптація є не статусом підтримки без умов, а часовим коридором для досягнення вимірюваного результату. [158; 191; 299; 308; 310–312; 316; 326; 345; 361; 374; 378]

Таблиця 3.14

Динаміка галузевого розриву металургії України щодо орієнтира near-zero steel у 2021–2025 рр.

Показник	2021	2022	2023	2024	2025	Відхилення 2025 р. від		Темп зміни 2025 р. до	
						2021 р. (+,–)	2024 р. (+,–)	2021 р., %	2024 р., %
CI_t, т CO_2-екв./т	1,749	1,748	1,557	1,805	2,021	0,272	0,216	115,6	112,0
Перевищення near-zero рівня 0,400, т CO_2-екв./т	1,349	1,348	1,157	1,405	1,621	0,272	0,216	120,2	115,4
Необхідне скорочення CI_t до near-zero, %	77,1	77,1	74,3	77,8	80,2	3,1	2,4	104,0	103,0
Співвідношення CI_t до near-zero, разів	4,37	4,37	3,89	4,51	5,05	0,68	0,54	115,6	112,0

Джерело: розраховано автором за табл. 3.9 і орієнтиром IEA для near-zero steel, що залежить від частки брухту та для первинної сталі наближається до 0,400 т CO_2-екв./т [308; 310–311; 316].

Примітка: рівень 0,400 т CO_2-екв./т використано як стратегічний верхній орієнтир near-zero для первиннішого маршруту; для високої частки брухту міжнародні пороги можуть бути нижчими.

Таблиця 3.14 показує, що навіть досягнення ІПо не усуває довгострокового Net Zero-розриву. У 2021 р. CI_t перевищував орієнтир 0,400 на 1,349 т CO_2-екв./т, у 2024 р. — на 1,405, а оцінно у 2025 р. — на 1,622. Для досягнення near-zero потрібне скорочення інтенсивності приблизно на 74–80% залежно від року. [308; 310–311; 316]

У 2023 р. відносний розрив був найменшим, але CI_t все одно перевищував near-zero майже у 3,9 раза. Це підтверджує, що навіть оптимізація чинних потужностей не забезпечує повної декарбонізації. Необхідний перехід від поліпшення BF–BOF до зміни матеріального й енергетичного маршруту: EAF, DRI–EAF, водневого відновлення, чистої електроенергії та, для залишкових викидів, CCUS. [158; 191; 299; 308; 310–312; 316; 326; 345; 361]

Оцінний показник 2025 р. перевищує near-zero приблизно у 5,05 раза. Такий масштаб не означає, що галузь має одномоментно закрити вуглецеємні потужності. Він визначає довжину траєкторії та необхідність етапності: до 2030 р. — вихід до ІПо й підготовка проєктів; до 2035 р. — зміна технологічної структури; після 2035 р. — масштабування near-zero маршрутів. [158; 191; 299; 308; 310–312; 316; 326; 345; 361]

Net Zero-розрив має оцінюватися разом із виробничою стійкістю. Механічне зменшення випуску до нуля математично усуває абсолютні викиди, але суперечить завданням відбудови, оборонної спроможності, інфраструктури та експорту. Цільовою є не деіндустріалізація, а зниження CI_t за відновлення конкурентоспроможного випуску і збереження соціально-регіональної стабільності. [158; 191; 299; 326; 345; 368]

Тому фактичний профіль 2025 р. використовується як база не лише екологічного, а й економічного ефекту. У підрозділі 4.1 кожний сценарій має одночасно змінювати CI_t, абсолютні викиди, випуск сталі, частки технологічних маршрутів і потребу в CAPEX. У підрозділах 4.2–4.3 та розділі 5 результат заходів оцінюватиметься як переміщення випуску між зонами, скорочення CBAM-експозиції, мобілізація інвестицій, зміна WACC, розширення MRV-охоплення і збереження зайнятості [158; 191; 198; 238; 242; 299; 326; 345; 352; 361].

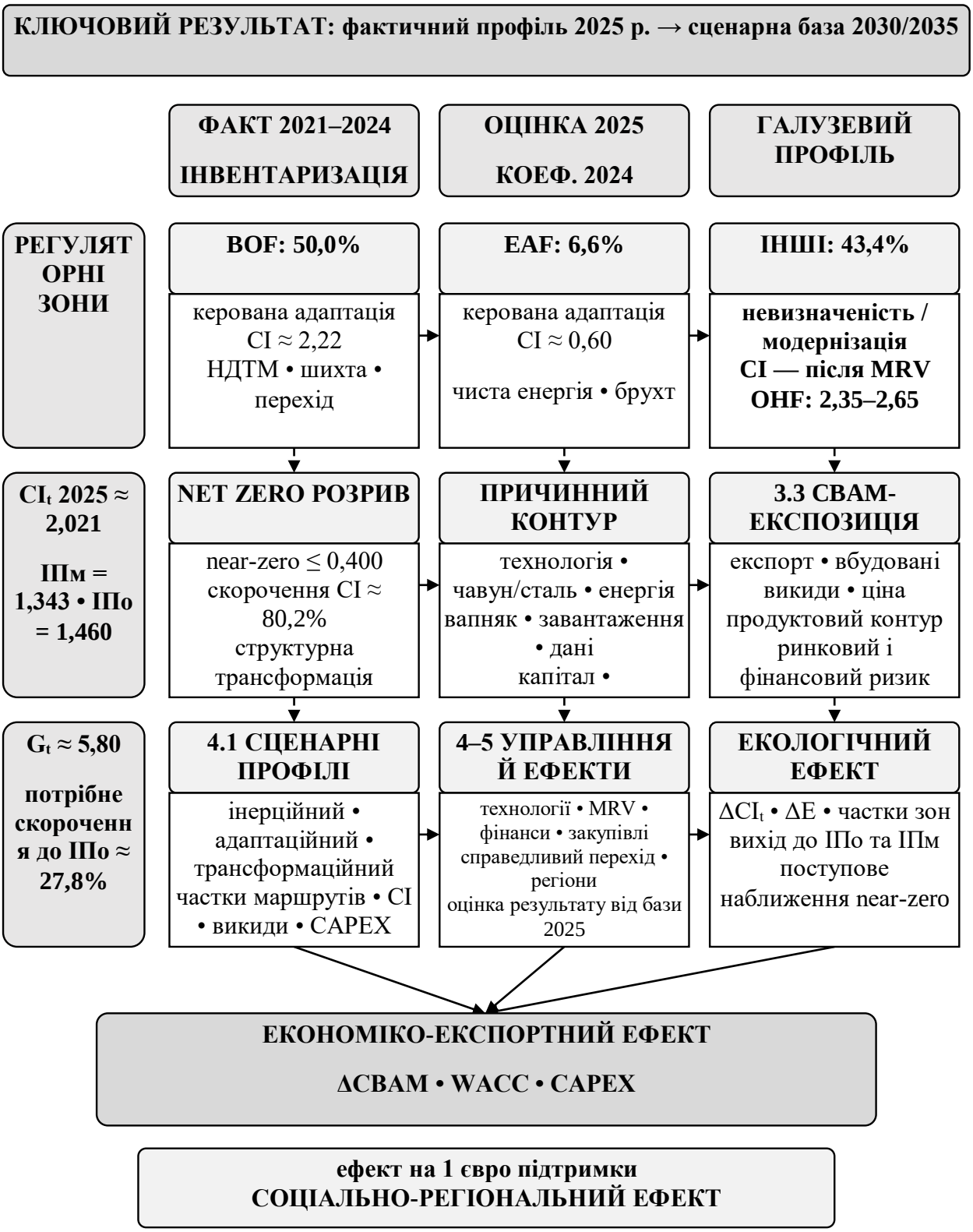


Рис. 3.6. Перехід від фактичного галузевого вуглецевого профілю до сценаріїв, управлінських заходів та ефектів

Джерело: розроблено автором за результатами фактичної апробації методики у підрозділі 3.2.

Таблиця 3.15

Причини галузевого вуглецевого розриву та напрями їх управлінського подолання

Блок причин	Фактичний прояв	Вплив на галузевий профіль	Напрям управлінського впливу	Показник подальшого ефекту
1	2	3	4	5
Технологічна структура	50,0% BOF; 6,6% EAF; 43,4% інших процесів у 2025 р.	переважання маршрутів із використанням чавуну утримує високий середній CI_t	збільшення EAF/DRI–EAF, підготовка H_2-ready, поетапне заміщення OHF	ΔCI_t; частка EAF/DRI; частка випуску нижче ІПм
Співвідношення переділів	чавун 7,88 млн т перевищив сталь 7,41 млн т у 2025 р.	викиди доменного переділу розподіляються на менший випуск сталі	узгодження потужностей, розвиток глибшого переділу, зменшення напівфабрикатної залежності	сталь/чавун; прокат/сталь; абсолютні викиди
Енергетика й завантаження	робота за воєнних обмежень, нестабільне завантаження, ціна та надійність електроенергії	питомі витрати зростають за неефективного режиму і вуглецеємної енергії	мережі, ВДЕ, PPA, накопичення, енергоефективність, утилізація газів	ГДж/т; вуглецеємність електроенергії; коефіцієнт завантаження
Сировина й циркулярність	низька частка EAF та обмеженість якісного брухту	обмежується швидкість переходу від первинного чавуну до циркулярної сталі	ринок брухту, стандарти якості, логістика, DRI-окатиші, матеріальна ефективність	частка брухту; матеріальна ефективність; імпорт/експорт брухту
MRV і простежуваність	відсутній повний відкритий маршрутний ряд верифікованих викидів	частина випуску переходить до зони невизначеності; зростає ризик default values	реєстр, цифрові плани, верифікація, продуктовий паспорт, єдині межі	охоплення MRV; частка фактичних даних; невизначеність
Капітал та інфраструктура	високий CAPEX, ризики війни, відсутність повного портфеля bankable-проєктів	відкладається структурна модернізація і зростає carbon lock-in	гарантії, blended finance, CCfD, підготовка ТЕО, страхування ризиків	CAPEX; WACC; мультиплікатор; строки підготовки

Продовження табл. 3.15

1	2	3	4	5
Експортне регулювання	висока залежність від зовнішніх ринків і перехід CBAM до фінансової фази	високий CI_t перетворюється на ціновий і контрактний ризик	продуктовий облік, green steel контракти, внутрішні зелені закупівлі	ΔCBAM; експорт із фактичними даними; збережений ринок
Соціально-регіональна концентрація	металургійні активи формують зайнятість і бюджети промислових територій	різке закриття потужностей створює соціальний ризик і опір переходу	перекваліфікація, диверсифікація громад, поетапність, соціальний діалог	робочі місця; охоплення навчанням; доходи бюджетів

Джерело: систематизовано автором за результатами підрозділів 2.3, 3.1 і 3.2 та міжнародними рекомендаціями [158; 172; 191; 299; 308; 310–312; 316; 326; 345; 361; 368; 374; 378; 384].

Таблиця 3.15 перетворює кількісний розрив на систему причин, керованих на галузевому рівні. Високий CI_t не має одного джерела: він формується технологічною структурою, співвідношенням переділів, енергетикою, ресурсною базою, якістю MRV, вартістю капіталу, зовнішнім регулюванням і соціально-регіональною концентрацією. Тому жоден одиничний інструмент не здатний забезпечити перехід до ІПо або near-zero. [158; 172; 191; 299; 308; 310–312; 316; 326; 345; 361; 368; 374; 378; 384]

Першим фактичним результатом авторської методики є встановлення середньогалузевого профілю: CI2024 = 1,805 т CO_2-екв./т за офіційним інвентарем і CI2025 ≈ 2,021 т CO_2-екв./т за попередньою оцінкою. Обидва значення перевищують ІПо, а висновок зберігається з урахуванням інвентаризаційної невизначеності. [158; 311–312; 316; 341; 345]

Другим результатом є кількісне визначення масштабу регуляторного розриву. Оцінний G2025 становить 5,80, а для досягнення ІПо необхідне скорочення CI_t приблизно на 27,8%. Це створює вимірюваний орієнтир для сценаріїв і подальшої оцінки ефекту запропонованих заходів. [158; 311–312; 316; 345]

Третім результатом є маршрутне зонування. У строгому профілі 56,6% випуску перебуває у зоні керованої адаптації, а 43,4% — у зоні інформаційної

невизначеності. У профілі чутливості остання частка переходить до структурної модернізації. Отже, незалежно від припущень зона низьковуглецевого лідерства у 2025 р. не формується. [158; 172; 191; 299; 308; 310–312; 316; 326; 345; 361; 374; 378; 384]

Четвертим результатом є оцінка Net Zero-розриву. Для наближення до 0,400 т CO_2-екв./т потрібно скоротити галузеву інтенсивність приблизно на 80%. Такий масштаб підтверджує необхідність не лише модернізувати чинні агрегати, а змінити структуру виробництва, енергетичну базу і систему попиту на низьковуглецеву сталь. [158; 191; 299; 308; 310–312; 316; 326; 345; 361]

П’ятий результат полягає в розмежуванні фактичного та модельного знання. Інвентаризаційні значення 2021–2024 рр. є офіційною базою; 2025 р. — попередньою оцінкою; маршрутні коефіцієнти — інструментом гармонізації; профіль «інших процесів» — аналізом чутливості. Така прозорість запобігає науково необґрунтованому представленню оцінок як статистичних фактів. [110; 113; 118; 158; 308; 310–312; 316; 341; 345; 358; 374; 378]

Отриманий профіль безпосередньо використовується у підрозділі 3.3. Туди передаються випуск, галузевий і маршрутний CI_t, частки регуляторних зон, статус якості даних та експортна база. Після додавання товарної структури, вбудованих викидів і ціни вуглецю буде визначено CBAM-експозицію, але вона не включається до 3.2, щоб не змішувати галузевий інвентаризаційний і продуктовий контури. [172; 198; 238; 242; 352; 384]

У підрозділі 4.1 фактичний профіль 2025 р. стане базовою точкою нормативно-сценарного переоцінювання. Інерційний сценарій відображатиме збереження високої частки вуглецеємних маршрутів; адаптаційний — досягнення ІПо через НДТМ, енергоефективність, MRV і підготовку EAF/DRI; трансформаційний — зміну технологічних ваг із наближенням галузі до ІПм і near-zero. Сценарні значення матимуть статус S і не змішуватимуться з фактичними та офіційними рядами 2021–2025 рр. [158; 191; 299; 311–312; 316; 326; 345; 361].

Ефекти заходів у розділах 4–5 мають вимірюватися від установленої бази, а не декларуватися описово. Екологічний ефект визначатиметься через ΔCI_t, ΔE і переміщення випуску між зонами; експортний — через $\Delta CBAM$; інвестиційний — через мобілізований CAPEX і зміну WACC; соціально-регіональний — через зайнятість, перекваліфікацію та місцеві бюджети. [158; 191; 299; 326; 345; 361]

При цьому позитивним результатом не може вважатися скорочення викидів, досягнуте лише падінням випуску. У сценарному і стратегічному блоках застосовуватиметься подвійний критерій: CI_t має знижуватися, а виробничий потенціал — відновлюватися або зберігатися на економічно обґрунтованому рівні. Це забезпечує відповідність дослідження завданням управління національним господарством. [158; 345; 368]

Окремим контрольним індикатором має стати частка випуску з фактичними верифікованими маршрутними даними. Якщо вона не зростає, формальне поліпшення CI_t не забезпечує достатньої довіри для CBAM, зеленого фінансування та контрактів на low-emission steel. Тому інформаційний ефект є самостійною складовою галузевої результативності. [110; 113; 118; 198; 238; 242; 352]

Проведена апробація підтверджує працездатність і наукову новизну авторської методики. Вона не обмежується розрахунком середнього коефіцієнта, а поєднує офіційний інвентар, технологічну сегментацію, індикативний коридор, нормалізований розрив, альтернативне зонування з урахуванням якості даних і прямий перехід до CBAM-діагностики, нормативно-сценарного переоцінювання та вимірювання управлінських ефектів [110; 113; 118; 158; 172; 191; 198; 238; 242; 299; 308; 310–312; 316; 324–326; 341; 345; 352; 358; 361; 368; 374; 378; 384].

Отже, фактичний стан металургійної галузі України у 2021–2025 рр. характеризується істотним скороченням абсолютних викидів за відсутності стійкого зниження питомої інтенсивності. Галузь перебуває вище ІПо, не має підтвердженого випуску у зоні низьковуглецевого лідерства і зберігає значний Net Zero-розрив. Отриманий профіль формує доказову основу переходу до

діагностики CBAM-вразливості у 3.3, нормативно-сценарного переоцінювання у 4.1 та подальшого обґрунтування моделі управління, MRV/ESG-контролю й механізмів реалізації у розділах 4–5 [110; 113; 118; 158; 172; 191; 198; 238; 242; 299; 308; 310–312; 316; 324–326; 341; 345; 352; 358; 361; 368; 374; 378; 384].

3.3. Діагностика CBAM-вразливості металургійної галузі України

Підрозділ 3.3 завершує фактичну апробацію авторської методики галузевого зонально–сценарного регулювання вуглецеємності металургії. Після формування виробничо–технологічної бази у 3.1 та оцінювання галузевого вуглецевого профілю й Net Zero-розриву у 3.2 здійснюється діагностика CBAM-вразливості металургійної галузі України. Об’єктом оцінювання є не окреме підприємство, а галузевий експортний потік, його технологічна структура, вуглецевий профіль, якість даних і здатність національної системи управління забезпечити відповідність правилам доступу до ринку Європейського Союзу [110; 195; 201–203; 242–245; 260; 262; 267; 277; 312; 317; 344; 352].

Із 1 січня 2026 р. CBAM функціонує в остаточному періоді. Для імпортерів товарів CBAM понад установлений поріг виникають обов’язки щодо авторизації, подання декларації, підтвердження вбудованих викидів і здавання сертифікатів. Перша декларація за імпорт 2026 р. та відповідна здача сертифікатів мають бути здійснені до 30 вересня 2027 р., а продаж сертифікатів через спільну центральну платформу розпочинається з лютого 2027 р. Отже, фінансовий вплив формується за товарами, ввезеними вже у 2026 р., хоча придбання і здавання сертифікатів відбуваються пізніше [201; 203; 242; 244; 260; 352].

Регламентом (ЄС) 2025/2083 запроваджено єдиний масовий поріг 50 т на рік для сукупного імпорту товарів секторів заліза і сталі, алюмінію, добрив та цементу одним імпортером. Це спрощення виводить зі сфери основних зобов’язань значну кількість дрібних імпортерів, але зберігає охоплення близько 99% вбудованих викидів. Для української металургії, експорт якої вимірюється

мільйонами тонн, поріг не усуває системної галузевої вразливості, а лише знижує адміністративне навантаження на невеликі поставки [242–243; 262; 352].

CBAM-вразливість металургійної галузі визначено як міру її здатності зберігати обсяг і прибутковість експорту, доступ до довгострокового фінансування, участь у європейських ланцюгах постачання та соціально–регіональну стійкість за умов ціноутворення на вбудовані викиди. Вразливість не зводиться до майбутньої кількості сертифікатів: вона виникає також через використання стандартних значень, затримку верифікації, відсутність продуктових даних, контрактні дисконти, зміну попиту та підвищення вартості капіталу [110; 195; 201–203; 212; 233; 242–245; 260; 262; 267; 277; 312; 317; 329; 344; 352; 370].

Для сталі чинний контур CBAM у фінансовій фазі орієнтований передусім на прямі викиди та вбудовані викиди релевантних прекурсорів, тоді як методика безоплатного розподілу і CBAM-бенчмарки враховують узгодження з EU ETS. Європейські правила розрізняють маршрути BF–BOF, DRI–EAF та scrap–EAF, а також передбачають фактичні й стандартні значення. Це підтверджує правильність технологічної сегментації, використаної в авторській галузевій методиці, але водночас вимагає чітко відокремлювати національний CI_t від юридичного продуктового показника конкретного товару. [195; 201–203; 245; 267]

Діагностику побудовано у двох взаємопов’язаних контурах. Офіційно–правовий контур відтворює вимоги CBAM до товару, установки, прекурсорів, верифікації, коригування на безоплатний розподіл і вуглецевої ціни, фактично сплаченої у країні походження. Авторський галузевий контур оцінює масштаб ризику за сукупним експортним потоком, відхиленням CI_t від ІПо, технологічною структурою, якістю даних і чутливістю до ціни сертифіката. У ньому офіційні та фактичні дані мають статуси O/F, авторські розрахункові оцінки — E, а параметри чутливості — S. Галузевий контур не замінює юридичного розрахунку, а використовується для державного і галузевого планування [110; 195; 201–203; 242–245; 260; 262; 267; 277; 312; 317; 344; 352].

Ключовим методологічним принципом є недопущення змішування показників. Галузевий CI_t характеризує середню інтенсивність національного виробництва; ІПо = 1,460 т CO_2-екв./т є авторською обмежувальною межею національного регуляторного коридору; CBAM-бенчмарк і специфічні вбудовані викиди визначаються актами ЄС для конкретного товару та виробничого маршруту. Перевищення CI_t над ІПо є сигналом галузевого ризику, але не тотожне офіційній кількості сертифікатів [110; 195; 201–203; 262; 312; 344].

Діагностична система має відповісти на чотири питання: який масштаб металургійного експорту потребує продуктового обліку та верифікації; якою є вуглецева маса цього потоку; яка частина ризику зумовлена технологічною структурою, а яка — інформаційною невизначеністю; які інструменти державної політики здатні зменшити ризик до формування сценарного технологічного портфеля у 4.1. Відповіді систематизовано у табл. 3.16 [31; 35; 96; 110; 212; 233; 262; 277; 312; 317; 329; 341; 344; 370; 377].

Архітектура табл. 3.16 показує, що фінансовий платіж є лише одним із результатів діагностики. Для національної економіки важливішим є раннє виявлення структурних джерел ризику: домінування вуглецеємних маршрутів, недостатня простежуваність прекурсорів, відсутність акредитованої верифікації, низька інвестиційна готовність проєктів та соціальна залежність промислових регіонів від чинних потужностей. [110; 195; 201–203; 212; 233; 242–245; 260; 262; 267; 277; 312; 317; 329; 344; 352; 370]

Остаточний період CBAM істотно посилює значення якості даних. Оператори установок поза ЄС мають формувати план моніторингу, визначати функціональну одиницю, системні межі, викиди багатофункціональних процесів і прекурсорів та передавати інформацію для перевірки. За інформацією Європейської комісії від 10 липня 2026 р., перші акредитовані CBAM-верифікатори очікуються приблизно у вересні 2026 р. Це формує обмежене часове вікно для підготовки українських виробників та інфраструктури підтримки [195; 201; 243–245; 260; 267].

Таблиця 3.16

Архітектура діагностики CBAM-вразливості металургійної галузі України

Діагностичний блок	Об’єкт вимірювання	Ключові показники, одиниці	Джерело і статус даних	Управлінський результат
Торговельна експозиція	галузевий експорт товарів чорної металургії та EU-експонований потік	обсяг експорту, млн т; частка ЄС, %; частка експорту у випуску, %	митна статистика, Держстат, галузеві об’єднання; O/F	визначення масштабу потоку, що потребує продуктового обліку і верифікації
Вуглецева експозиція	вбудовані викиди експортної металопродукції	CI_t, т CO_2-екв./т; вуглецева маса, млн т CO_2-екв.; відхилення від ІПо	інвентар, MRV, продуктові дані; O/F/E	оцінювання структурного вуглецевого розриву
Технологічна експозиція	маршрути BF–BOF, DRI–EAF, scrap–EAF та інші процеси	частка маршруту, %; маршрутний CI, т CO_2-екв./т	галузевий баланс, операторські дані, методика CBAM; O/F/E	визначення сегментів модернізації та пріоритету інвестицій
Цінова експозиція	ціна сертифіката і нормативне згортання безоплатного розподілу	ціна, євро/т CO_2; частка фінансового введення, %; $CBAM^D$, млн євро	Європейська комісія, EU ETS, акти CBAM; O/S	формування діапазону чутливості фінансового ризику
Інформаційна експозиція	готовність до моніторингу, звітності та незалежної верифікації	охоплення фактичними даними, %; частка default values, %; статус верифікації	МЗВ України, CBAM Registry, операторські звіти; F/O	план розвитку галузевої MRV та цифрових паспортів
Інвестиційна експозиція	спроможність фінансувати скорочення викидів і підготовку даних	CAPEX, млрд євро; WACC, %; приватний капітал, %	банки, МФО, програми ЄС та України; F/S	підготовка портфеля гарантій і blended finance
Соціально-регіональна експозиція	залежність зайнятості й бюджетів від вуглецеємних потужностей	зайнятість, тис. осіб; потреба у перекваліфікації, %; бюджетний вплив	Держстат, громади, роботодавці; O/F	поєднання декарбонізації зі справедливим переходом

Джерело: розроблено автором на основі Регламенту (ЄС) 2023/956, актів остаточного періоду CBAM та авторської методики підрозділу 2.3 [110; 195; 201–203; 212; 233; 242–245; 260; 262; 267; 277; 312; 317; 329; 344; 352; 370].

Ціна сертифіката пов’язана із середньозваженими цінами аукціонів EU ETS. Європейська комісія опублікувала квартальні ціни 75,36 євро за 1 т CO_2 для I

кварталу 2026 р. і 75,28 євро для II кварталу. Їх середнє значення 75,32 євро використовується нижче лише як діагностичний параметр поточного року. Жодних точкових прогнозів ціни або CI_t на 2027–2030 рр. у цьому підрозділі не формується; відповідне сценарне переоцінювання здійснюватиметься у 4.1 [202; 244; 260].

Для визначення вихідного масштабу ризику зіставлено динаміку експорту з галузевою вуглецеємністю за 2021–2025 рр. За 2021–2024 рр. використовуються офіційні та фактичні дані зі статусами O/F; значення CI_t за 2025 р. має статус E відповідно до розрахунків 3.2. Оскільки відкриті дані не забезпечують повного п’ятирічного продуктового розподілу експорту до ЄС за верифікованими викидами, у табл. 3.17 застосовано широкий контур загального експорту металопродукції. Він характеризує масштаб зовнішньоторговельної залежності, але не є CBAM-декларацією [31; 35; 96; 277; 312; 317; 341; 344; 377].

Таблиця 3.17

Динаміка широкої експортно-вуглецевої експозиції металургійної галузі України у 2021–2025 рр.

Показник	2021	2022	2023	2024	2025	2025 до 2021		2025 до 2024	
						+/–	%	+/–	%
Експорт металопродукції, млн т	15,1	4,37	2,98	4,17	4,12	–10,997	–72,7	–0,047	–1,1
Частка експорту у випуску прокату, %	79,2	81,7	55,6	67,0	63,2	–16,0	–20,2	–3,8	–5,7
CI_t, т CO_2-екв./т (2021–2024 — O; 2025 — E)	1,74	1,74	1,55	1,80	2,02	0,272	15,6	0,216	12,0
Діагностична вуглецева маса експортного потоку, млн т CO_2-екв.	26,4	7,63	4,64	7,52	8,33	–18,112	–68,5	0,806	10,7
Надлишкова вуглецева маса відносно IIпо, млн т CO_2-екв.	4,37	1,25	0,29	1,43	2,31	–2,057	–47,1	0,874	60,8

Джерело: розраховано автором за даними підрозділів 3.1–3.2, галузевої статистики та офіційної інвентаризації викидів [31; 35; 96; 110; 341; 377].

Примітка: діагностичну вуглецеву масу визначено як добуток загального експорту металопродукції на середньогалузевий CI_t. Дані 2021–2024 рр. мають статуси O/F; CI_t 2025 р. — статус E. Показник не враховує товарні коди, країну призначення, специфічні вбудовані викиди, CBAM-бенчмарки, коригування на безоплатний розподіл і вуглецеву ціну, фактично сплачену у країні походження, тому не є юридичною оцінкою зобов'язань.

Таблиця 3.17 фіксує одночасне скорочення фізичного масштабу експорту і збереження високої питомої вуглецеємності. У 2025 р. експорт металопродукції становив 4,123 млн т, що на 10,997 млн т, або на 72,7%, менше рівня 2021 р. Водночас оцінний CI_t збільшився до 2,021 т CO_2-екв./т — на 0,272 т CO_2-екв./т порівняно з 2021 р. і на 0,216 т CO_2-екв./т порівняно з 2024 р. Тому діагностична вуглецева маса експортного потоку, попри скорочення відносно довоєнного масштабу, зросла порівняно з 2024 р. [31; 35; 96; 110; 341; 377].

Надлишкова вуглецева маса відносно ІПо у 2025 р. оцінена у 2,313 млн т CO_2-екв. Вона на 0,874 млн т CO_2-екв., або на 60,8%, перевищує значення 2024 р. Зростання спричинене погіршенням CI_t, а не збільшенням експорту. Отже, CBAM-вразливість потрібно оцінювати не тільки за тоннажем поставок, а за взаємодією торговельної експозиції, технологічної інтенсивності та якості даних [31; 35; 96; 110; 341; 377].

Водночас широке галузеве оцінювання має обмеження. Частина експорту спрямовується не до ЄС; товарна структура включає напівфабрикати, прокат, труби та інші продукти з різними системними межами; конкретні установки можуть мати інтенсивність нижчу або вищу за середню. Тому отримані показники використовуються для ранжування державних пріоритетів і сценарного аналізу, а не для виставлення рахунків імпортерам. [195; 201–203; 242–245; 260; 262; 267; 277; 312; 317; 344; 352]

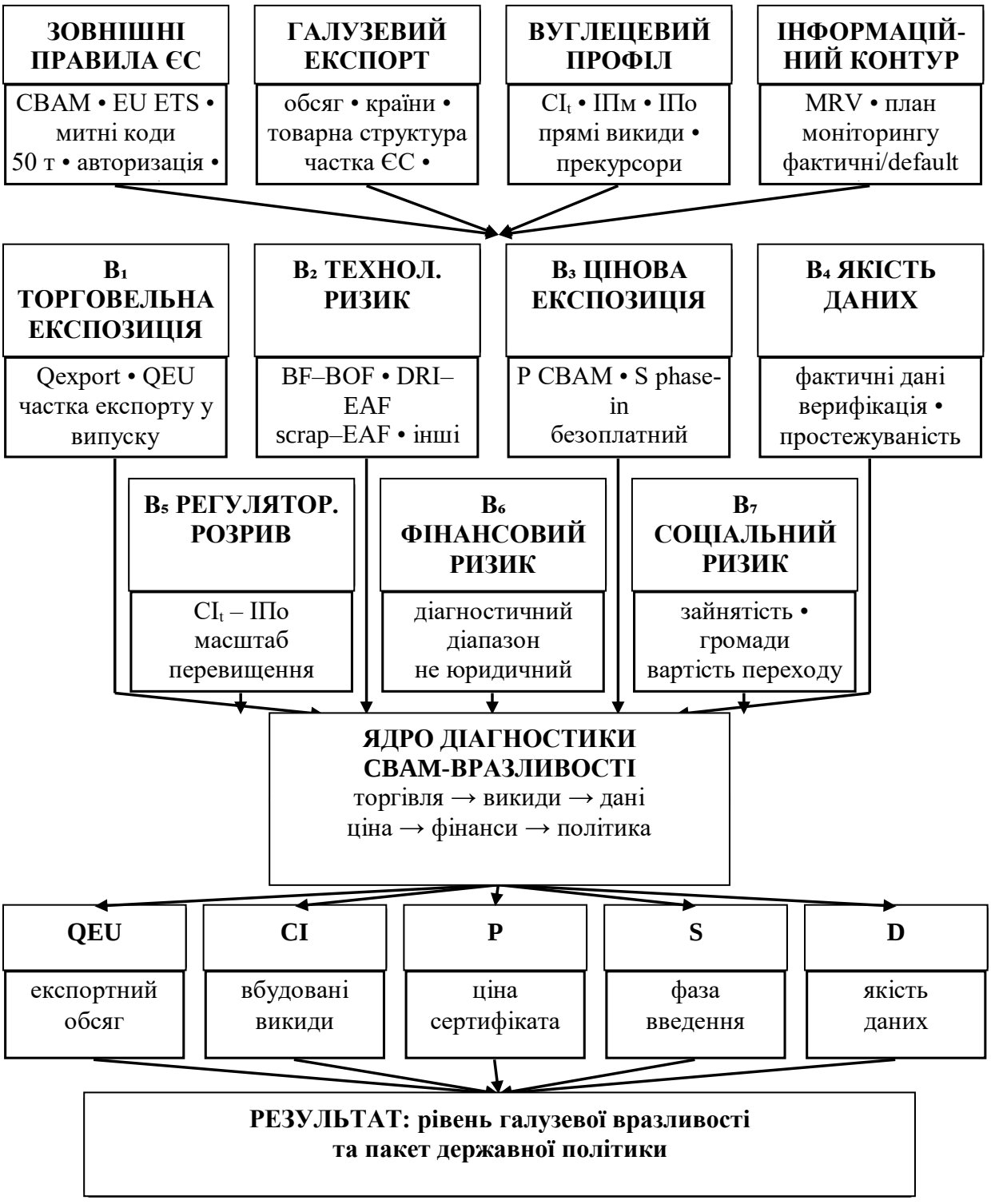


Рис. 3.7. Архітектоніка формування CBAM-вразливості металургійної галузі України

Джерело: розроблено автором на основі правил остаточного періоду CBAM та галузевої зонально–сценарної методики [195; 201–203; 242–245; 260; 267; 352].

Галузева вразливість посилюється технологічною неоднорідністю. За структурою виплавки сталі 2025 р. близько 50,0% припадало на киснево-

конвертерний маршрут, 6,6% — на електросталеплавильний, а 43,4% — на інші процеси, для яких відкритий маршрутний профіль недостатньо визначений. У термінах авторської методики це означає одночасну наявність технологічного ризику та зони інформаційної невизначеності [110; 262; 277; 312; 317; 344].

Рис. 3.7 відображає багатоконтурну природу ризику. Навіть за однакового обсягу експорту економічні наслідки відрізнятимуться залежно від технологічного маршруту, фактичності й верифікованості даних, ціни сертифіката, частки фінансового введення та можливості врахувати вуглецеву ціну, сплачену у країні походження. Державна політика має управляти не окремою змінною, а взаємозв'язком торгівлі, технологій, даних, фінансування та соціально-регіональних наслідків [110; 195; 201–203; 212; 233; 242–245; 260; 262; 267; 277; 312; 317; 329; 344; 352; 370].

Технологічну карту CBAM-вразливості за базою 2025 р. наведено у табл. 3.18. Її призначення полягає не у ранжуванні конкретних виробників, а у визначенні часток галузевого випуску, для яких потрібні різні інструменти: структурна модернізація, підтвердження низької інтенсивності, розбудова MRV або комплексне поєднання цих заходів [110; 262; 277; 312; 317; 344].

Висока частка BF–BOF означає, що швидке зниження ризику не може бути досягнуте лише поліпшенням звітності. Якісні дані здатні запобігти завищенню через стандартні значення і підтвердити реальні покращення, але вони не усувають технологічно зумовлені процесні викиди. Для цієї частини галузі необхідне поєднання короткострокових НДТМ із довгостроковим переходом до DRI–EAF та H_2-ready рішень. [110; 212; 233; 245; 262; 267; 277; 312; 317; 329; 344; 370]

Невелика частка scrap–EAF потенційно є основою зони низьковуглецевого лідерства, але лише за умови доказової простежуваності. Вуглецевий результат залежить від походження електроенергії, якості та логістики брухту, використаних прекурсорів і системних меж. Без продуктового обліку нижча

технологічна інтенсивність не автоматично перетворюється на контрактну перевагу. [195; 201–203; 243–245; 260; 267; 277; 312; 317; 344]

Таблиця 3.18

Технологічні сегменти металургійної галузі України за рівнем CBAM-вразливості у 2025 р.

Технологічний сегмент	Частка випуску у сталі, %	Орієнтир вуглецеємності, т CO_2-екв./т	Статус даних	Домінуючий CBAM-ризик	Пріоритет галузевої політики
BF–BOF	50,0	≈ 2,235	O — частка; E — маршрутний орієнтир; потрібні продуктові F-дані	високий технологічний і ціновий ризик	НДТМ, ефективність доменного переділу, DRI–EAF/H_2-ready, інфраструктура
Scrap–EAF	6,6	≈ 0,450–0,650	O — частка; E — CI; потрібне підтвердження електроенергії, брухту і прекурсорів	нижчий технологічний, але істотний інформаційний ризик	простежуваність брухту, низьковуглецева електроенергія, зелені контракти
Інші та змішані процеси	43,4	не встановлено у відкритому контурі	O — агрегована частка; маршрут не розкрито	ризик default values і некоректного усереднення	маршрутний облік, цифровий паспорт, незалежна верифікація
Галузь загалом	100,0	CI_t ≈ 2,021	E — агрегована оцінка 2025 р.	перевищення IПо на 0,561 т CO_2-екв./т	структурна модернізація, MRV та фінансова підтримка

Джерело: розраховано та узагальнено автором за результатами підрозділів 3.1–3.2 і маршрутними вимогами CBAM [110; 195; 201–203; 262; 277; 312; 317; 344].

Примітка: маршрутні значення є діагностичними орієнтирами, а не верифікованими продуктовими показниками для CBAM-декларації.

Частка інших і змішаних процесів створює окремий тип вразливості. Якщо фактичні дані не подано або вони не відповідають методиці ЄС, імпортер може застосовувати стандартні значення, які не відображають конкретні зусилля виробника. Тому зменшення інформаційної невизначеності є повноцінним економічним заходом: воно знижує ризик завищення вбудованих викидів і підвищує банківську та контрактну придатність проєктів. [195; 201–202; 243–245; 260; 267; 277; 312; 317; 344]

Фінансове введення CBAM синхронізоване з поступовим згортанням безоплатного розподілу в EU ETS. У табл. 3.19 подано нормативно встановлений CBAM factor та відповідну частку викидів, що переходить до фінансового коригування: від 2,5% у 2026 р. до 100% з 2034 р. Це офіційний регуляторний графік, а не авторський прогноз [202–203; 212; 352].

Таблиця 3.19

Графік поступового фінансового введення CBAM для товарів заліза і сталі у 2026–2034 рр.

Рік	CBAM factor / еквівалент безоплатного розподілу, %	Частка вбудованих викидів у фінансовому коригуванні, %	Управлінське значення для металургії України
2026	97,5	2,5	старт фінансової фази; завершення підготовки даних і проєктів
2027	95,0	5,0	перша декларація і здавання сертифікатів за 2026 р.; початок продажу сертифікатів
2028	90,0	10,0	зростання цінової чутливості контрактів
2029	77,5	22,5	перехід до відчутного фінансового ризику
2030	51,5	48,5	майже половина відповідних викидів переходить до фінансового коригування
2031	39,0	61,0	необхідність масштабованих проєктів структурної модернізації
2032	26,5	73,5	посилення переваги низьковуглецевих маршрутів
2033	14,0	86,0	висока вартість відкладеної модернізації
2034	0,0	100,0	повне фінансове охоплення відповідно до нормативного графіка

Джерело: складено автором за Директивою 2003/87/ЄС та актами CBAM [202–203; 212; 352].

Офіційна кількість CBAM-сертифікатів визначається для конкретного товару на основі його кількості та специфічних вбудованих викидів із коригуванням на відповідний безоплатний розподіл і, за належного підтвердження, на вуглецеву ціну, фактично сплачену у країні походження. Такий розрахунок здійснює уповноважений декларант відповідно до Регламенту (ЄС) 2023/956 та актів остаточного періоду; середньогалузевий показник не може його замінювати [195; 201–203; 244; 352].

На основі положень Регламенту (ЄС) 2023/956, методики остаточного періоду CBAM та правил розрахунку ціни сертифікатів Зеленіним Юрієм Миколайовичем запропоновано діагностичну залежність для макрогалузевого оцінювання чутливості ризику [195; 201–203; 244; 260; 352]. Її застосування зумовлене відсутністю у відкритій національній статистиці повного масиву специфічних вбудованих викидів за CN-кодами, установками й країнами призначення. Формула не визначає юридичного зобов'язання, а показує, як масштаб експортного потоку, перевищення CI_t над ІПо, ціна сертифіката та нормативна частка фінансового введення взаємодіють у межах галузевого ризику.

$$CBAM^{D}_{t} = QEU,_{t} \times \max(CI_t - \text{ІПо}; 0) \times P_t \times S_t , \qquad (3.3)$$

де $CBAM^{D}_{t}$ — діагностична потенційна вартість галузевого вуглецевого розриву у році t, млн євро; $QEU,_{t}$ — представницький EU-експонований обсяг металопродукції, млн т; CI_t — середня галузева вуглецеємність, т CO_2-екв./т; ІПо — обмежувальний індикативний показник 1,460 т CO_2-екв./т; P_t — офіційна або задана для аналізу чутливості ціна сертифіката, євро/т CO_2; S_t — нормативна частка фінансового введення CBAM. Обсяг, ціна або інші параметри, що не є фактичними чи офіційними, обов'язково позначаються статусом S. Показник використовується лише для порівняння масштабів галузевого ризику [110; 195; 201–203; 242; 244; 260; 262; 277; 312; 317; 344; 352].

Для апробації формули використано фактичну діагностичну базу 2025 р.: CI_t = 2,021 т CO_2-екв./т і перевищення над ІПо 0,561 т CO_2-екв./т. Ціна 75,32 євро/т CO_2 відповідає середньому офіційних цін I–II кварталів 2026 р., а частка фінансового введення 2,5% — нормативному графіку 2026 р. EU-експоновані обсяги 2,0; 3,0 і 4,0 млн т та ціни 100 і 125 євро/т CO_2 мають статус S і застосовуються виключно для аналізу чутливості, а не як прогноз [31; 35; 96; 110; 202; 244; 260; 341; 377].

Таблиця 3.20

Чутливість діагностичної вартості галузевого вуглецевого розриву за базою 2025 р. та параметрами фінансового введення 2026 р.

EU-експонований обсяг, млн т	75,32 євро/т CO_2, млн євро	100 євро/т CO_2, млн євро	125 євро/т CO_2, млн євро	Статус та інтерпретація
2,0	2,113	2,805	3,506	обсяг і ціни 100/125 — S; нижня межа чутливості
3,0	3,169	4,208	5,259	представницький середній обсяг S
4,0	4,225	5,610	7,013	верхня межа заданої чутливості; не прогноз платежу

Джерело: розраховано автором за формулою (3.3), CI_t 2025 р., офіційною середньою ціною I–II кварталів 2026 р. і нормативною часткою фінансового введення 2,5% [202; 244; 260; 352].

Примітка: CI_t 2025 р. має статус E; ціна 75,32 євро/т CO_2 і частка 2,5% — статус O; EU-експоновані обсяги та ціни 100 і 125 євро/т CO_2 — статус S. Розрахунок не враховує конкретну товарну структуру, продуктові CBAM-бенчмарки, коригування на безоплатний розподіл за товаром, фактично сплачену в Україні вуглецеву ціну та actual/default values.

За заданих умов діагностична величина змінюється від 2,113 млн євро для експонованого обсягу 2,0 млн т і ціни 75,32 євро/т CO_2 до 7,013 млн євро для 4,0 млн т і ціни 125 євро/т CO_2. Цей діапазон не є прогнозом платежу. Він показує мультиплікативну взаємодію обсягу експорту, технологічного розриву і ціни вуглецю вже на стартовій частці фінансового введення [110; 195; 201–203; 242; 244; 260; 262; 277; 312; 317; 344; 352].

Економічний зміст розрахунку полягає у визначенні керованої бази ризику. Скорочення CI_t або продуктового показника зменшує діагностичну експозицію пропорційно обсягу, ціні та фінансовій частці, тоді як поліпшення MRV дає змогу підтвердити фактичне значення і запобігти використанню невигідних стандартних величин. Отже, технологічний та інформаційний ефекти потрібно вимірювати окремо, але реалізовувати узгоджено [110; 195; 201–202; 212; 233; 243–245; 260; 262; 267; 277; 312; 317; 329; 344; 370].

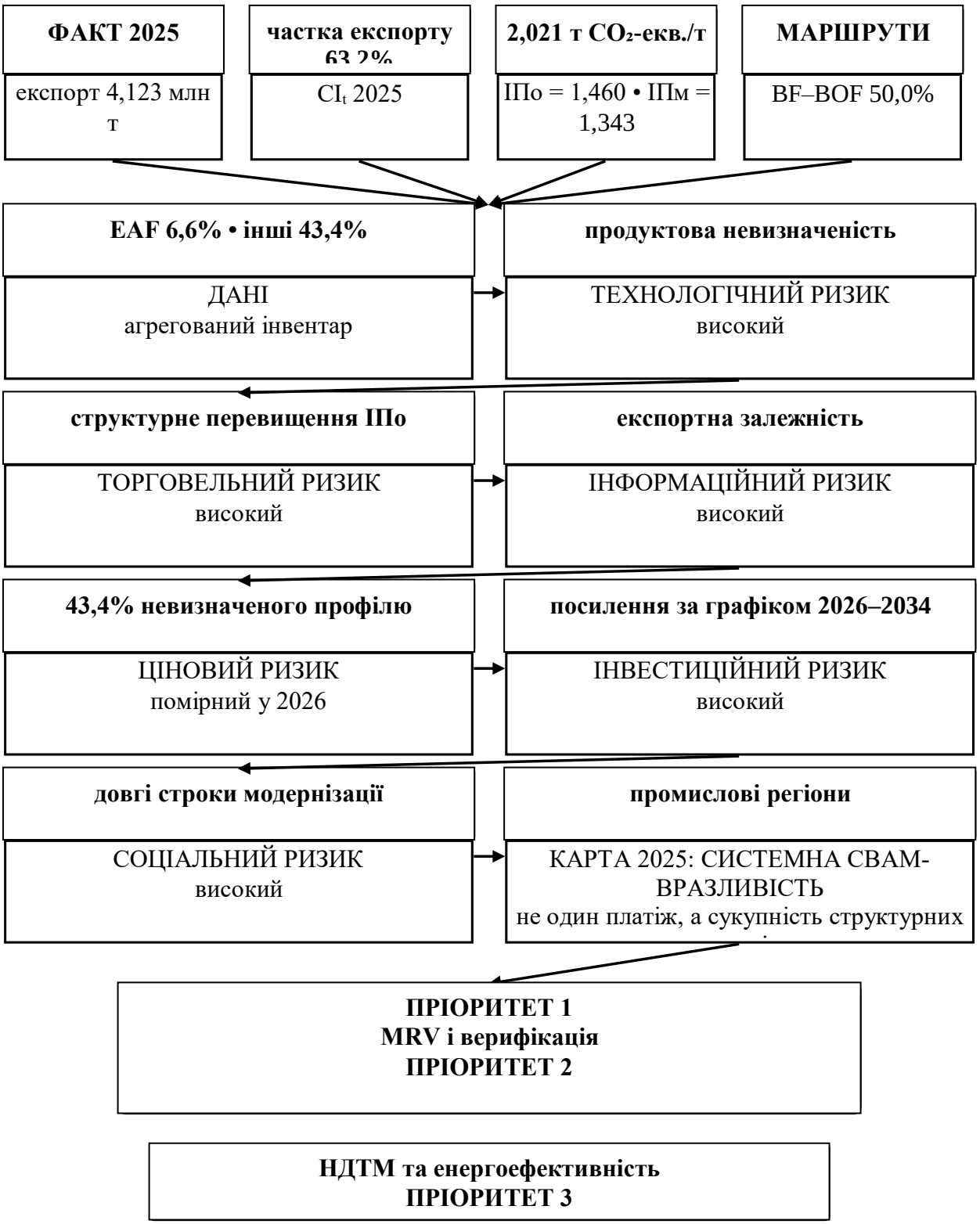


Рис. 3.8. Карта CBAM-вразливості металургійної галузі України за базою 2025 р.

Джерело: розроблено автором за результатами підрозділів 3.1–3.3.

Невелика частка фінансового введення у 2026 р. не зменшує стратегічної значущості CBAM. Нормативний графік табл. 3.19 передбачає її збільшення до

48,5% у 2030 р. та 100% з 2034 р., тоді як підготовка і реалізація великих металургійних проєктів потребує тривалого часу. Тому 2026–2027 рр. слід розглядати як період завершення маршрутизації даних, верифікації, техніко–економічного обґрунтування та структурування фінансування, а не як підставу для відкладення модернізації [195; 201–203; 212; 244; 260; 352].

Рис. 3.8 узагальнює висновок: за базою 2025 р. CBAM-вразливість має системний характер. Її не можна усунути скороченням експорту, оскільки це погіршуватиме виробничу і соціально–регіональну стійкість. Цільовою реакцією є зниження CI_t, збільшення частки підтверджених низьковуглецевих маршрутів, підвищення якості продуктових даних і своєчасне структурування інвестицій [31; 35; 96; 110; 212; 233; 262; 277; 312; 317; 329; 341; 344; 370; 377].

Для запобігання хибному трактуванню авторського показника необхідно чітко розмежувати офіційний продуктовий розрахунок CBAM і макрогалузеву діагностику. Відповідні відмінності наведено у табл. 3.21. Вони визначають допустимі межі використання отриманих результатів у 4.1–5.3 [195; 201–203; 242–245; 260; 267; 352].

Таблиця 3.21 показує, що діагностичний показник не може використовуватися для декларації, виставлення рахунка або визначення зобов’язання конкретного імпортера. Його призначення — порівняння масштабів ризику, відбір пріоритетів галузевої політики, перевірка чутливості й формування вхідних параметрів сценаріїв 4.1. Така межа застосування забезпечує відтворюваність розрахунку і не підміняє правове регулювання [110; 195; 201–203; 242–245; 260; 262; 267; 277; 312; 317; 344; 352].

Для державної політики це означає, що підтримку слід спрямовувати не на компенсацію майбутніх сертифікатів, а на скорочення бази ризику: вбудованих викидів, невизначеності даних, вартості капіталу і строків реалізації проєктів. Компенсація CBAM без технологічних та інформаційних умов законсервувала б вуглецеємну структуру і суперечила б логіці низьковуглецевої трансформації [110; 212; 233; 262; 277; 312; 317; 329; 344; 370].

Таблиця 3.21

Розмежування офіційного розрахунку CBAM та авторського діагностичного показника галузевої вразливості

Елемент	Офіційний продуктовий розрахунок CBAM	Авторський діагностичний показник	Допустиме використання	Основне обмеження
Одиниця аналізу	конкретний CBAM-товар, установка та уповноважений декларант	металургійна галузь і представницький EU-експонований потік	галузеве планування та порівняння ризику	не визначає зобов'язання імпортера
Викиди	специфічні вбудовані викиди товару і релевантних прекурсорів	середній CI_t і перевищення над ІПо	діагностика структурного розриву	середнє значення не замінює продуктовий CI
Ціна і коригування	офіційна ціна, продуктовий CBAM-бенчмарк, безоплатний розподіл і сплачена ціна	офіційна або S-ціна та нормативна частка фінансового введення	аналіз чутливості й пріоритетів	не відтворює всі юридичні коригування
Результат	кількість сертифікатів до здавання	$CBAM^D$, млн євро як масштаб чутливості	сценарне зіставлення у 4.1	не є рахунком або прогнозом платежу
Статус	юридично значимий після декларації та перевірки	науково-аналітичний E/S-показник	державна, галузева та інвестиційна політика	потребує оновлення після появи F-даних

Джерело: систематизовано автором за Регламентом (ЄС) 2023/956, актами остаточного періоду CBAM та авторською методикою підрозділу 2.3 [195; 201–203; 242–245; 260; 267; 352].

Особливе значення має MRV-готовність. Фактичні значення можуть забезпечити конкурентну перевагу лише тоді, коли вони сформовані у правильних системних межах, включають релевантні прекурсори, підтверджені доказами та перевірені акредитованим верифікатором. Тому у табл. 3.22 діагностику даних переведено у конкретні галузеві прогалини й показники результативності. [195; 201; 243–245; 260; 267]

Таблиця 3.22 формує самостійний інформаційний блок управлінського ефекту. У 4.2–5.3 результативність заходів оцінюватиметься не лише через зміну CI_t, а й через збільшення частки експорту з продуктовими фактичними даними, верифікованими маршрутами та цифровими паспортами. Це дає змогу

відокремити реальну технологічну декарбонізацію від поліпшення інформаційної якості, не змішуючи їх у необґрунтований інтегральний індекс [110; 195; 201–202; 212; 233; 243–245; 260; 262; 267; 277; 312; 317; 329; 344; 370].

Таблиця 3.22

Діагностика готовності металургійної галузі України до MRV і верифікації у межах CBAM

Компонент готовності	Вимога остаточного періоду CBAM	Поточна галузева прогалина	Ризик для експорту	Показник результативності до 2030 р.
План моніторингу	межі установки, джерела, методи й відповідальні	неоднорідність і слабка зіставність	коригування або неприйнятність даних	EU-експонований випуск із планом, %
Продуктовий облік	викиди на тонну конкретного CBAM-товару	переважання агрегованого обліку	втрата переваг конкретного товару	експорт із продуктовим CI, %
Прекурсори	фактичні викиди релевантних матеріалів	фрагментарна простежуваність	консервативні припущення/default values	прекурсори з фактичними даними, %
Маршрутний розподіл	BF–BOF, DRI–EAF, scrap–EAF та змішані процеси	43,4% випуску з невизначеним профілем	некоректне усереднення	випуск із верифікованим маршрутом, %
Верифікація і цифрова передача	перевірка доказів та передача через CBAM Registry	обмежена стартова доступність і відсутність єдиного паспорта	затримки, помилки, контрактний ризик	верифікований EU-експорт і цифрові паспорти, %

Джерело: систематизовано автором за актами і роз'ясненнями Європейської комісії щодо остаточного періоду CBAM [195; 201; 243–245; 260; 267].

Наступним кроком є перетворення діагностичних результатів у рівні галузевої вразливості. Вони визначаються не за назвою підприємства, а за комбінацією відхилення від ІПм/ІПо, торговельної експозиції, технологічного маршруту і готовності даних. Відповідну шкалу наведено у табл. 3.23 [110; 212; 233; 262; 277; 312; 317; 329; 344; 370].

Шкала табл. 3.23 не дублює регуляторні зони підрозділу 2.3, а доповнює їх зовнішньоекономічним виміром. Технологічний сегмент може мати відносно низький CI, але залишатися інформаційно вразливим; інший сегмент може мати якісні дані, але високий структурний розрив. Тому пакет політики формується за

домінуючим типом ризику, а його кількісні наслідки перевіряються у сценаріях 4.1 [110; 212; 233; 262; 277; 312; 317; 329; 344; 370].

Таблиця 3.23

Рівні CBAM-вразливості металургійної галузі та диференційовані заходи державної політики

Рівень	Кількісно-якісна характеристика	Домінуюча проблема	Пакет галузевих заходів	Очікуваний результат
Низький	CI_t або продуктовий CI не перевищує ІПм; фактичні верифіковані дані; стійкі контракти	масштабування низьковуглецевого випуску	зелені закупівлі, експортне просування, пільгове фінансування розширення	зростання частки зони низьковуглецевого лідерства
Помірний	CI між ІПм та ІПо; достатня якість даних; контрольована експортна експозиція	досягнення мотиваційної межі	НДТМ, енергоефективність, PPA, брухт, performance-linked finance	перехід до ІПм і зниження контрактного дисконту
Високий	CI вище ІПо або значна частка EU-експорту; довгі строки модернізації	технологічний і фінансовий розрив	галузеві програми EAF/DRI–EAF, гарантії, blended finance, інфраструктура	скорочення CI_t і $CBAM^D$ без втрати виробничого потенціалу
Критичний інформаційний	відсутні фактичні продуктові дані, маршрутна простежуваність або верифікація	ризик default values і втрати контрактів	обов'язкова дорожня карта MRV, технічна допомога, цифровий паспорт, верифікаційна інфраструктура	переведення випуску із зони невизначеності до вимірюваних зон
Критичний соціально-регіональний	висока вуглецеємність поєднана з концентрацією зайнятості та бюджетів	ризик некерованої деіндустріалізації	справедливий перехід, перекваліфікація, диверсифікація громад, поетапність проєктів	зниження викидів за збереження соціальної стійкості

Джерело: розроблено автором відповідно до методики галузевого зонально–сценарного регулювання вуглецеємності.

Результати 3.3 безпосередньо переходять до наступних підрозділів.

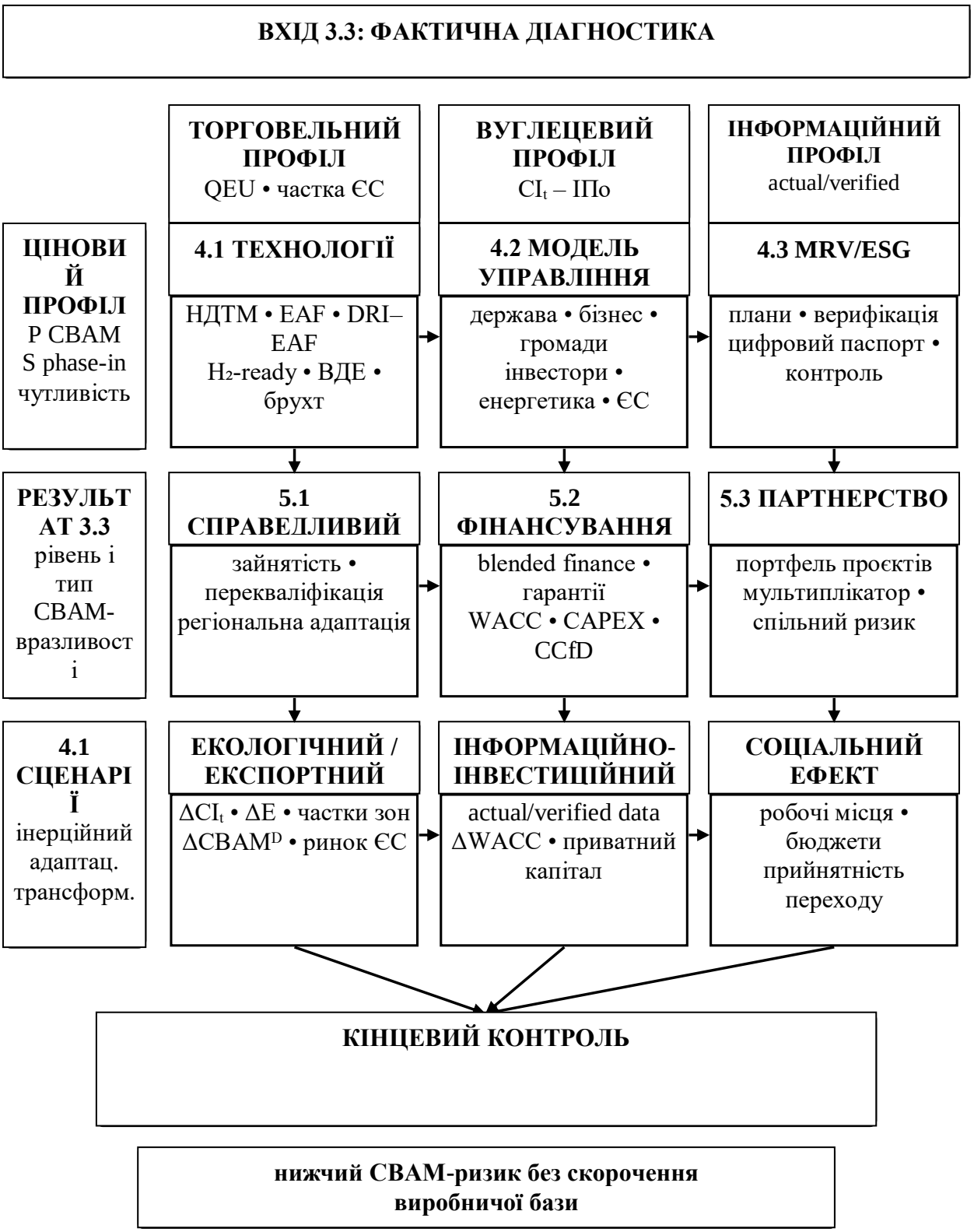


Рис. 3.9. Перехід від діагностики CBAM-вразливості до сценаріїв, моделі управління та оцінювання ефектів

Джерело: розроблено автором відповідно до наскрізної логіки дисертаційного дослідження.

У 4.1 вони є вхідними параметрами інерційного, адаптаційного та трансформаційного сценаріїв і критеріями добору технологічного портфеля; у 4.2 — параметрами розподілу функцій та відповідальності між стейкхолдерами; у 4.3 — завданнями MRV/ESG-прозорості; у 5.1–5.3 — основою інституційного, соціального, фінансового і партнерського забезпечення реалізації [110; 212; 233; 262; 277; 312; 317; 329; 344; 370].

Перший фактичний висновок полягає у тому, що CBAM-вразливість не зникає через скорочення фізичного обсягу експорту. За 2021–2025 рр. експорт істотно зменшився, але галузевий CI_t залишився вище ІПо і у 2025 р. погіршився. Відновлення експорту без зміни технологічного профілю відновлюватиме й масштаб вуглецевої експозиції [31; 35; 96; 110; 341; 377].

Другий висновок стосується структури ризику. Половина випуску сталі пов’язана з BF–BOF, лише 6,6% — з EAF, а 43,4% не мають достатньо визначеного відкритого маршрутного профілю. Галузева політика має одночасно скорочувати технологічний розрив і переводити невизначений випуск до контуру фактичних верифікованих даних [110; 262; 277; 312; 317; 344].

Третій висновок полягає у часовій асиметрії. Фінансова частка CBAM у 2026 р. є невеликою, але строки підготовки великих металургійних проєктів значно довші за один–два роки. Відсутність значного платежу у стартовий період не означає відсутності стратегічного ризику; вона створює обмежене вікно для підготовки проєктів до нормативно визначеного посилення впливу [195; 201–203; 212; 242; 244; 260; 352].

У підрозділі 4.1 для кожного сценарію буде перераховано CI_t, перевищення над ІПо, структуру технологічних зон, абсолютні та уникнені викиди й діагностичну CBAM-експозицію. Інерційний сценарій відображатиме збереження високої частки вуглецеємних маршрутів; адаптаційний — наближення до ІПо за рахунок НДТМ, енергоефективності, EAF і MRV; трансформаційний — структурну зміну маршрутів із наближенням до ІПм і near-zero. Усі параметри

майбутніх періодів матимуть статус S та супроводжуватимуться розкриттям джерел і припущень [110; 212; 233; 262; 277; 312; 317; 329; 344; 370].

Науковий результат підрозділу полягає у розвитку авторської методики галузевого зонально–сценарного регулювання через введення зовнішньоекономічного діагностичного контуру. На відміну від корпоративного розрахунку окремої поставки, підхід визначає частки галузевого випуску й експорту за типами технологічного, інформаційного, цінового, інвестиційного та соціально-регіонального ризику; розмежовує офіційні, фактичні, розрахункові та сценарні дані; пов’язує результати з диференційованими інструментами національної промислової політики та подальшим сценарним переоцінюванням [31; 35; 96; 110; 195; 201–203; 212; 233; 242–245; 260; 262; 267; 277; 312; 317; 329; 341; 344; 352; 370; 377].

Висновки до розділу 3

1. У розділі сформовано узгоджену фактичну базу виробництва металургійної продукції України за 2021–2025 роки та визначено технологічні ваги для подальшого оцінювання. Встановлено глибокий розрив із довоєнним масштабом за одночасної нестійкості відновлення та збереження структурної залежності від вуглецеємних маршрутів.

Розраховано галузевий вуглецевий профіль із розмежуванням офіційного інвентаризаційного, гармонізованого маршрутного та продуктового контурів. У 2025 році середньогалузева вуглецеємність оцінена у 2,021 т CO_2-екв./т сталі, що перевищує обмежувальний індикативний показник на 0,561 т CO_2-екв./т.

2. Доведено, що скорочення абсолютних викидів через падіння виробництва не є технологічною декарбонізацією. Питомий показник необхідно аналізувати разом із випуском, технологічною структурою, завантаженням агрегатів і межами обліку.

3. Розроблено діагностику вразливості до механізму вуглецевого коригування імпорту. Вразливість охоплює не лише потенційні витрати на сертифікати, а й ризик стандартних значень, дефіциту продуктових даних, затримки верифікації, контрактних дисконтів, зміни попиту та підвищення вартості капіталу.

Результати діагностики підтвердили необхідність переходу від відновлення довоєнної структури до нормативно-сценарного технологічного портфеля, стейкхолдерної координації та доказового інформаційного забезпечення.

РОЗДІЛ 4
СЦЕНАРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТА ДОКАЗОВЕ УПРАВЛІННЯ СТАЛИМ РОЗВИТКОМ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ

4.1. Технологічна модернізація металургійного виробництва як основа низьковуглецевого розвитку галузі

Результати фактичної апробації авторської методики засвідчили, що у 2025 р. середня вуглецеємність металургійної галузі України становила 2,021 т CO_2-екв./т сталі та перевищувала обмежувальний індикативний показник ІПо на 0,561 т CO_2-екв./т. Одночасно 43,4% випуску належали до технологічно недостатньо розкритої групи «інших процесів», а електросталеплавильний маршрут формував лише 6,6% випуску. За цих умов просте відновлення довоєнної структури означало б відтворення високої вуглецеємності, інформаційної невизначеності та CBAM-вразливості [308; 311–312; 314; 317; 352; 374; 378].

У підрозділі технологічна модернізація розглядається на галузевому та національно-господарському рівнях. Окремі установки й інвестиційні проєкти є носіями технічних рішень, проте об’єктом управління виступають структура технологічних маршрутів, забезпеченість низьковуглецевою енергією і сировиною, спільна інфраструктура, галузевий портфель капіталу, експортна стійкість та соціально-економічний стан металургійних територій. Отже, результат модернізації визначається не кількістю оновлених агрегатів, а зміною CIt, абсолютних викидів, частки низьковуглецевих маршрутів, MRV-охоплення та регуляторних зон.

Міжнародна логіка декарбонізації сталі передбачає одночасне застосування операційної та матеріальної ефективності, найкращих доступних технологій і методів управління, брухтового електросталеплавильного виробництва, DRI–EAF, H_2-ready рішень, низьковуглецевої електроенергії та, для окремих залишкових

процесів, CCUS. IEA прямо розглядає перехід як портфель технологій, а не як заміну однієї установки або одного енергоносія [308–309; 311–312; 314; 317–318].

Портфельний підхід є особливо важливим для України через воєнні руйнування, високий ризик капіталу, втрату частини активів, нестабільність енергопостачання та тривалий строк служби металургійних агрегатів. Інвестиції у відновлення високовуглецевих потужностей без перевірки їх сумісності з майбутніми маршрутами можуть сформувати carbon lock-in на десятиліття. Водночас одномоментне закриття наявних активів без підготовлених мереж, брухтової інфраструктури, DRI-сировини, довгострокового капіталу та програм справедливого переходу створило б виробничий і соціально-регіональний розрив.

Нормативним контуром модернізації є інтегровані довкіллєві дозволи, НДТМ, національна система моніторингу, звітності та верифікації, правила CBAM і вимоги до доказовості вуглецевого сліду. Закон України № 3855-IX запроваджує інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення, а Закон № 377-IX формує правову основу МЗВ. Європейський Steel and Metals Action Plan і Clean Industrial Deal поєднують технологічну трансформацію з доступною енергією, ринками збуту, захистом від вуглецевого витоку й мобілізацією інвестицій [110; 126; 238; 246; 352].

Технологічну модернізацію металургійної галузі запропоновано визначати як керований портфельний процес зміни виробничо-технологічної, енергетичної, ресурсної та цифрової структури випуску, який забезпечує послідовне зниження CIt і абсолютних викидів, переведення випуску із зон структурної модернізації та інформаційної невизначеності до зон керованої адаптації й низьковуглецевого лідерства, а також збереження виробничого потенціалу, зайнятості й конкурентоспроможності.

Таблиця 4.1

Принципи формування портфеля технологічної модернізації металургійної галузі

Принцип	Зміст для галузі	Рішення портфеля	Об’єкт управління	Контрольний результат
Портфельність	поєднання швидких, середньострокових і трансформаційних заходів	аудит, НДТМ, EAF, DRI–EAF, H_2-ready, MRV	структура маршрутів і проєктів	зниження CIt без залежності від однієї технології
Поетапність	кожна фаза готує інфраструктуру й дані для наступної	ефективність → електрифікація → DRI/H_2	галузева траєкторія 2025–2035 рр.	послідовне досягнення IПо та IПм
Запобігання carbon lock-in	підтримка не подовжує високовуглецеву експлуатацію без exit-плану	модернізаційний контракт і критерій сумісності	BF–BOF та змішані процеси	скорочення частки структурно вразливого випуску
Енергетична сумісність	електрифікація узгоджується з мережами та джерелом енергії	PPA, ВДЕ, накопичення, балансування	енергетична інфраструктура галузі	зниження прямих і непрямих викидів
Циркулярність	матеріальна ефективність і якість вторинних потоків	брухт, шлаки, пил, гази, промисловий симбіоз	матеріальні потоки галузі	зменшення первинної сировини та відходів
Доказовість	ефект підтверджується маршрутними та продуктовими даними	автоматизований облік, верифікація, паспорт	випуск, охоплений MRV	усунення інформаційної невизначеності
Справедливий перехід	зміна маршрутів узгоджується із зайнятістю та громадами	перекваліфікація, соціальний діалог, диверсифікація	металургійні території та працівники	соціально-регіональна стійкість

Джерело: систематизовано та розроблено автором за [45; 55; 110; 126; 158; 191; 213; 238; 240; 246; 255; 308–309; 311–312; 314; 317–318; 329; 334; 345; 352; 361; 373–374; 378].

Портфельність запобігає двом методичним крайнощам. Перша полягає у зведенні модернізації до ремонту існуючих агрегатів, що може тимчасово скоротити витрати, але не змінює технологічну структуру. Друга — у концентрації всіх ресурсів на одному віддаленому рішенні, наприклад повністю водневому DRI, без проміжного ефекту та без підготовки інфраструктури. Портфель поєднує заходи різної капіталомісткості й строку реалізації.

Поетапність означає, що короткострокові рішення мають створювати передумови для структурної зміни, а не подовжувати експлуатацію високовуглецевих активів без визначеного строку виходу. Операційна ефективність і НДТМ потрібні для стабілізації CIt, але їх підтримка повинна бути пов’язана з підготовкою EAF, DRI–EAF, енергетичної та сировинної інфраструктури.

Принцип запобігання carbon lock-in вимагає оцінювати проєкт за двома горизонтами: безпосереднім скороченням викидів і сумісністю з наступним технологічним переділом. Модернізація доменного або конвертерного виробництва є прийнятною лише за наявності маршруту переходу, строку експлуатації, умов припинення підтримки та доведеного внеску у зниження галузевого CIt.

Енергетична сумісність набуває самостійного значення, оскільки електрифікація переносить частину ризику з коксу і процесного вуглецю на електроенергію. Тому EAF і DRI–EAF мають синхронізуватися з реконструкцією мереж, довгостроковими PPA, низьковуглецевою генерацією, накопиченням, балансуванням і керуванням навантаженням [309; 311; 314; 317].

Циркулярність охоплює не лише збільшення частки брухту, а й підвищення виходу придатної продукції, безперервне лиття, повернення металовмісних пилів і шламів, використання шлаків, рекуперацію тепла та процесних газів. OECD наголошує, що декарбонізація сталі потребує поєднання технологічного переходу із політикою якості, простежуваності й доступності вторинних матеріалів [158; 345].

Архітектура на рис. 4.1 показує, що портфель формується на перетині регуляторних вимог, енергетичних можливостей, ресурсної бази, вартості капіталу й ринкового попиту. Центральним є зворотний зв’язок: після реалізації проєктів оновлюються CIt, абсолютні викиди, технологічні частки, MRV-охоплення та CBAM-експозиція, а склад портфеля коригується.

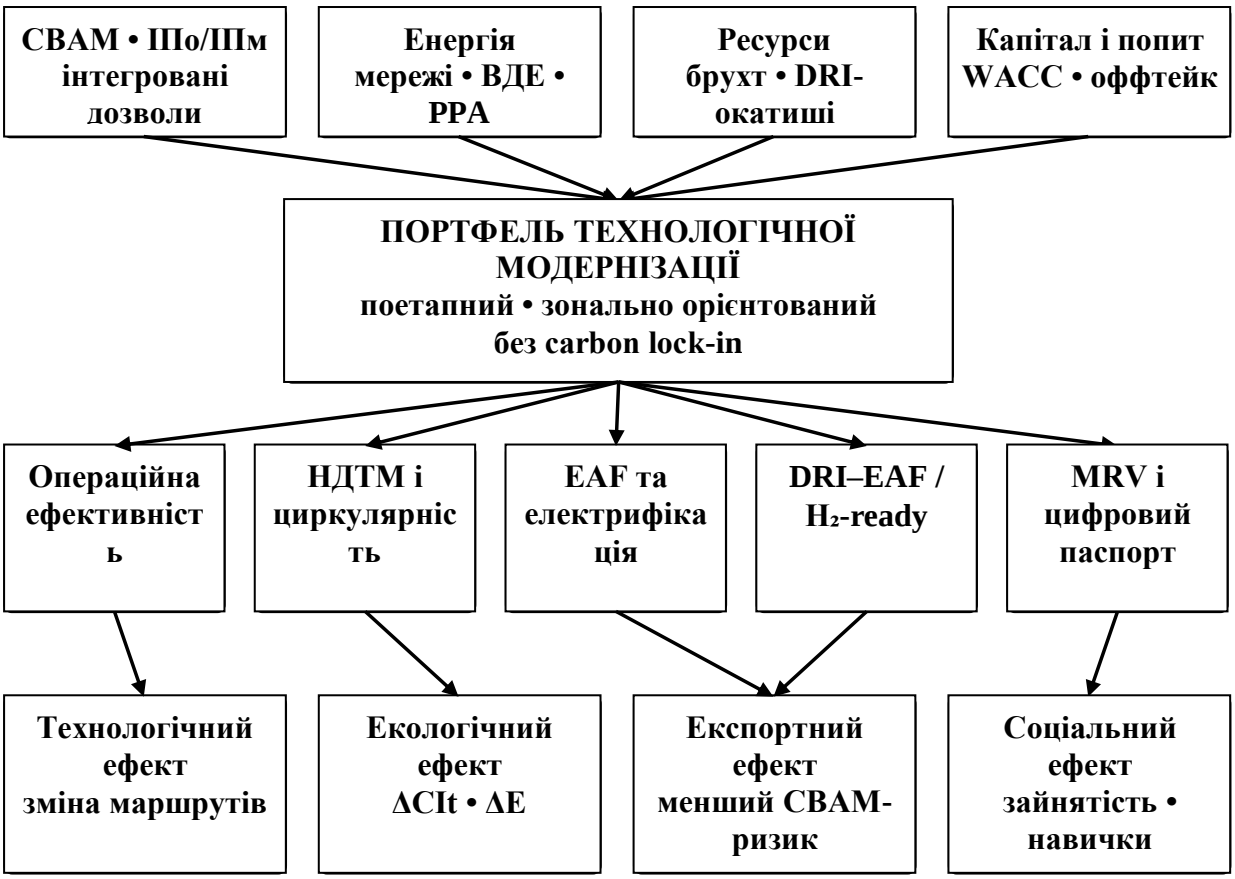


Рис. 4.1. Архітектура портфельної технологічної модернізації металургійної галузі

Джерело: розроблено автором за результатами підрозділів 2.3, 3.1–3.3 та [110; 126; 158; 191; 238; 240; 246; 255; 308; 311–312; 314; 317; 345; 352; 361; 374; 378].

Вихідні параметри портфеля сформовано на основі результатів 3.1–3.3. Для запобігання повторенню фактичних таблиць у 4.1 використовуються лише ті показники, які безпосередньо впливають на вибір технологічного рішення: базовий CIt = 2,021 т CO_2-екв./т, частки BF–BOF, scrap-EAF та інших процесів, випуск сталі, абсолютні викиди, відхилення від ІПм та ІПо, MRV-охоплення і СВАМ-експозиція. Статуси, вихідні значення та базове калібрування цих параметрів систематизовано в табл. А.1–А.3 додатка А, а контрольні сценарні значення маршрутної вуглецеємності, випуску, MRV-охоплення і технологічної структури — у табл. А.4–А.6.

Таблиця 4.2

Інформаційна база та статуси параметрів технологічного і сценарного моделювання

Параметр	Значення / зміст	Статус	Джерело	Використання у 4.1
Випуск сталі 2025 р., млн т	7,41	F	результати 3.1	база абсолютних викидів
CIt 2025 р., т CO_2-екв./т	2,021	E	розрахунки 3.2	базова вуглецеємність
IIпм / IIпо, т CO_2-екв./т	1,343 / 1,460	E	методика 2.2–2.3	межі оцінки сценаріїв
Структура маршрутів 2025 р., %	BF–BOF 50,0; EAF 6,6; інші 43,4	O	worldsteel; 3.1	вихідні технологічні ваги
Маршрутні CIt 2030/2035 рр.	значення табл. 4.3	S	IEA, worldsteel, авторська адаптація	розрахунок середньозваженого CIt
Випуск 2030/2035 рр.	межі відновлення за сценаріями	S	авторські припущення	перевірка абсолютних викидів
MRV-охоплення	56,6% у 2025 р.; сценарні цілі	E/S	3.1–3.3	перевірка доказовості ефекту
CAPEX, WACC, строки проєктів	у відкритому контурі неповні	F/E	проєктні дані, банки, МФО	умова реалізації; деталізація у розділі 5

Джерело: складено автором за результатами підрозділів 2.3, 3.1–3.3 та [110; 126; 158; 191; 238; 240; 246; 255; 308; 311–312; 314; 317; 345; 352; 361; 373–374; 378].

Розмежування статусів даних є принциповим для доказовості прогнозу. Фактичні F- і офіційні O-параметри утворюють вихідний стан. Авторські оцінки E використовуються лише тоді, коли відкритих даних недостатньо для агрегування. Сценарні S-параметри не подаються як передбачення майбутнього, а формують межі можливих технологічних траєкторій, які мають щорічно уточнюватися.

Операційна ефективність і цифрове керування є першим блоком портфеля. Вони охоплюють енергетичний і матеріальний аудит, оптимізацію шихти, скорочення простоїв, керування горінням, цифрові двійники, предиктивне обслуговування та автоматизований облік ресурсів. Цей блок має короткий строк реалізації, але не здатний самостійно перевести галузь нижче IIпо.

Другий блок охоплює НДТМ для коксового, агломераційного, доменного, сталеплавильного та прокатного переділів, рекуперацію тепла й газів, підвищення безперервного лиття та виходу придатного. Його функція — зменшити питомі витрати й підготувати активи до структурного переходу, не створюючи необґрунтованого подовження строку високовуглецевої експлуатації.

Третій блок — scrap-EAF і циркулярна інфраструктура. Його результат залежить від доступності якісного брухту, системи сортування, внутрішнього ринку вторинної сировини, низьковуглецевої електроенергії та продуктового MRV. Без цих умов формальне збільшення частки EAF не гарантує пропорційного скорочення повного вуглецевого сліду.

Четвертий блок — DRI–EAF із H_2-ready конфігурацією — має стратегічне значення завдяки залізорудній базі України. Його реалізація потребує DRI-якісної сировини, газової або водневої інфраструктури, значних мережевих потужностей, довгострокового фінансування та оффтейк-контрактів на низьковуглецеву продукцію [191; 311; 314; 317; 361].

П’ятий блок — H_2-DRI і near-zero сегмент — у середньостроковому періоді доцільно формувати як обмежений демонстраційно-комерційний напрям, орієнтований на продукцію з високою доданою вартістю та підтвердженим зеленим попитом. Масове впровадження доцільне лише після підтвердження ціни водню, електроенергії, обладнання й довгострокового оффтейку.

CCUS не розглядається як універсальна альтернатива зміні маршруту. Він може застосовуватися для залишкових процесних викидів або активів, для яких повна заміна технології є економічно чи інфраструктурно неможливою. Рішення має прийматися після порівняння повної вартості уловлювання, транспортування та зберігання CO_2 з варіантом DRI–EAF [318].

Прогнозний блок побудовано не як екстраполяцію короткого та структурно розірваного ряду 2021–2025 рр., а як нормативно-сценарну модель структурної трансформації.

Таблиця 4.3

Технологічні блоки та маршрутні параметри нормативно-сценарної моделі

Технологічний маршрут / блок	Основна роль	CIt 2030 р., т CO_2-екв./т	CIt 2035 р., т CO_2-екв./т	Статус	Ключова умова
BF–BOF після НДТМ	стабілізація і скорочення до заміщення	2,00	1,85	S	exit-план, рекуперація, ефективність
scrap-EAF	швидке розширення низьковуглецевого випуску	0,60	0,50	S	якісний брухт і низьковуглецева електроенергія
DRI–EAF / H_2-ready	структурне заміщення коксового маршруту	0,95	0,70	S	DRI-сировина, мережі, газ/водень, PPA
H_2-DRI / near-zero	глибока декарбонізація окремого сегмента	0,40	0,30	S	дешевий водень, оффтейк, верифікація
Інші / змішані процеси	залишковий і недостатньо розкритий сегмент	2,10	2,00	S	маршрутне розкриття та план заміщення
Цифровий MRV	підтвердження фактичного ефекту	не формує фізичний CIt	не формує фізичний CIt	F/S	реєстри, верифікатори, продуктові паспорти

Джерело: розроблено автором за [158; 191; 240; 255; 308–309; 311–312; 314; 317–318; 345; 361; 373–374; 378]. Маршрутні значення 2030 і 2035 рр. мають статус S та використовуються лише для порівняння сценаріїв.

Методологічною основою є сценарне планування Пітера Шварца (Peter Schwartz), за яким формуються кілька внутрішньо узгоджених варіантів майбутнього замість одного точкового прогнозу [356]. У дисертації цей підхід адаптовано до технологічних маршрутів IEA і worldsteel та авторської зонально-сценарної методики 2.3. Повний реєстр джерел, на яких ґрунтуються сценарні припущення, подано в табл. Е.1 додатка Е.

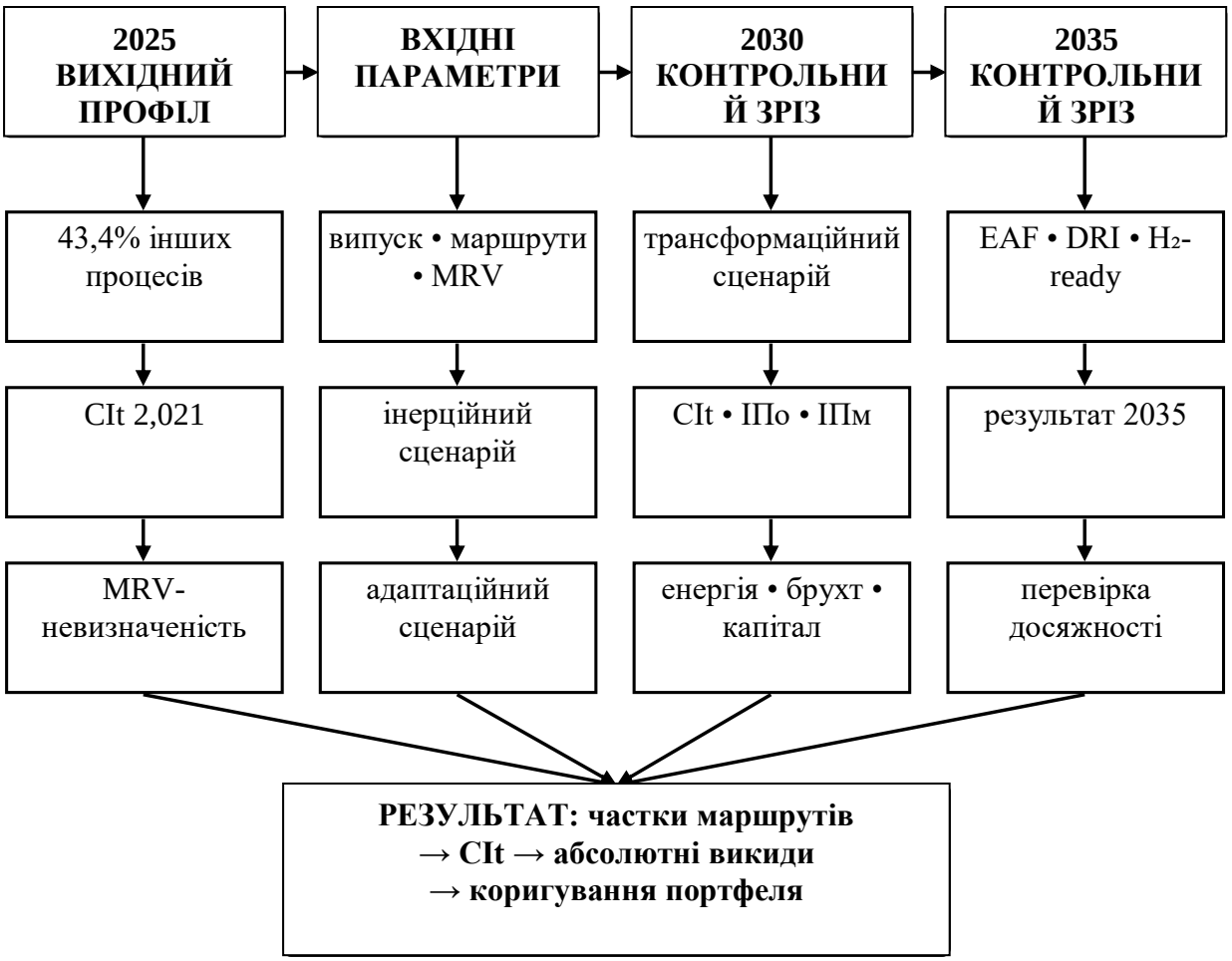


Рис. 4.2. Послідовність нормативно-сценарного моделювання технологічної трансформації металургійної галузі

Джерело: розроблено автором на основі сценарного підходу Пітера Шварца, методики підрозділу 2.3 та [308; 311–312; 314; 317; 356; 374; 378].

Сценарії відрізняються не довільною швидкістю скорочення CIt, а поєднанням обсягу відновлення випуску, часток технологічних маршрутів, маршрутної вуглецеємності, MRV-охоплення та інфраструктурної готовності. Інерційний сценарій передбачає переважання відновлення існуючої структури; адаптаційний — досягнення регуляторної сумісності; трансформаційний — прискорене заміщення високовуглецевих маршрутів і створення near-zero сегмента. Контрольні точки сценаріїв наведено в табл. А.5–А.6, а їх щорічну технічну розгортку та проміжні розрахунки — у додатках Б, В і Г.

Відповідно до методики weighted-average route intensity, яку використовує worldsteel для агрегування маршрутних показників, і технологічних траєкторій IEA [308; 312; 373; 378], автор застосовує середньозважену залежність для визначення CIt у кожному сценарії. Вона потрібна для відокремлення структурного ефекту зміни маршрутів від механічного скорочення або збільшення випуску. Щорічні маршрутні значення CIt наведено в табл. А.4, а покомпонентну перевірку середньогалузевого CIt у контрольних 2030 і 2035 рр. — у табл. Д.1–Д.2.

$$CI_t^{(s)} = \Sigma_i \, d_{it}^{(s)} \times CI_{it}^{(s)}, \qquad (4.1)$$

де $CI_t^{(s)}$ — середньогалузева вуглецеємність у році t за сценарієм s, т CO_2-екв./т; $d_{it}^{(s)}$ — частка технологічного маршруту і у випуску, частка одиниці; $CI_{it}^{(s)}$ — сценарна вуглецеємність маршруту і, т CO_2-екв./т. Абсолютні викиди визначаються як добуток сценарного випуску на розрахований CIt, а умовно уникнені викиди — як різниця між викидами за CIt 2025 р. і сценарним результатом за однакового сценарного обсягу випуску. Повний ланцюг проміжних множників для кожного року наведено в табл. Б.1а–Б.3б, В.1а–В.3б і Г.1а–Г.3б; контроль абсолютних та умовно уникнених викидів у 2030 і 2035 рр. — у табл. Д.3а–Д.3б.

Результати на 2030 р. показують, що інерційне відновлення випуску без структурної зміни знижує CIt лише до 1,907 т CO_2-екв./т і зберігає перевищення ІПо. Адаптаційний сценарій зменшує CIt до 1,650 т CO_2-екв./т, але ще не досягає обмежувальної межі. Лише трансформаційний сценарій із сукупною часткою scrap-EAF, DRI–EAF і H_2-DRI 50% переводить CIt до 1,375 т CO_2-екв./т — нижче ІПо та близько до ІПм. Покомпонентний розрахунок кожного значення CIt наведено в табл. Д.1.

Для уникнення хибного висновку про автоматичне скорочення абсолютних викидів результати зіставлено з різними обсягами випуску. У 2030 р. трансформаційний сценарій передбачає випуск 11,0 млн т сталі та 15,125 млн т CO_2-екв. абсолютних викидів. Це майже дорівнює базовим 14,976 млн т 2025 р.,

хоча випуск зростає на 48,4%. Отже, головним проміжним результатом є розрив зв’язку між відновленням виробництва і пропорційним зростанням викидів. Перевірку добутку Q × CIt подано в табл. Д.3а, а абсолютні та відносні відхилення від 2025 р. — у табл. Д.4а–Д.4б.

Таблиця 4.4

Вхідні припущення нормативно-сценарної моделі технологічної модернізації на 2030 та 2035 рр.

Сценарій і рік	Випуск сталі, млн т	BF–BOF, %	scrap-EAF, %	DRI–EAF, %	H_2-DRI / near-zero, %	Інші процеси, %	Верифікований маршрутний профіль, %
База 2025	7,41	50,0	6,6	0,0	0,0	43,4	56,6
Інерційний 2030	8,20	50,0	8,0	2,0	0,0	40,0	75,0
Адаптаційний 2030	10,00	42,0	18,0	12,0	0,0	28,0	85,0
Трансформаційний 2030	11,00	35,0	25,0	20,0	5,0	15,0	95,0
Інерційний 2035	9,00	48,0	10,0	5,0	0,0	37,0	85,0
Адаптаційний 2035	12,50	40,0	25,0	20,0	5,0	10,0	95,0
Трансформаційний 2035	15,00	25,0	30,0	30,0	10,0	5,0	100,0

Джерело: розроблено автором за результатами 3.1–3.3, табл. 4.3, табл. А.1–А.6 додатка А і сценарним підходом Пітера Шварца [308; 311–312; 314; 317; 356; 374; 378]. Значення 2030 і 2035 рр. мають статус S, не є офіційним прогнозом і підлягають щорічному уточненню.

Показник умовно уникнених викидів розраховано відносно ситуації, за якої відповідний сценарний обсяг випуску мав би вуглецеємність 2025 р. Він не є прогнозом національного інвентарю, але дає змогу порівняти технологічний ефект сценаріїв за різного масштабу виробництва. Для трансформаційного сценарію 2030 р. цей ефект становить близько 7,1 млн т CO_2-екв.; повну перевірку базового і сценарного добутків наведено в табл. Д.3б.

Зміна технологічних часток не повинна тлумачитися як директивний розподіл потужностей між конкретними підприємствами. Сценарна структура визначає галузеві пропорції, за яких досягається відповідний CIt. Реальний портфель формується через конкурсний добір проєктів, наявність інфраструктури,

верифіковані базові дані, готовність до співфінансування та соціально-регіональні умови.

Таблиця 4.5

Результати нормативно-сценарного моделювання технологічних та екологічних параметрів металургійної галузі на 2030 р.

Показник	2025	Інерційний сценарій	Адаптаційний сценарій	Трансформаційний сценарій	Відхилення 2030 р. (трансформаційний) від 2025 р., +/–	Відхилення 2030 р. (трансформаційний) від 2025 р., %
Випуск сталі, млн т	7,41	8,20	10,00	11,00	3,59	148,4
CIt, т CO_2-екв./т	2,021	1,907	1,650	1,375	-0,646	68,0
Відхилення CIt від ІПо, т CO_2-екв./т	0,561	0,447	0,190	-0,085	-0,646	—
Відхилення CIt від ІПм, т CO_2-екв./т	0,678	0,564	0,307	0,032	-0,646	—
Абсолютні викиди, млн т CO_2-екв.	14,976	15,637	16,500	15,125	0,149	101,0
Частка низьковуглецевих маршрутів, %	6,6	10,0	30,0	50,0	43,4	757,6
Верифікований маршрутний профіль, %	56,6	75,0	85,0	95,0	38,4	167,8
Умовно уникнені викиди за сценарного випуску, млн т CO_2-екв.	0,000	0,935	3,710	7,106	7,106	—

Джерело: розраховано автором за формулою (4.1), даними табл. 4.3–4.4, базою 2025 р. із підрозділів 3.1–3.3 та проміжними розрахунками табл. Б.1а–Б.3б, В.1а–В.3б, Г.1а–Г.3б. Покомпонентну перевірку результатів 2030 р. наведено в табл. Д.1, Д.3а–Д.3б.

Довгостроковий горизонт 2035 р. використовується для перевірки того, чи здатні сценарії забезпечити не лише регуляторну адаптацію, а й стійке відновлення виробничого потенціалу. Контрольні значення маршрутних CIt, випуску, MRV-охоплення та структури випуску наведено в табл. А.4–А.6. Щорічні значення між 2030 і 2035 рр. є технічною розгорткою контрольних точок для перевірки арифметичної послідовності, а не окремим самостійним прогнозом; їх подано в додатках Б–Г.

Таблиця 4.6

Результати нормативно-сценарного моделювання технологічних та екологічних параметрів металургійної галузі на 2035 р.

Показник	2025	Інерційний сценарій	Адаптаційний сценарій	Трансформаційний сценарій	Відхилення 2035 р. (трансформаційний) від 2025 р., +/–	Відхилення 2035 р. (трансформаційний) від 2025 р., %
Випуск сталі, млн т	7,41	9,00	12,50	15,00	7,59	202,4
CIt, т CO_2-екв./т	2,021	1,713	1,220	0,953	-1,068	47,2
Відхилення CIt від IПо, т CO_2-екв./т	0,561	0,253	-0,240	-0,507	-1,068	—
Відхилення CIt від IПм, т CO_2-екв./т	0,678	0,370	-0,123	-0,390	-1,068	—
Абсолютні викиди, млн т CO_2-екв.	14,976	15,417	15,250	14,288	–0,688	95,4
Частка низьковуглецевих маршрутів, %	6,6	15,0	50,0	70,0	63,4	1060,6
Верифікований маршрутний профіль, %	56,6	85,0	95,0	100,0	43,4	176,7
Умовно уникнені викиди за сценарного випуску, млн т CO_2-екв.	0,000	2,772	10,012	16,028	16,028	—

Джерело: розраховано автором за формулою (4.1), даними табл. 4.3–4.4, базою 2025 р. із підрозділів 3.1–3.3 та проміжними розрахунками табл. Б.1а–Б.3б, В.1а–В.3б, Г.1а–Г.3б. Покомпонентну перевірку результатів 2035 р. наведено в табл. Д.2, Д.3а–Д.3б.

На горизонті 2035 р. інерційний сценарій зберігає CIt на рівні 1,713 т CO_2-екв./т, що перевищує IПо на 0,253 т CO_2-екв./т. Адаптаційний сценарій досягає 1,220 т CO_2-екв./т і переходить нижче IПм. Трансформаційний сценарій за сукупної частки низьковуглецевих маршрутів 70% формує CIt близько 0,953 т CO_2-екв./т. Покомпонентні внески кожного технологічного маршруту до цих результатів наведено в табл. Д.2.

Абсолютні викиди у трансформаційному сценарії 2035 р. оцінено у 14,288 млн т CO_2-екв. за випуску 15,0 млн т сталі. Порівняно з 2025 р. випуск зростає більш як удвічі, тоді як абсолютні викиди скорочуються приблизно на 0,688 млн т CO_2-екв. Такий результат відображає абсолютне роз’єднання виробничого

зростання і викидів, але можливий лише за реального введення EAF, DRI–EAF, H_2-ready потужностей та низьковуглецевої електроенергії. Арифметичну перевірку абсолютних викидів подано в табл. Д.3а, а зіставлення з базовим 2025 р. — у табл. Д.4а–Д.4б.

Адаптаційний сценарій є менш капіталомістким, проте також потребує структурної зміни. Його результат 1,220 т CO_2-екв./т не може бути отриманий лише за рахунок енергоефективності: необхідні розширення EAF, DRI–EAF, скорочення частки невизначених процесів до 10%, маршрутне MRV-охоплення не менш як 95% та доступність довгострокового фінансування. Щорічну зміну часток маршрутів, їх внесків до CIt, випуску й абсолютних викидів за адаптаційним сценарієм наведено в табл. В.1а–В.3б.

Трансформаційний сценарій не оголошується найбільш імовірним. Він використовується як нормативний орієнтир верхньої межі керованої трансформації. Його практична функція — визначити, які рішення щодо мереж, брухту, DRI-сировини, водню, гарантій, оффтейку та професійної перекваліфікації потрібно розпочати до появи повної комерційної готовності всіх технологій. Повну щорічну розгортку технологічних часток, маршрутних внесків, CIt, викидів та відхилень від ІПм/ІПо наведено в табл. Г.1а–Г.3б.

Ключовим обмеженням сценарної моделі є відсутність відкритого повного реєстру проєктів, їх CAPEX, строків введення, маршрутних специфічних викидів, джерел електроенергії та вартості фінансування. Тому таблиці 4.5–4.6 є результативними галузевими прогнозними зрізами, а не календарем будівництва конкретних установок. Водночас усі галузеві проміжні розрахунки, які підтверджують фінальні значення, наведено в додатках Б–Г, а їх покомпонентний та арифметичний контроль — у додатку Д. Детальні проєктні розрахунки CAPEX, строків введення і вартості фінансування мають додаватися після отримання первинних даних конкретних проєктів.

Окремим обмеженням є вартість капіталу. Однаковий технологічний проєкт може бути економічно життєздатним за гарантій і blended finance та

неприйнятним за комерційного WACC воєнного періоду. Тому у 4.1 вартість капіталу використовується як умова реалізації сценарію, але не включається до умовного технологічного CIt. Її кількісне моделювання має здійснюватися у фінансовому механізмі розділу 5.

Соціальна складова також є умовою сценарної досяжності. EAF і DRI змінюють професійну структуру, підвищують роль електротехнічних, цифрових, водневих та аналітичних компетентностей і можуть скорочувати окремі традиційні функції. Тому кожен великий проєкт повинен мати план зайнятості, перекваліфікації та розвитку громади, що надалі включається до стейкхолдерної моделі 4.2.

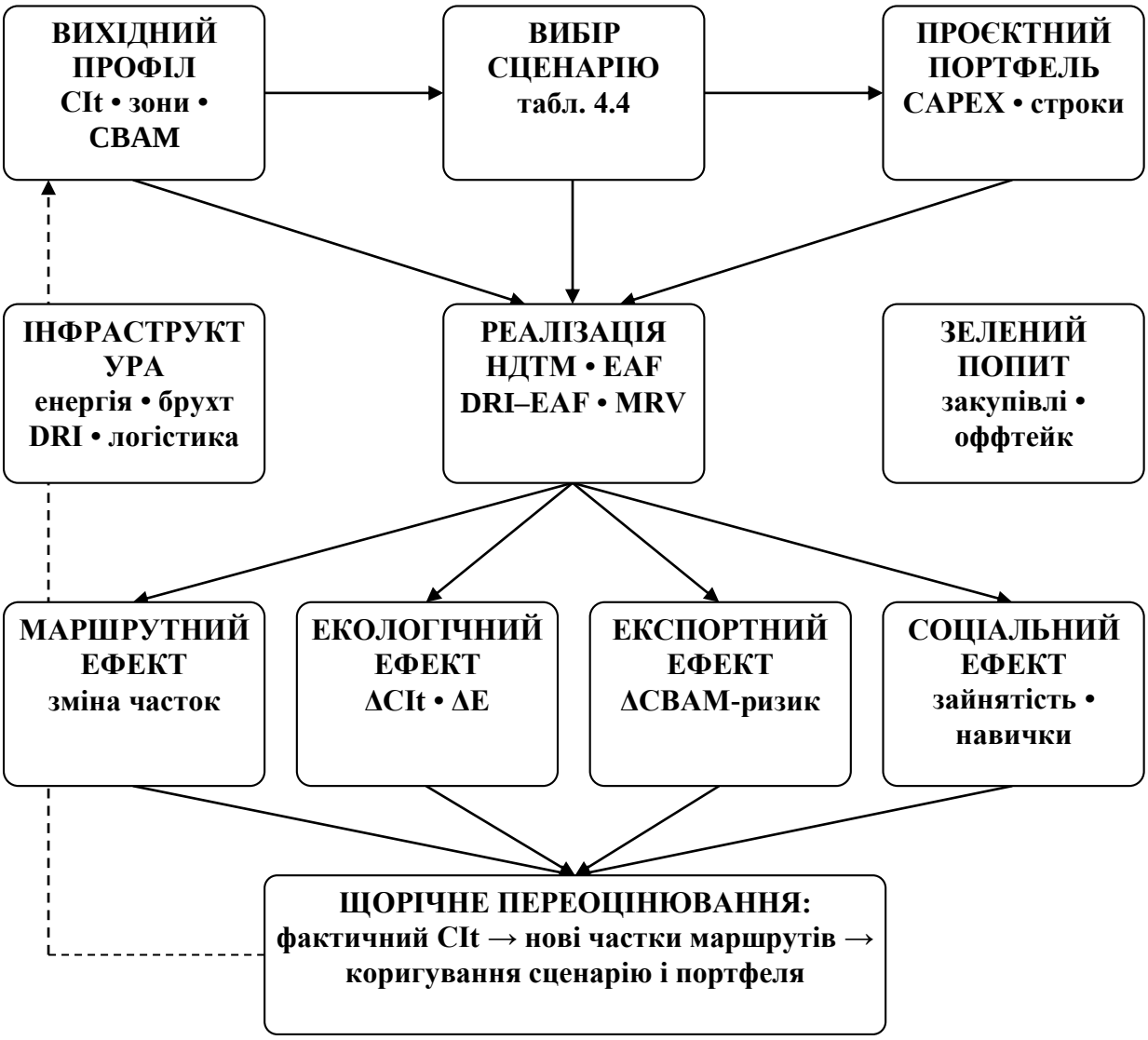


Рис. 4.3. Замкнений цикл реалізації технологічного портфеля та коригування сценарних параметрів

Джерело: розроблено автором на основі методики підрозділу 2.3, сценарних розрахунків табл. 4.4–4.6, проміжних розрахунків додатків Б–Г, контрольних таблиць додатка Д та [110; 126; 158; 191; 238; 240; 246; 255; 308; 311–312; 314; 317; 345; 352; 361; 374; 378].

Механізм на рис. 4.3 забезпечує прямий зв’язок між діагностикою, сценарним вибором і реалізацією. Вихідний профіль формує вимогу до технологічного портфеля; проєкти реалізуються за наявності інфраструктури, фінансування і зеленого попиту; MRV підтверджує фактичний ефект; оновлені

CIt, викиди та технологічні частки використовуються для коригування наступного циклу.

Щоб сценарна модель не перетворилася на разовий набір цільових чисел, необхідно встановити правила її оновлення. Перерахунок проводиться щорічно після появи офіційних даних про випуск, технологічні маршрути, національну інвентаризацію, продуктові викиди, енергетичний баланс, введені потужності та доступне фінансування. Перелік параметрів, періодичність, джерела оновлення і дії у моделі визначено в табл. Е.2 додатка Е.

Правила табл. 4.7 забезпечують відтворюваність моделі та дозволяють рецензентові відокремити фактичні дані від авторських припущень. Кожне сценарне значення має бути пов’язане з джерелом, статусом, датою оновлення та тригером коригування. Статуси даних розкрито в табл. А.1, реєстр джерел — у табл. Е.1, а процедура щорічного оновлення — у табл. Е.2. За відсутності фактичного підтвердження сценарне значення не переноситься до оцінки реалізованого ефекту.

Для запобігання формальному досягненню цілей застосовується подвійний критерій. Зниження CIt має супроводжуватися збереженням або економічно обґрунтованим відновленням виробничого потенціалу. Скорочення абсолютних викидів через зупинку потужностей не визнається технологічним ефектом. Позитивним є зростання випуску за одночасного швидшого зниження CIt та підтвердженого MRV.

Державна роль у реалізації портфеля охоплює нормативну, координаційну, інвестиційну, ринкову, аналітичну і соціальну функції. Держава забезпечує НДТМ, інтегровані дозволи, МЗВ, узгодження з СВАМ, мережеву та транспортну інфраструктуру, гарантії, страхування, зелений попит і програми справедливого переходу.

Підприємства реалізують проєкти, надають первинні маршрутні та продуктові дані й відповідають за виконання контрактних KPI. Галузевий рівень

агрегує результати й визначає структурну траєкторію. Національний рівень встановлює правила, фінансові умови та взаємозв'язок із кліматичною, енергетичною, торговельною та регіональною політикою.

Таблиця 4.7

Правила перевірки, оновлення та управлінського використання нормативно-сценарної моделі

Параметр оновлення	Джерело / статус	Періодичність	Тригер коригування	Управлінська реакція
Випуск і завантаження потужностей	офіційні та галузеві дані; F/O	щороку	відхилення від сценарію понад 10%	перерахунок абсолютних викидів і строків портфеля
Частки технологічних маршрутів	worldsteel, операторські дані; O/F	щороку	введення або вибуття великих потужностей	оновлення ваг d_{it}^{s} у формулі (4.1)
Маршрутні CIt	MRV, продуктові дані, IEA/worldsteel; F/O/S	щороку	поява верифікованих значень або нової методики	заміна S-параметра фактичним F
Електроенергія і PPA	оператор системи, постачальники; F/O	щороку	дефіцит потужності або зміна вуглецевого фактора	перенесення строків EAF/DRI та інфраструктурні рішення
Брухт і DRI-сировина	статистика торгівлі та операторів; F/O	щороку	дефіцит якості чи обсягу понад 10%	коригування часток EAF і DRI–EAF
CAPEX, WACC, гарантії	проєкти, банки, МФО; F/E	за кожним раундом фінансування	зміна вартості капіталу або недоступність співфінансування	зміна черговості та механізму підтримки
MRV і верифікація	національний реєстр, CBAM-дані; F/O	щороку	охоплення нижче сценарної цілі	обов'язкова дорожня карта даних і технічна допомога
Зайнятість і перекваліфікація	Держстат, громади, роботодавці; F/O	щороку	ризик значного локального вивільнення	соціальна угода, навчання, диверсифікація громади

Джерело: розроблено автором за результатами підрозділів 2.3, 3.1–3.3, табл. 4.3–4.6, статусами даних табл. A.1 та порядком оновлення табл. E.2.

Запропонований портфель створює технологічні передумови низьковуглецевої трансформації, але його реалізація залежить від узгодженості

учасників. Металургійний бізнес не може самостійно створити національну MRV-інфраструктуру, мережі, водневий контур, гарантійні механізми або програми трансформації громад. Держава, своєю чергою, не може замінити корпоративну технологічну дисципліну та проєктну підготовку.

Науковий результат підрозділу полягає в удосконаленні методичного забезпечення технологічної модернізації металургійної галузі через нормативно-сценарну модель структурної трансформації, яка поєднує вихідний зональний профіль, технологічні маршрути, два контрольні горизонти, статуси даних, середньозважений розрахунок CIt, повний комплект перевірюваних проміжних розрахунків у додатках А–Д та правила щорічного коригування за додатком Е.

Практичне значення результату полягає у можливості використовувати табл. 4.3–4.7 разом із додатками А–Е як основу для підготовки галузевої програми модернізації, відбору проєктів, формування інфраструктурних запитів, переговорів із міжнародними фінансовими установами та контролю переходу до IПо, IПм і near-zero орієнтирів. Така побудова забезпечує перевірку кожного фінального сценарного показника через вихідні параметри, маршрутні частки, проміжні внески, розрахунок CIt, абсолютних та умовно уникнених викидів.

4.2. Стейкхолдерно-координована модель управління сталим розвитком металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації

Результати підрозділів 3.2–3.3 та 4.1 засвідчили, що низьковуглецева трансформація металургійної галузі не може бути забезпечена лише вибором технологічного маршруту. У 2025 р. оцінна галузева вуглецеємність становила 2,021 т CO_2-екв./т сталі, перевищувала IПо на 0,561 т CO_2-екв./т, а технологічна структура залишалася неоднорідною: 50,0% випуску припадало на BF–BOF, 6,6% — на EAF і 43,4% — на недостатньо розкриті інші процеси. Одночасно модернізація потребує синхронного доступу до електроенергії, брухту, DRI-сировини, довгострокового капіталу, верифікованих даних і програм

перекваліфікації. Тому технологічний портфель 4.1 є необхідною, але недостатньою умовою переходу.

Наявна система регулювання характеризується функціональною фрагментарністю. Кліматична політика, промислові дозволи, енергетичне планування, інвестиційна підтримка, регіональний розвиток, зайнятість та зовнішньоторговельна адаптація формуються різними суб'єктами і за різними часовими горизонтами. За відсутності координації це створює трансакційні витрати, суперечливі сигнали та ризик, коли технічно доцільний проєкт не реалізується через мережеві обмеження, високу вартість капіталу, нестачу доказових даних або соціальний спротив. Міжнародні підходи IEA, OECD, UNIDO, EBRD, Світового банку та МОП наголошують на необхідності поєднання технологій, інфраструктури, фінансування, попиту, участі працівників і територій [158; 234–235; 237; 311–312; 320; 322; 345; 361; 366–367].

В Україні потреба в координованому управлінні посилюється євроінтеграційними вимогами. Законодавство про державну кліматичну політику, МЗВ та інтегроване запобігання промисловому забрудненню формує нормативну основу доказового управління, Національний план з енергетики та клімату до 2030 р. задає міжсекторальні орієнтири, а остаточний період CBAM перетворює вбудовані викиди на фактор доступу до ринку ЄС [89; 110; 116; 121; 125–126; 216; 340; 352]. Ці документи не замінюють галузевої моделі, але визначають зовнішні обмеження, в межах яких вона має функціонувати.

У цьому дослідженні стейкхолдерно-координовану модель управління сталим розвитком металургійної галузі запропоновано розуміти як багаторівневу систему формування, узгодження, ресурсного забезпечення, реалізації та коригування галузевих рішень, у якій функції, відповідальність, ризики й очікувані результати розподіляються між державою, металургійним бізнесом, енергетичним сектором, фінансовими установами, територіальними громадами, працівниками, науково-освітніми організаціями, покупцями та міжнародними партнерами, а зворотний зв'язок здійснюється за показниками авторської методики і фактичними результатами трансформації.

Таблиця 4.8

Концептуальні характеристики стейкхолдерно-координованої моделі управління сталим розвитком металургійної галузі

Елемент моделі	Зміст на галузевому рівні	Керовані параметри	Управлінський результат
Суб'єкт управління	держава та галузева координаційна платформа у взаємодії зі стейкхолдерами	повноваження, ресурси, правила, дані	узгоджений портфель рішень
Об'єкт управління	структура, умови відтворення і низьковуглецева конкурентоспроможність галузі	маршрути, CIt, викиди, експорт, інвестиції, зайнятість	керована структурна трансформація
Мета	досягнення низьковуглецевої траєкторії без втрати виробничої, експортної, енергетичної та соціальної стійкості	IПм, IПо, сценарії 2030/2035 рр.	зближення з адаптаційним і трансформаційним сценаріями 4.1
Вхідні дані	результати 2.3, 3.1–3.3 і 4.1; нормативні, інфраструктурні та фінансові умови	CIt, зони, CBAM, маршрутні частки, CAPEX, WACC, MRV	доказова база рішення
Принципи	галузевість, субсидіарність, диференційована відповідальність, доказовість, умовність підтримки, справедливий перехід	правила відбору та супроводу проєктів	зменшення конфліктів і трансакційних витрат
Функції	планування, організація, координація, мотивація, ресурсне забезпечення, контроль і адаптація	проєктний портфель та інфраструктурні залежності	узгоджені дії учасників
Зворотний зв'язок	MRV, продуктові дані, соціально-регіональний моніторинг, інвестиційний контроль	фактичні відхилення від цілей	щорічне коригування портфеля
Вихід моделі	верифікований галузевий профіль і забезпечений ресурсами портфель трансформації	низьковуглецеві маршрути, викиди, CBAM, зайнятість	стійка галузева траєкторія

Джерело: розроблено автором за результатами підрозділів 2.3, 3.1–3.3, 4.1 та [89; 110; 116; 121; 125–126; 158; 216; 234–235; 237; 311–312; 320; 322; 340; 345; 352; 361; 366–367].

Модель не є моделлю управління окремим підприємством. Підприємства виступають носіями інвестиційних проєктів, технологічних даних і операційних рішень, однак об’єктом управління є структура та відтворення металургійної галузі: співвідношення технологічних маршрутів, галузевий CIt, розподіл випуску за регуляторними зонами, абсолютні викиди, CBAM-експозиція, інвестиційний портфель, MRV-охоплення, зайнятість і стійкість металургійних територій. Саме таке розмежування відповідає спеціальності 08.00.03 і забезпечує перехід від корпоративних заходів до управління пропорціями національного господарства.

Суб’єктність моделі має дворівневий характер. Стратегічним суб’єктом є держава, оскільки тільки вона може встановлювати нормативні правила, формувати промислову, кліматичну, енергетичну й регіональну політику, надавати гарантії та представляти країну у взаємодії з ЄС. Операційним координаційним суб’єктом є галузева платформа, яка не підміняє міністерства чи підприємства, а зводить у єдиний цикл дані, проєкти, інфраструктурні залежності, соціальні ризики та рішення про підтримку.

Принцип галузевості означає, що рішення оцінюється не лише за ефектом конкретного проєкту, а за його впливом на структуру національного випуску. Принцип субсидіарності передбачає, що рішення ухвалюється на найнижчому рівні, здатному забезпечити результат, але міжгалузеві обмеження — мережі, водень, брухт, гарантії чи CBAM — піднімаються на галузевий або національний рівень. Диференційована відповідальність виключає покладання всіх витрат переходу на виробника: держава відповідає за правила, енергетика — за інфраструктуру, фінансовий сектор — за оцінювання і структурування капіталу, громади та працівники — за соціальний діалог, бізнес — за технологічну реалізацію і якість даних.

Принцип умовності підтримки передбачає, що гранти, гарантії, податкові стимули, пільгове кредитування або регуляторні перехідні режими пов’язуються з вимірюваними зобов’язаннями: зниженням CIt, наближенням до IПо/IПм, введенням низьковуглецевих маршрутів, розширенням MRV, зменшенням

CBAM-експозиції та виконанням соціального плану. Це знижує ризик підтримки проєктів, які лише подовжують високовуглецеву експлуатацію без визначеної траєкторії виходу.

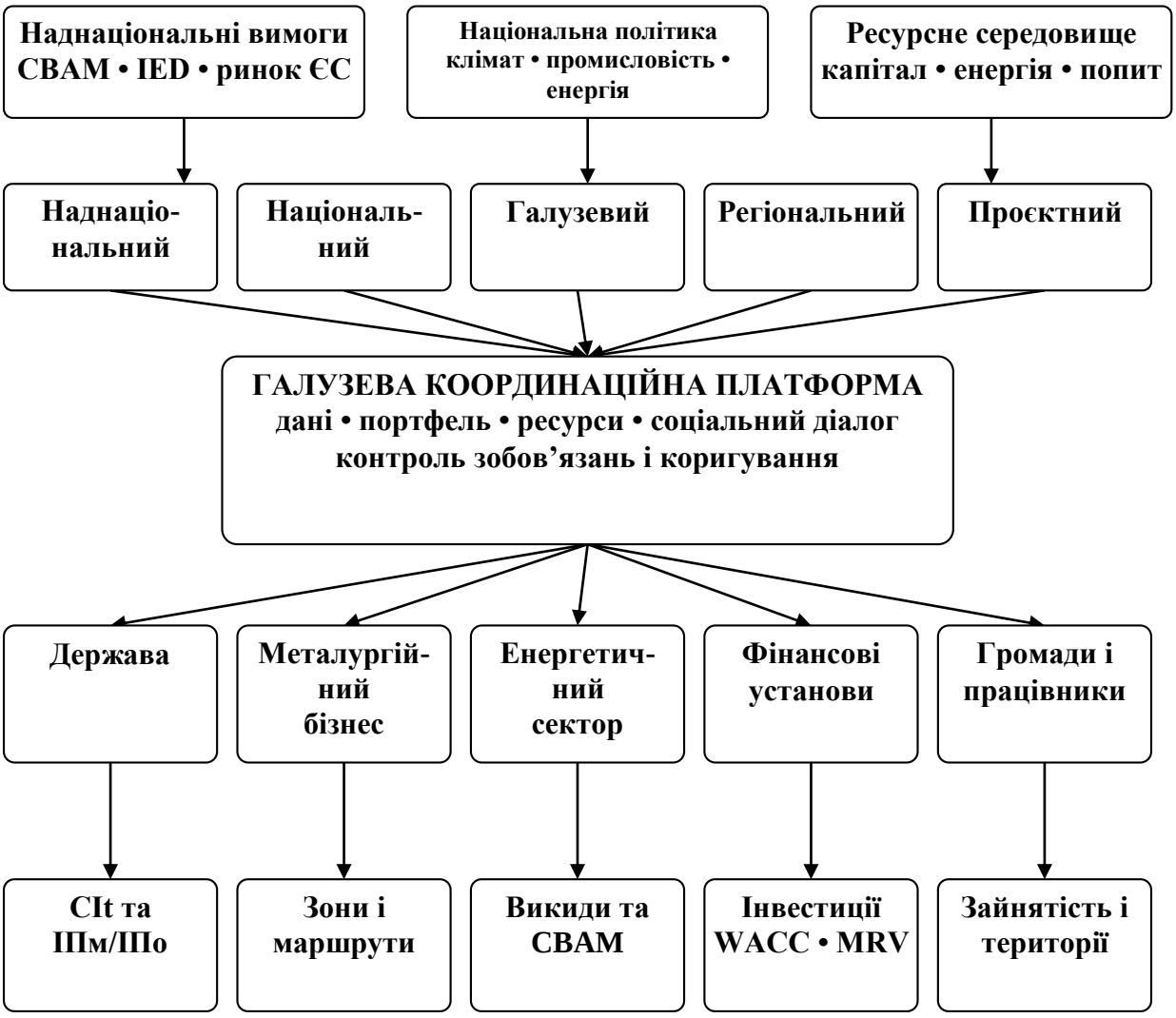


Рис. 4.4. Архітектоніка стейкхолдерно-координованої моделі управління сталим розвитком металургійної галузі

Джерело: розроблено автором за результатами підрозділів 2.3, 3.1–3.3, 4.1 та [89; 110; 116; 121; 125–126; 158; 216; 234–235; 237; 311–312; 320; 322; 340; 345; 352; 361; 366–367].

Принцип справедливого переходу має економічний, а не лише соціальний зміст. Відсутність діалогу з працівниками і громадами збільшує строки, конфліктність і ризикову премію проєктів. Натомість завчасне планування перекваліфікації, локальних інвестицій і диверсифікації зайнятості підвищує

прийнятність модернізації та зменшує втрати людського капіталу [235; 237; 320; 322; 367].

Архітектоніка на рис. 4.4 поєднує вертикаль управління з горизонтальною взаємодією. Наднаціональний рівень задає правила доступу до ринку, міжнародні стандарти вуглецевої оцінки й рамки фінансування. Національний рівень формує нормативну, енергетичну, інвестиційну та соціальну політику. Галузевий рівень агрегує дані й формує портфель, регіональний — узгоджує інфраструктурні та соціальні наслідки, а проєктний — забезпечує технічну реалізацію. Зворотний зв’язок спрямований знизу вгору: фактичні результати проєктів змінюють галузеві параметри і стають підставою для коригування державних інструментів.

У моделі виокремлено дев’ять груп стейкхолдерів. Їхнє включення визначається не формальною зацікавленістю, а наявністю ресурсу, права рішення, ризику або здатності впливати на кінцевий результат. Такий підхід відповідає логіці ESS10 Світового банку, справедливого переходу EBRD і МОП та міжнародної промислової декарбонізації, де участь має бути системною, інформаційно забезпеченою і пов’язаною з реакцією на отримані зауваження [235; 237; 320; 322; 366–367].

Багаторівневість є ключовою відмінністю запропонованої моделі від корпоративного stakeholder management. На наднаціональному рівні рішення стосуються сумісності з CBAM, правилами промислових викидів, стандартами продукції, міжнародними визначеннями low-emission steel та інструментами підтримки. Національний рівень відповідає за рамкові умови, галузевий — за агрегування і портфель, регіональний — за просторові та соціальні наслідки, проєктний — за техніко-економічну реалізацію.

Розмежування рівнів не означає їх ізоляції. Проєкт DRI–EAF може бути технічно підготовлений підприємством, але його реалізація залежить від регіональної мережевої інфраструктури, національних гарантій, міжнародного співфінансування і довгострокового попиту.

Таблиця 4.9

Систематизація інтересів, ресурсів, функцій і ризиків стейкхолдерів металургійної галузі

Група стейкхолдерів	Ключовий інтерес	Ресурс / повноваження	Функція у моделі	Основний ризик відповідальності
1	2	3	4	5
Держава	промислова стійкість, кліматичні цілі, бюджетна та енергетична безпека	нормативні правила, гарантії, державні закупівлі, дипломатія	встановлення рамки, пріоритезація і контроль умов підтримки	непослідовність політики або підтримка carbon lock-in
Металургійний бізнес	рентабельність, ринки збуту, доступ до капіталу, збереження активів	технології, CAPEX, операційні дані, виробничі компетенції	розроблення і реалізація проєктів, MRV, виконання контрактів	відкладення модернізації, неповні дані, перекладання витрат
Енергетичний сектор	передбачуваний попит, окупність мереж і генерації	мережі, генерація, балансування, PPA, газ/водень	узгодження потужності, строків і вуглецевого фактора енергії	несинхронність інфраструктури з введенням EAF/DRI
Фінансові установи і МФО	банківська прийнятність і повернення капіталу	кредит, гарантії, гранти, технічна допомога, оцінка ризику	структурування blended finance і контроль ковенант	завищена премія ризику або фінансування без доказового ефекту
Територіальні громади	зайнятість, доходи, довкілля, інфраструктура	місцеве планування, земельні рішення, суспільна легітимність	територіальні угоди, моніторинг локальних ефектів	нерівномірний розподіл витрат і вигод
Працівники та профспілки	робочі місця, оплата, безпека, професійна мобільність	кваліфікації, виробничі знання, соціальний діалог	участь у планах переходу, перекваліфікації та охороні праці	опір через невизначеність або втрата критичних компетенцій
Наука й освіта	дослідження, підготовка кадрів, апробація рішень	R&D, моделювання, стандарти, навчальні програми	експертиза, підготовка кадрів, незалежна оцінка	відрив досліджень від інвестиційних потреб галузі
Покупці та імпортери	надійність поставок, ціна, підтверджений вуглецевий профіль	оффтейк-контракти, зелена премія, вимоги до даних	формування попиту і контрактне визнання результату	відсутність довгострокового попиту або надмірні вимоги

Продовження табл. 4.9

1	2	3	4	5
Міжнародні партнери	кліматичний ефект, реконструкція, євроінтеграція	фінансування, стандарти, технології, партнерства	співфінансування, гармонізація, доступ до практик	залежність від зовнішнього фінансування та умов

Джерело: систематизовано та розроблено автором за [89; 158; 216; 234–237; 311–312; 316; 320; 322; 340; 345–346; 352–353; 360–361; 366–367].

Тому кожен великий проєкт у моделі отримує карту міжрівневих залежностей, а невирішені залежності фіксуються як умови до моменту остаточного інвестиційного рішення.

Таблиця 4.10

Рівні управління та предмет координації низьковуглецевої трансформації металургійної галузі

Рівень	Основні суб'єкти	Предмет рішення	Ключові інструменти	Контрольний результат
Наднаціональний	ЄС, міжнародні організації, МФО, торговельні партнери	правила доступу до ринку, визначення викидів, стандарти і міжнародне фінансування	CBAM, IED, міжнародні стандарти, партнерства, оффтейк	регуляторна і методична сумісність
Національний	КМУ, профільні міністерства, регулятори, державні фонди	цілі, нормативи, гарантії, енергетична і промислова інфраструктура	НПЕК, інтегровані дозволи, МЗВ, закупівлі, гарантії	узгоджена державна рамка
Галузевий	координаційна платформа, асоціації, оператори, банки, наука	галузевий профіль, портфель проєктів, пріоритети та спільні інфраструктурні потреби	зонально-сценарна методика, реєстр проєктів, галузеві угоди	перерозподіл випуску і ресурсів
Регіональний	ОВА, громади, центри зайнятості, підприємства, заклади освіти	мережі, логістика, земля, зайнятість, перекваліфікація, локальні ефекти	територіальні плани, соціальні угоди, програми навичок	стійкість металургійних територій
Проєктний	підприємство, EPC-підрядник, кредитори, верифікатори, покупці	технологія, CAPEX/OPEX, графік, дані, ризики і виконання ковенант	проєктний контракт, MRV-план, PPA, оффтейк, фінансовий пакет	введений об'єкт і підтверджений ефект

Джерело: розроблено автором за результатами дослідження та [89; 110; 116; 121; 125–126; 158; 216; 234–237; 311–312; 316; 320; 322; 340; 345–346; 352–353; 360–361; 366–367].

Функціональним ядром моделі є механізм узгодження взаємних зобов’язань. Його доцільно реалізовувати через галузеві модернізаційні контракти, у яких публічна підтримка, інфраструктурне забезпечення, приватні інвестиції, вимоги до даних і соціальні заходи фіксуються як взаємозалежні умови. Контракт не замінює юридичні договори окремих учасників; він є управлінською рамкою, що пов’язує їх у єдину траєкторію і створює можливість контролювати не тільки витрачання коштів, а й досягнення галузевого результату.

Для виключення розмитої колективної відповідальності запропоновано матрицю ролей. У ній використовуються позначення: B — власник управлінського рішення; O — основний виконавець; C — співвиконавець; K — контролер або незалежний верифікатор; I — сторона, яка підлягає обов’язковому інформуванню. Одна дія може мати кількох співвиконавців, але лише одного власника рішення. Це правило створює персоніфіковану відповідальність без зведення галузевої трансформації до одного органу або підприємства.

Матриця 4.11 показує, що держава не повинна виконувати функції оператора технологічних проєктів, а підприємство — самостійно створювати загальнонаціональну регуляторну чи енергетичну інфраструктуру. Фінансова установа є власником рішення щодо структури капіталу, але не визначає суспільну доцільність галузевого пріоритету. Громади й працівники є власниками соціально-територіального плану, оскільки саме на цьому рівні виявляються наслідки зміни зайнятості.

Механізм узгодження інтересів розпочинається не з переговорів, а з кількісного виявлення конфлікту. Високе CIt, перевищення IIPo, зростання CBAM-експозиції, дефіцит мережевої потужності, WACC, що робить проєкт небанківським, або очікуване локальне вивільнення є сигналами різної природи. Переведення конфлікту у вимірювану площину дає змогу визначити, яка сторона створює обмеження, який ресурс потрібний і якою компенсацією або умовою його можна усунути.

Таблиця 4.11

Матриця розподілу повноважень і відповідальності у стейкхолдерно-координованій моделі

Управлінська дія	Держава	Металургійний бізнес	Енергетичний сектор	Фінансові установи	Громади / працівники	Наука / міжнародні партнери
Оновлення ІПм, ІПо і правил зонування	B	C	I	I	I	K/C
Формування галузевого профілю і реєстру проєктів	B	O	C	C	I	K/C
Вибір технологічного портфеля	C	B/O	C	C	I	K/C
Планування мереж, генерації, газу і водню	C	C	B/O	I	I	C
Структурування фінансування і гарантій	C	O	C	B	I	C
Реалізація технологічних проєктів	I	B/O	C	K	I	C
План перекваліфікації та територіальної адаптації	C	C	I	C	B/O	C
MRV, верифікація і розкриття результатів	K	O	C	K	I	B/C
Щорічна оцінка ефектів і коригування портфеля	B	C	C	C	C	K/C

Джерело: розроблено автором; B — власник рішення; O — основний виконавець; C — співвиконавець; K — контролер / верифікатор; I — інформована сторона.

Узгодження не означає досягнення компромісу за будь-яку ціну. Рішення не може вважатися прийнятним, якщо воно забезпечує короткострокове збереження зайнятості шляхом невизначеного подовження високовуглецевого активу, знижує CIt через скорочення випуску без технологічної зміни, переносить викиди на

вуглецеємну електроенергію або фінансується без перевірюваних ковенант. Тому модель містить критерії неприйнятного результату.



Рис. 4.5. Механізм узгодження інтересів і розподілу відповідальності у низьковуглецевій трансформації металургії

Джерело: розроблено автором на основі принципів stakeholder engagement, справедливого переходу і результатів авторської методики [158; 234–235; 237; 311–312; 320; 322; 345; 361; 366–367].

Розподіл ресурсів у моделі здійснюється за принципом додатковості. Приватний капітал фінансує комерційно життєздатну частину проєкту; публічний ресурс покриває системний або перехідний розрив, який створюється високою країновою премією, інфраструктурною зовнішньою вигодою, демонстраційним характером технології чи соціальними зобов'язаннями; міжнародні партнери забезпечують довгостроковий капітал, гарантії, гранти і технічну допомогу.

Таблиця 4.12

Взаємозв’язок результатів авторської методики з управлінськими рішеннями моделі

Результат методики / аналізу	Управлінський сигнал	Рішення моделі	Відповідальні стейкхолдери	Контрольний результат
CIt вище IПо	галузь у зоні підвищеної регуляторної вразливості	обов’язковий портфель скорочення і підвищений контроль умов підтримки	держава, бізнес, верифікатори	скорочення перевищення CIt над IПо
CIt між IПм та IПо	керована перехідна зона	поєднання стимулів із часовими ковенантами досягнення IПм	держава, бізнес, банки	перехід до мотиваційної межі
CIt нижче IПм	низьковуглецеве лідерство	пріоритет зеленого попиту, оффтейку і масштабування	бізнес, покупці, фінансові установи	зростання частки низьковуглецевого випуску
Висока частка нерозкритих процесів	невизначеність технологічного профілю	обов’язкове маршрутне розкриття до інвестиційного рішення	бізнес, держава, наука	зростання верифікованого маршрутного профілю
Висока CBAM-експозиція	ризик втрати маржі й ринку ЄС	пріоритет проєктів для експортних потоків і продуктової верифікації	бізнес, імпортери, банки, держава	зменшення вуглецевої маси експорту
Дефіцит енергії / брухту / DRI-сировини	технологічний портфель інфраструктурно не забезпечений	спільний інфраструктурний проєкт або зміна строків/маршруту	енергетика, бізнес, держава	усунення критичної залежності
Високий WACC або розрив фінансування	проєкт не досягає фінансового закриття	гарантії, blended finance, оффтейк, поетапне фінансування	банки, МФО, держава, покупці	зниження вартості капіталу і закриття фінансування
Ризик локального вивільнення	соціальна вразливість території	план перекваліфікації, диверсифікації та перехідний фонд	громади, працівники, бізнес, держава	зайнятість і професійна мобільність

Джерело: розроблено автором за результатами підрозділів 2.3, 3.2, 3.3 і 4.1.

Результати розподіляються через зниження викидів і CBAM-ризику, збереження ринку, повернення капіталу, податкові надходження, робочі місця та поліпшення локального довкілля.

Таблиця 4.13

Механізм узгодження конфліктних інтересів у процесі трансформації металургійної галузі

Конфлікт інтересів	Індикатор-сигнал	Правило рішення	Інструмент узгодження	Неприйнятний результат
Декарбонізація — цінова конкурентоспроможність	CIt, OPEX, CBAM-експозиція, маржа	підтримка надається лише проєкту з підтвердженим скороченням сукупного регуляторного ризику	контракт на різницю, гарантія, оффтейк, поетапний CAPEX	зниження CIt ціною стійкої втрати ринку без перехідного механізму
Електрифікація — енергетична безпека	мережева потужність, PPA, фактор електроенергії	введення EAF/DRI синхронізується з генерацією, мережами та резервуванням	спільний мережевий план, PPA, накопичення, черговість введення	перенесення викидів на дефіцитну або вуглецеємну електроенергію
Модернізація — зайнятість	кількість вивільнених, вакансії, охоплення навчанням	соціальний план затверджується до закриття або зміни переділу	перекваліфікація, мобільність, локалізація нових робочих місць	раптове вивільнення без компенсації та альтернатив
Публічна підтримка — бюджетний ризик	обсяг підтримки, приватне співфінансування, фактичний ефект	підтримка є додатковою, поворотною або умовною щодо результату	гарантії, грантова компонента, ковенанти, clawback	субсидування звичайного ремонту без структурного ефекту
Експорт брухту — ресурс EAF	баланс брухту, ціна, якість, завантаження EAF	обмеження не повинно руйнувати ринок; пріоритет — прозорість і якість потоку	реєстр, сертифікація, сортування, стимули внутрішньої переробки	адміністративний дефіцит або неефективне використання брухту
Прозорість — комерційна конфіденційність	MRV-охоплення, частка верифікованих даних	розкривається агрегований галузевий профіль, а чутливі дані захищаються рівнями доступу	цифровий реєстр, протоколи доступу, незалежна верифікація	відсутність даних або розкриття комерційної таємниці
Національний ефект — локальне навантаження	податки, зайнятість, локальні викиди, інфраструктурні витрати	частина вигоди проєкту спрямовується на територіальну адаптацію	угода розвитку території, цільові фонди, локальні KPI	концентрація витрат переходу в одній громаді

Джерело: розроблено автором з урахуванням [158; 234–237; 311–312; 316; 320; 322; 345–346; 353; 360–361; 366–367].

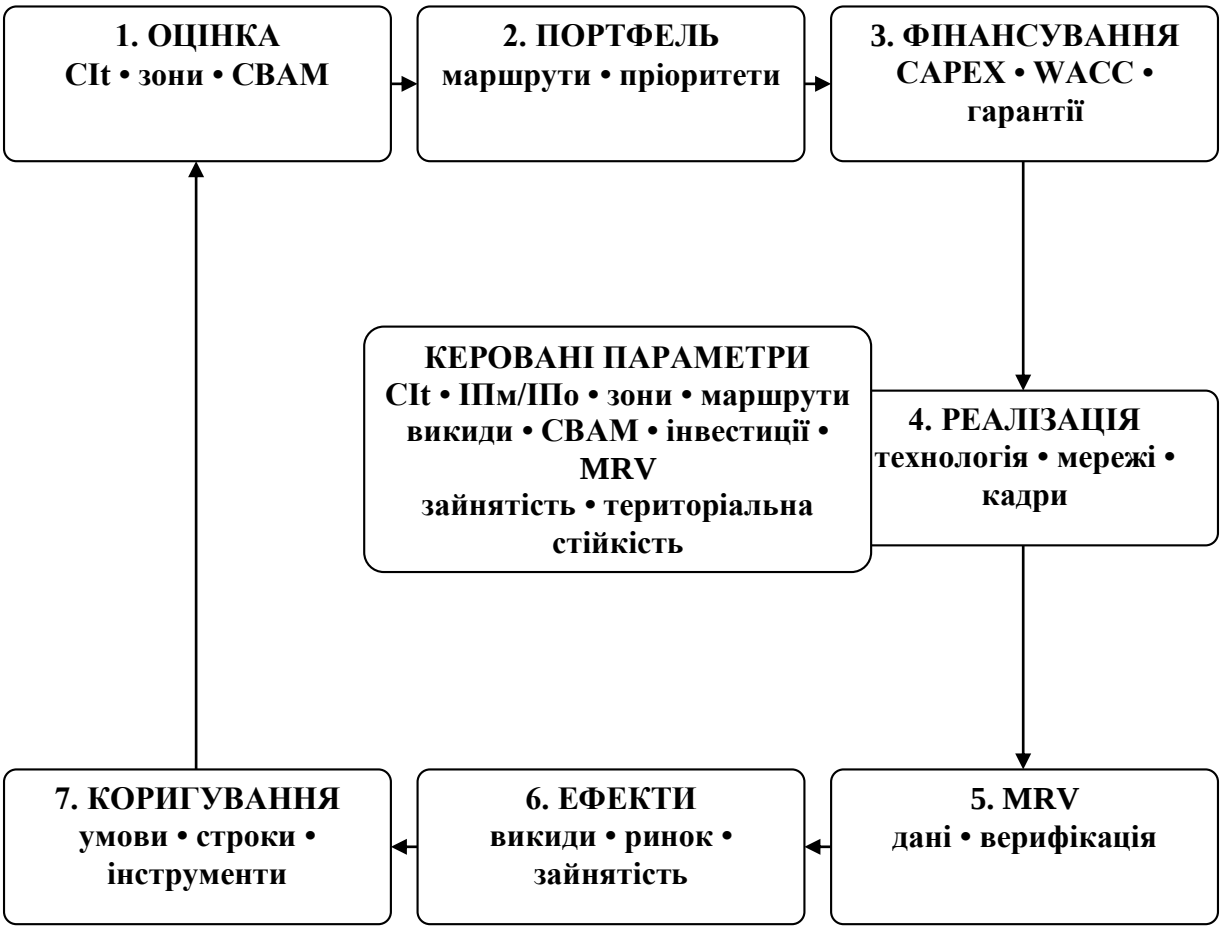


Рис. 4.6. Замкнений цикл управління низьковуглецевою трансформацією металургійної галузі

Джерело: розроблено автором на основі авторської методики підрозділу 2.3 і результатів 3.1–4.1.

Ризики також не можуть залишатися на одному учаснику. Технологічний і операційний ризик переважно несе підприємство; ризик мережевої готовності — енергетичний оператор у межах погодженого графіка; нормативний ризик — держава через передбачуваність правил; кредитний ризик — фінансова установа з можливим гарантійним покриттям; соціальний ризик — спільно бізнес, держава, громада і працівники; ризик попиту — виробник і покупець через оффтейк. Такий розподіл зменшує WACC не адміністративно, а шляхом передачі ризику стороні, яка здатна найкраще ним управляти.

Замкнений цикл функціонування моделі відтворює логіку авторської методики: оцінка → вибір технологічного портфеля → фінансування → реалізація → MRV → оцінка ефектів → коригування. На відміну від разового стратегічного

документа, цикл повторюється щороку, а для великих проєктів — при проходженні ключових інвестиційних воріт. У кожному циклі сценарні параметри S замінюються фактичними F або офіційними O даними, щойно вони стають доступними.

Таблиця 4.14

Етапи функціонування моделі та контрольні результати управлінського циклу

Етап	Основні дії	Вхідні дані	Контрольний результат	Періодичність / власник
1. Оцінка	оновлення галузевого профілю, зон, CBAM і соціальних ризиків	F/O/E дані 3.1–3.3, MRV, ринок праці	підтверджена вихідна позиція і перелік розривів	щороку; держава / платформа
2. Вибір портфеля	зіставлення маршрутів, сценаріїв і ресурсних обмежень	результати 4.1, інфраструктурні карти, проєктні заявки	ранжований портфель із залежностями та строками	щороку; бізнес / платформа
3. Фінансування	оцінка CAPEX/OPEX, WACC, гарантій, грантів та оффтейку	фінансові моделі, ризики, ковенанти	структурований пакет і розподіл ризиків	за інвестиційними воротами; фінансові установи
4. Реалізація	проєктування, закупівля, будівництво, мережі, підготовка кадрів	контракти, дозволи, графіки, соціальний план	введені потужності та виконані етапні зобов’язання	постійно; оператор проєкту
5. MRV	вимірювання, звітність, верифікація, продуктові дані	первинні технологічні й енергетичні дані	верифікований CIt і доказовий профіль	щороку / за партіями; бізнес і верифікатор
6. Оцінка ефектів	зіставлення фактичних результатів із цілями	CIt, викиди, CBAM, інвестиції, зайнятість	виявлені відхилення і досягнуті результати	щороку; платформа / незалежна оцінка
7. Коригування	зміна черговості, умов підтримки, строків, інфраструктури або соціальних заходів	звіт про відхилення і нові зовнішні умови	оновлений портфель і рішення наступного циклу	щороку; держава як власник рішення

Джерело: розроблено автором.

Оцінювання управлінського ефекту здійснюється не через умовний інтегральний індекс. Введення нового агрегованого показника без достатньої статистичної бази та обґрунтованих ваг приховало б причинно-наслідкові зв’язки.

Таблиця 4.15

Показники оцінювання управлінського ефекту стейкхолдерно-координованої моделі

Показник	Економічний зміст	Джерело / статус	Тригер управлінської реакції	Очікуваний напрям
1	2	3	4	5
CIt металургійної галузі, т CO_2-екв./т	питома результативність технологічної структури	інвентар, MRV; O/F/E	зростання або відхилення від сценарію понад 10%	зниження
Відхилення CIt від ІПм та ІПо, т CO_2-екв./т	положення відносно авторського регуляторного коридору	розрахунок за 2.3; E/F	перехід до зони вище ІПо або невиконання строку ІПм	скорочення до нуля / від'ємне
Структура випуску за регуляторними зонами, %	розподіл галузевого випуску за рівнем вуглецевої вразливості	маршрутні дані; F/E	зростання частки в зоні підвищеної вразливості	зсув до лідерства
Частка низьковуглецевих маршрутів, %	масштаб структурної зміни виробництва	виробничі дані; F/S	відставання від сценарної траєкторії 4.1	зростання
Абсолютні викиди, млн т CO_2-екв.	сукупне кліматичне навантаження з урахуванням масштабу випуску	інвентар / MRV; O/F/E	зростання без випереджальн ого відновлення випуску	зниження за зіставного випуску
CBAM-експозиція, млн т CO_2-екв. та євро	зовнішньоторговельний вуглецевий ризик	продуктові дані, ціни CBAM; F/O/E	зростання надлишкової вуглецевої маси або вартості	зниження
Необхідні інвестиції, млн євро	фінансовий масштаб портфеля та розрив фінансування	проєктні дані; F/E	незакритий розрив для пріоритетного проєкту	покриття портфеля
Вартість капіталу WACC, %	ціна фінансового і країнового ризику	банки / МФО; F/E	WACC вище порогу банківської прийнятності	зниження
Охоплення галузі MRV, %	доказовість і придатність даних для ринку та фінансування	реєстр МЗВ, продуктові дані; F/O	охоплення нижче сценарної цілі	зростання до 100%

Продовження табл. 4.15

1	2	3	4	5
Зайнятість і потреба у перекваліфікації, осіб	соціальний масштаб структурної зміни	роботодавці, Держстат, громади; F/O/E	вивільнення без затвердженого плану переходу	збереження продуктивної зайнятості
Соціально-регіональна стійкість металургійних територій	здатність території поглинати зміни без критичної втрати доходів і послуг	набір фактичних показників без агрегування; F/O	погіршення зайнятості, доходів або локальної інфраструктури	стабілізація / поліпшення

Джерело: розроблено автором за результатами підрозділів 2.3, 3.1–3.3, 4.1; новий інтегральний індекс не застосовується.

Тому запропоновано панель взаємопов'язаних показників, у якій кожний параметр зберігає власну економічну інтерпретацію, джерело даних, періодичність і тригер управлінської реакції. Управлінський ефект моделі проявляється через скорочення розриву між технологічною доцільністю і фактичною реалізацією. За однакових технологічних припущень координоване управління не створює фізичне зниження викидів саме по собі, але забезпечує своєчасне формування інфраструктури, закриття фінансування, виконання MRV і соціальних умов, без яких адаптаційний або трансформаційний сценарій 4.1 залишається нереалізованим. Тому модель є інституційною умовою досягнення сценарних результатів, а не окремим джерелом довільно розрахованого вуглецевого ефекту.

Очікуваний економічний результат полягає у зниженні трансакційних витрат, скороченні строку підготовки проєктів, зменшенні ризикової премії через прозорий розподіл ризиків, формуванні довгострокового попиту та кращій сумісності з міжнародними фінансовими вимогами. Технологічний результат виражається у збільшенні частки EAF, DRI–EAF і H_2-ready маршрутів, екологічний — у зменшенні CIt та абсолютних викидів, зовнішньоторговельний — у зниженні CBAM-експозиції, соціальний — у керованій зміні зайнятості та стійкості металургійних територій.

Таблиця 4.16

Дорожня карта реалізації стейкхолдерно-координованої моделі до 2030 та 2035 рр.

Напрям	2026–2027 рр. — запуск	2028–2030 рр. — інституціоналізація	2031–2035 рр. — масштабування	Контрольний результат
Управління	створення координаційного формату, регламенту ролей і реєстру рішень	щорічний портфельний цикл та контракти взаємних зобов'язань	адаптивне галузеве управління на основі фактичних результатів	безперервний цикл рішення і коригування
Дані та MRV	інвентаризація установок, маршрутів і прогалин даних	галузевий реєстр, продуктова верифікація експортних потоків	повне повторне використання даних для MRV, CBAM, фінансування та ESG	MRV-охоплення відповідно до цілей 4.1
Технологічний портфель	підготовка НДТМ, EAF, DRI–EAF і спільних інфраструктурних проєктів	фінансове закриття і введення першої хвилі структурних проєктів	масштабування DRI–EAF, H_2-ready і near-zero сегментів	частки маршрутів за сценаріями 2030/2035 рр.
Енергетика і ресурси	карта мережевих, брухтових і сировинних обмежень	синхронні інвестиції в мережі, ВДЕ/PPA, підготовку брухту і DRI-сировини	інтегрована низьковуглецева енергетично-сировинна система	відсутність критичних ресурсних обмежень
Фінансування	типологія проєктів і механізмів гарантування	blended finance, оффтейк, умовна підтримка і ковенанти результату	рефінансування масштабованих проєктів на основі підтвердженого ефекту	зниження WACC і покриття інвестиційного розриву
Соціальний перехід	карта професій і територій ризику, початок діалогу	угоди розвитку, програми перекваліфікації та локалізації робочих місць	диверсифікована зайнятість і нові промислові компетенції	стійкість металургійних громад
Попит і партнерства	ідентифікація покупців та міжнародних партнерів	довгострокові оффтейк-контракти і зелені закупівлі	стабільний ринок верифікованої низьковуглецевої сталі	контрактне визнання вуглецевого результату

Джерело: розроблено автором у взаємозв'язку зі сценарними параметрами підрозділу 4.1.

Дорожня карта реалізації моделі не встановлює нових прогнозних чисел, а визначає послідовність управлінських умов, необхідних для досягнення контрольних точок 4.1. До 2030 р. пріоритетом є створення працездатної

платформи, повне маршрутне розкриття, формування портфеля і фінансово закритих проєктів. До 2035 р. модель має перейти від координації окремих проєктів до регулярного управління структурою галузі та мережевими, сировинними й соціальними залежностями.

Організаційна форма галузевої платформи, правові інструменти її функціонування, джерела фінансування, структура гарантій і партнерські угоди мають бути конкретизовані у розділі 5. У межах 4.2 визначено логіку управління, розподіл функцій і цикл рішення, але не підмінено інституційний та фінансовий механізми реалізації. Це усуває дублювання між моделлю і подальшими прикладними положеннями.

Інформаційною основою моделі є MRV, продуктова верифікація та ESG-прозорість. Проте їхня архітектура, взаємне використання даних, цифровий кліматично-ресурсний паспорт і процедури довіри мають самостійний предмет дослідження. Тому наступний підрозділ 4.3 розкриває не нову модель управління, а інформаційний контур зворотного зв’язку, без якого рішення 4.2 не можуть бути підтверджені і скориговані.

Наукова новизна одержаного результату полягає в тому, що вперше розроблено стейкхолдерно-координовану модель управління сталим розвитком металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації, яка поєднує результати галузевого зонально-сценарного оцінювання вуглецеємності, технологічну модернізацію, багаторівневу координацію та диференційований розподіл функцій, ресурсів, ризиків і відповідальності між державою, металургійним бізнесом, енергетичним сектором, фінансовими установами, територіальними громадами, працівниками, науково-освітніми організаціями, покупцями й міжнародними партнерами, а також замкнений зворотний зв’язок за показниками CIt, відхиленнями від IПм та IПо, структурою регуляторних зон і технологічних маршрутів, абсолютними викидами, CBAM-експозицією, інвестиційним забезпеченням, вартістю капіталу, MRV-охопленням та соціально-регіональною стійкістю.

Таким чином, запропонована модель переводить низьковуглецеву трансформацію з набору розрізнених вимог і проєктів у регулярний галузевий цикл прийняття рішень. Її практичне призначення полягає у тому, щоб забезпечити реалізованість технологічних сценаріїв 4.1, запобігти конфліктам між декарбонізацією, конкурентоспроможністю, зайнятістю та енергетичною безпекою, а також створити управлінську основу для інформаційного забезпечення 4.3 і інституційно-фінансових механізмів розділу 5.

4.3. Прозорість, MRV та ESG-звітність у системі управління низьковуглецевою трансформацією металургійної галузі

Підрозділи 4.1 і 4.2 визначили технологічний портфель низьковуглецевої модернізації та розподіл функцій між учасниками галузевої системи. Проте технологічне рішення і навіть формально погоджений пакет зобов'язань не перетворюються на керований результат без доказової інформаційної інфраструктури. Держава, фінансові установи, імпортери, територіальні громади та сам металургійний бізнес повинні використовувати зіставні дані про обсяг виробництва, технологічний маршрут, споживання енергії та сировини, прямі й непрямі викиди, походження електроенергії, частку брухту, виконання інвестиційних заходів і соціальні наслідки структурної зміни. Тому MRV та ESG-прозорість у дослідженні розглядаються не як завершальна публікація звіту, а як інформаційний контур стейкхолдерно-координованої моделі, що забезпечує зворотний зв'язок між вимірюванням, верифікацією, фінансуванням і коригуванням галузевої політики.

Необхідність такого контуру посилюється відмінністю між кількома системами обліку. Національна інвентаризація викидів характеризує внесок виду діяльності у викиди держави; українська система моніторингу, звітності та верифікації оперує установками й операторами; CBAM вимагає продуктово орієнтованих даних про вбудовані викиди імпортованих товарів; корпоративна

звітність зі сталого розвитку поєднує кліматичні показники з ризиками, політиками, ресурсами, працівниками, громадами та управлінськими процедурами. Механічне перенесення чисел між цими контурами створює методичну помилку, оскільки вони можуть мати різні організаційні межі, часові періоди, одиниці продукції, правила консолідації та рівні впевненості [105; 110; 114; 116; 126; 194; 200–201; 226–227; 242; 352].

У цьому підрозділі запропоновано не створювати ще одну паралельну систему звітності. Натомість формується галузева доказова інфраструктура за принципом «одноразове збирання — багаторазове контрольоване використання». Первинні дані фіксуються у місці їх виникнення, проходять автоматизовані та експертні контрольні процедури, отримують статус якості, зберігають простежуваність до джерела і лише після цього використовуються для MRV, CBAM, ESG-розкриття, галузевого бенчмаркінгу, кредитних ковенант, державної підтримки та суспільного діалогу. Така логіка зменшує ризик суперечливих показників і водночас не скасовує різних правил формування кожного звітного продукту.

Об’єктом удосконалення є інформаційно-аналітичний контур управління сталим розвитком металургійної галузі. Його суб’єктами виступають уповноважені органи держави, оператори металургійних установок, адміністратор галузевої платформи, незалежні верифікатори, енергетичні й сировинні постачальники, банки та міжнародні фінансові установи, імпортери, територіальні громади, працівники і наукові організації. Предметом координації є не вільний обмін усіма корпоративними даними, а встановлення єдиних визначень, меж обліку, форматів, рівнів доступу, процедур перевірки і правил використання інформації для управлінських рішень.

Науковий результат підрозділу полягає в удосконаленні інформаційно-аналітичного забезпечення управління низьковуглецевою трансформацією металургійної галузі шляхом поєднання установчого MRV, продуктового обліку вбудованих викидів, ESG-розкриття, галузевого реєстру та цифрового

кліматично-ресурсного паспорта продукції. Відмінною ознакою підходу є прив'язка кожного інформаційного потоку до керованих параметрів моделі 4.2 — CIt, відхилень від IПм та IПо, структури технологічних маршрутів, абсолютних викидів, CBAM-експозиції, інвестиційного забезпечення, MRV-охоплення, зайнятості, перекваліфікації та соціально-регіональної стійкості — із фіксацією походження, статусу, періоду, межі обліку і рівня верифікації даних.

Таблиця 4.17

Функціональне розмежування інформаційних контурів низьковуглецевої трансформації металургійної галузі

Контур	Об'єкт обліку	Основна управлінська функція	Методичне обмеження
Національна інвентаризація парникових газів	Категорія виду діяльності у межах державної інвентаризації	Оцінка абсолютних викидів і внеску галузі у виконання кліматичних цілей	Не підмінює продуктові або установчі дані; застосовується для макрорівня
MRV установки	Установка, оператор, джерела викидів і потоки палива/матеріалів	Моніторинг, звіт оператора та незалежна верифікація	Формує доказову первинну базу для регуляторного контролю
Продуктовий облік CBAM	Товар, виробничий маршрут, партія або група продукції	Підтвердження вбудованих викидів для імпортера ЄС	Потребує простежуваного розподілу установчих даних на продукцію
ESG/ESRS-розкриття	Підприємство або група, суттєві впливи, ризики й можливості	Пояснення політик, цілей, дій, ресурсів і результатів сталого розвитку	Не тотожне MRV; використовує MRV як джерело кліматичних метрик
Цифровий кліматично-ресурсний паспорт	Продукція або контрактна партія	Передавання покупцю верифікованого кліматичного, енергетичного і ресурсного профілю	Не замінює сертифікат якості чи CBAM-декларацію; є структурованим носієм даних
Галузевий реєстр	Агреговані технологічні сегменти й металургійна галузь	Бенчмаркінг, зонування, відбір проєктів і контроль галузевої траєкторії	Публічні агрегати відокремлюються від комерційно чутливих первинних даних

Джерело: систематизовано та розроблено автором на основі [105; 110; 114; 116; 126; 194; 200–201; 226–227; 242; 281–283; 299; 327; 352; 373; 378].

Таблиця 4.17 показує, що сумісність не означає уніфікацію всіх показників до одного числа. Єдине інформаційне ядро повинно зберігати первинний вимір і метадані, а звітні модулі мають застосовувати до нього власні правила консолідації. Зокрема, значення CIt для галузевого профілю не можна автоматично включати у CBAM-пакет конкретного товару, якщо воно не відображає фактичний маршрут і вбудовані викиди цієї продукції. Аналогічно корпоративний показник Scope 2 не є взаємозамінним із непрямими викидами, які враховуються у конкретній методології CBAM.

Українське законодавство визначає правові засади MRV, Єдиний реєстр, порядок підготовки плану моніторингу, звіту оператора та процедуру незалежної верифікації. Відновлення функціонування системи після воєнного призупинення посилює потребу в тому, щоб цифровізація не обмежувалася завантаженням фінального документа, а охоплювала ланцюг даних від засобу вимірювання до верифікованого показника [105; 110; 114; 116; 126]. Для металургії це означає контроль потоків коксу, вугілля, природного газу, руди, вапняку, брухту, DRI, електроенергії, технологічних газів і випуску продукції.

Європейський контур додає продуктову вимогу. Остаточний режим CBAM і спеціальні правила визначення та верифікації вбудованих викидів підвищують значення даних оператора установки у третій країні. Водночас ESG-розкриття згідно з ESRS орієнтується на подвійну суттєвість, ланцюг створення вартості та зв’язок між впливами, ризиками, можливостями, політиками, діями, метриками й цілями. Тому інформаційна система повинна підтримувати як точний кількісний облік, так і доказове пояснення управлінських дій [194; 200–201; 226–227; 242; 352].

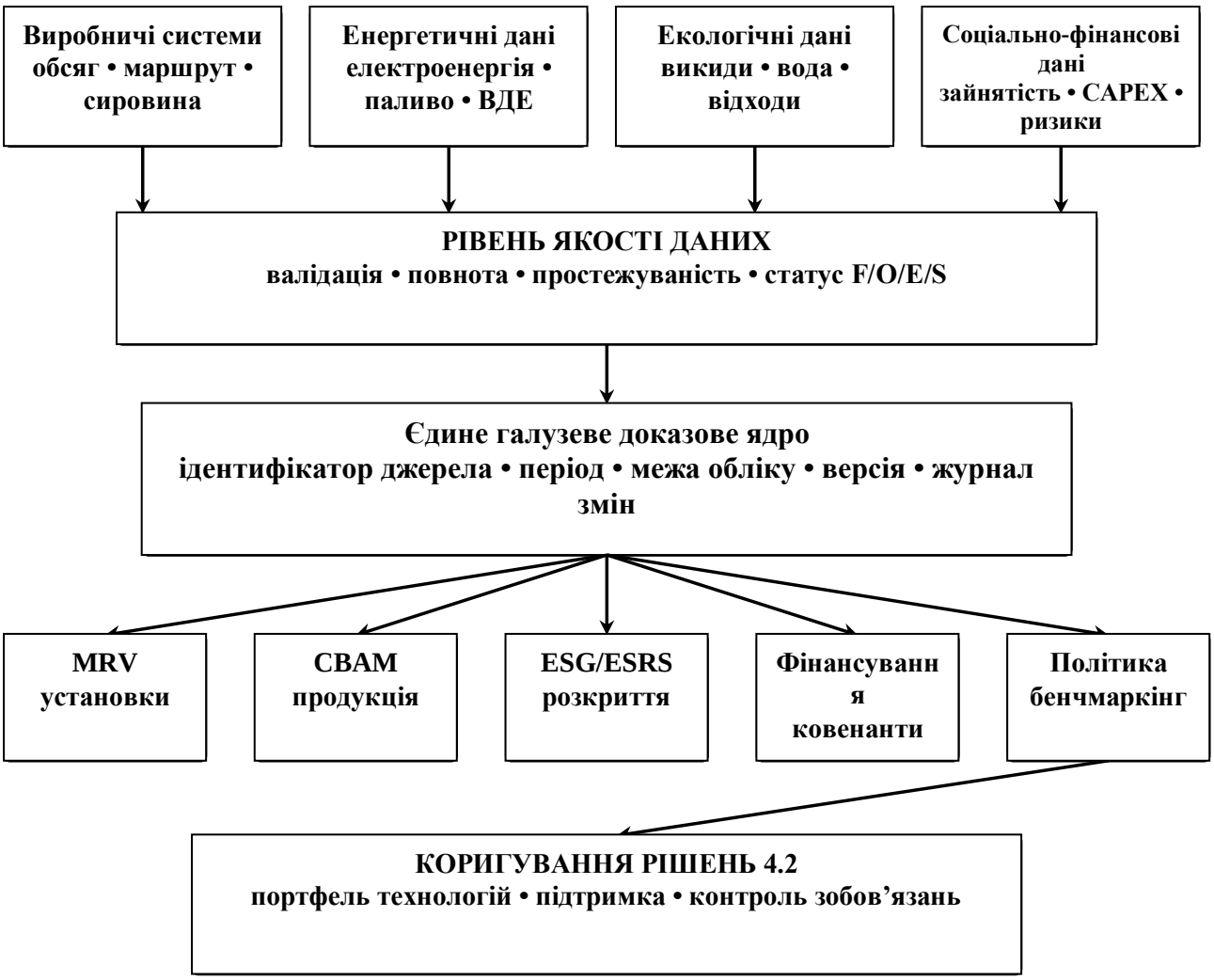


Рис. 4.7. Архітектура інтегрованої доказової інфраструктури низьковуглецевої трансформації металургійної галузі

Джерело: розроблено автором на основі результатів підрозділів 2.3, 3.1–3.3, 4.1–4.2 та [105; 110; 114; 116; 126; 194; 200–201; 226–227; 242; 281–283; 299; 327; 352; 373; 378].

Архітектура на рис. 4.7 побудована не навколо фінального звіту, а навколо життєвого циклу даних. Її перший рівень охоплює джерела, другий — контроль якості, третій — доказове ядро з метаданими, четвертий — спеціалізовані модулі використання, а п'ятий — управлінський зворотний зв'язок. За такої побудови виправлення помилки у первинному потоці повинно автоматично ініціювати перегляд усіх залежних показників і звітних продуктів, а не залишати різні версії CIt у документах для держави, банку та імпортера.

Ключовою вимогою є простежуваність. Для кожного агрегованого показника система повинна зберігати посилання на джерело, метод перетворення, відповідального за введення, дату, одиницю виміру, організаційну і технологічну

межу, застосований коефіцієнт, статус перевірки та історію коригувань. Простежуваність перетворює показник із декларативного числа на відтворюваний доказ і дозволяє незалежному верифікатору оцінити не тільки арифметичну правильність, а й повноту системи контролю.

Для галузевого управління необхідно поєднати п’ять рівнів даних: процес, установка, продукція, підприємство і галузь. Процесний рівень потрібний для виявлення технологічного джерела відхилення; установчий — для законодавчого MRV; продуктовий — для CBAM і кліматично-ресурсного паспорта; корпоративний — для ESG, фінансування та ризик-менеджменту; галузевий — для CIt, регуляторних зон, сценарної переоцінки та державної політики. Перехід між рівнями повинен здійснюватися через явні правила агрегації, а не експертне копіювання підсумкових значень.

Особливої уваги потребує електроенергія. Для EAF і DRI–EAF непрямі викиди можуть істотно змінювати результат залежно від вуглецевої інтенсивності мережі, договірного постачання і правил визнання атрибутів електроенергії. GHG Protocol Scope 2 розмежовує location-based і market-based підходи, тому система повинна зберігати обидва значення там, де це методично необхідно, разом із походженням факторів і контрактних інструментів [281; 283]. Використання лише «зеленої» назви договору без доказу атрибутів не повинно автоматично знижувати продуктовий CIt.

Для продуктового рівня доцільно застосовувати принципи вуглецевого сліду продукції, узгоджені з ISO 14067 і GHG Protocol Product Standard. Водночас кліматично-ресурсний паспорт у дисертації не проголошується повною оцінкою життєвого циклу кожної партії. Його базовою функцією є відтворюваний cradle-to-gate профіль із чітко зазначеною межею, технологічним маршрутом, джерелами енергії, правилами розподілу та статусом верифікації [282; 327; 378].

Галузевий реєстр повинен відображати не тільки значення показника, а і якість його доказової основи.

Таблиця 4.18

Рівні формування даних і контрольні процедури в інтегрованій MRV–ESG-системі

Рівень	Ключові дані	Первинне джерело	Періодичність	Контроль
Процесний	Витрата палива, матеріалів, електроенергії; випуск проміжного продукту; параметри технологічного режиму	Засоби вимірювання, АСУ ТП, лабораторії, матеріальні баланси	Безперервно / зміна / доба	Діапазон, калібрування, баланс, аномалії
Установчий	Джерела викидів, потоки, валові викиди, план моніторингу, невизначеність	Система оператора і Єдиний реєстр MRV	Місяць / рік	Внутрішня перевірка та незалежна верифікація
Продуктовий	Маршрут, партія, розподілені прямі й непрямі викиди, сировинний та енергетичний профіль	Система простежуваності виробництва й контрактні дані	Партія / контракт	Правило розподілу, узгодження маси, версія методики
Корпоративний	Scope 1–3, політики, цілі, CAPEX, ризики, працівники, громади, управління	Фінансова, нефінансова, кадрова та ризикова звітність	Квартал / рік	Консолідація, подвійна суттєвість, внутрішній контроль
Галузевий	CIt, відхилення від ІПм/ІПо, структура маршрутів, MRV-охоплення, CBAM-експозиція, соціально-регіональні показники	Галузева платформа, державна статистика, агреговані корпоративні дані	Квартал / рік	Зіставність меж, анонімізація, контроль дублювання

Джерело: розроблено автором на основі [105; 110; 114; 116; 126; 281–283; 299; 327; 373; 378].

У підрозділі 2.3 уже запроваджено статуси F, O, E і S. У 4.3 ці статуси перетворюються на правила допустимого використання: фактичні й офіційні дані можуть використовуватися у регулярному моніторингу за умови зіставності меж; розрахункові оцінки застосовуються для аналітики з обов'язковим розкриттям алгоритму; сценарні дані не повинні потрапляти у фактичну звітність або верифіковані продуктові паспорти.

Таблиця 4.19

Взаємозв'язок керованих параметрів моделі 4.2 з джерелами і правилами використання даних

Керований параметр	Необхідні дані	Рівень агрегації	Періодичність	Управлінське використання
1	2	3	4	5
CIt та його відхилення від ІПм/ІПо, т CO_2-екв./т	Верифіковані викиди; випуск сталі; маршрутні дані	Установка → технологічний сегмент → галузь	Щорічно; квартальний попередній контроль	Бенчмаркінг, зонування, коригування технологічного портфеля
Структура випуску за регуляторними зонами, %	CIt сегментів і частка випуску	Сегмент / продукція → галузь	Щорічно	Адресність підтримки та регуляторної уваги
Частка низьковуглецевих технологічних маршрутів, %	Фактичний випуск EAF, DRI–EAF, H_2-ready та підтверджені маршрутні критерії	Виробничі системи і галузева статистика	Квартал / рік	Контроль структурної трансформації
Абсолютні викиди парникових газів, млн т CO_2-екв.	MRV установок та національна інвентаризація зі збереженням різних меж	Установка / національна категорія	Рік	Контроль кліматичного результату без підміни падінням випуску
CBAM-експозиція, млн т CO_2-екв. і умовна вартісна оцінка	Експортний обсяг, товарна структура, фактичні вбудовані викиди, параметри CBAM	Продукт / контракт / ринок ЄС	Контракт / рік	Експортна адаптація та пріоритетність продуктового MRV

Продовження табл. 4.19

1	2	3	4	5
Обсяг необхідних інвестицій і вартість капіталу, млн євро та %	Проєктний CAPEX, структура фінансування, ковенанти, ризикові премії	Проєкт / портфель	Квартал / рік	Відбір і моніторинг модернізаційних проєктів
Охоплення галузі MRV, % випуску	Випуск установок із затвердженим планом, поданим і верифікованим звітом	Установка → галузь	Рік	Оцінка доказової готовності
Зайнятість і потреба у перекваліфікації, осіб	Штат, професійна структура, технологічний план, програми навчання	Підприємство / громада / галузь	Півріччя / рік	Справедливий перехід і кадрове планування
Соціально-регіональна стійкість металургійних територій	Зайнятість, місцеві доходи, екологічні скарги, стан інфраструктури, виконання угод	Громада / регіон	Рік	Запобігання перенесенню витрат декарбонізації на громади

Джерело: розроблено автором за результатами підрозділів 2.3, 3.1–3.3, 4.1–4.2.

Таблиця 4.19 забезпечує простежуваність між моделлю управління і доказами її функціонування. Вона також запобігає створенню умовного інтегрального індексу, який приховував би різну якість даних. Рішення приймається за профілем взаємопов’язаних показників: зниження CIt повинно підтверджуватися зміною технологічного маршруту, викидів, продуктової простежуваності й інвестиційних заходів; покращення експортного профілю не повинно супроводжуватися некерованим скороченням зайнятості або зростанням регіонального ризику.

Статус даних є обов’язковою частиною кожного показника. Позначення F використовується для фактичних первинних даних; O — для офіційних агрегованих даних; E — для розрахункової оцінки, побудованої на відтворюваному алгоритмі; S — для сценарного припущення. Статус не є оцінкою «добре/погано»: офіційні агреговані дані можуть бути непридатними для

продуктового паспорта, тоді як фактичні корпоративні дані можуть бути недостатньо верифікованими для зовнішнього використання. Тому поряд зі статусом необхідно зазначати рівень перевірки і межу допустимого застосування.

Таблиця 4.20

Матриця статусів і допустимого використання даних у галузевій доказовій інфраструктурі

Статус	Зміст	Мінімальна контрольна процедура	Допустиме використання	Обмеження
F — фактичні	Первинні вимірювання, облік матеріалів, виробничі й кадрові записи	Автоматичні контроли, калібрування, матеріальний баланс, затвердження відповідальним	MRV, продуктовий облік, внутрішнє управління після належної перевірки	Не публікуються без перевірки конфіденційності та меж
O — офіційні	Державна статистика, національна інвентаризація, офіційні реєстри й нормативні параметри	Контроль джерела, редакції документа, періоду й методології	Галузевий аналіз, нормативні порівняння, макрорівень	Не переносяться на продукт або установку без методичного переходу
E — розрахункові оцінки	Показники, отримані шляхом агрегації, розподілу або перерахунку	Відкритий алгоритм, вхідні дані, тест чутливості, рецензування	Аналітика, попередній бенчмаркінг, оцінка прогалин	Не подаються як виміряні або верифіковані
S — сценарні	Майбутні частки маршрутів, ціни, строки, технологічні й фінансові припущення	Документовані передумови, контрольні точки, регулярне оновлення	Сценарне планування і стрес-тестування	Не включаються до фактичної MRV/CBAM/ESG-звітності як досягнуті результати

Джерело: розроблено автором відповідно до авторської методики 2.3.

Запропонована матриця якості даних включає повноту, точність, зіставність, своєчасність, простежуваність і захищеність. Відсутність хоча б одного критерію не завжди робить показник непридатним, але повинна визначати обмеження рішення. Наприклад, оперативні дані за місяць можуть використовуватися для

внутрішнього контролю, проте не повинні автоматично набувати статусу верифікованого річного звіту.

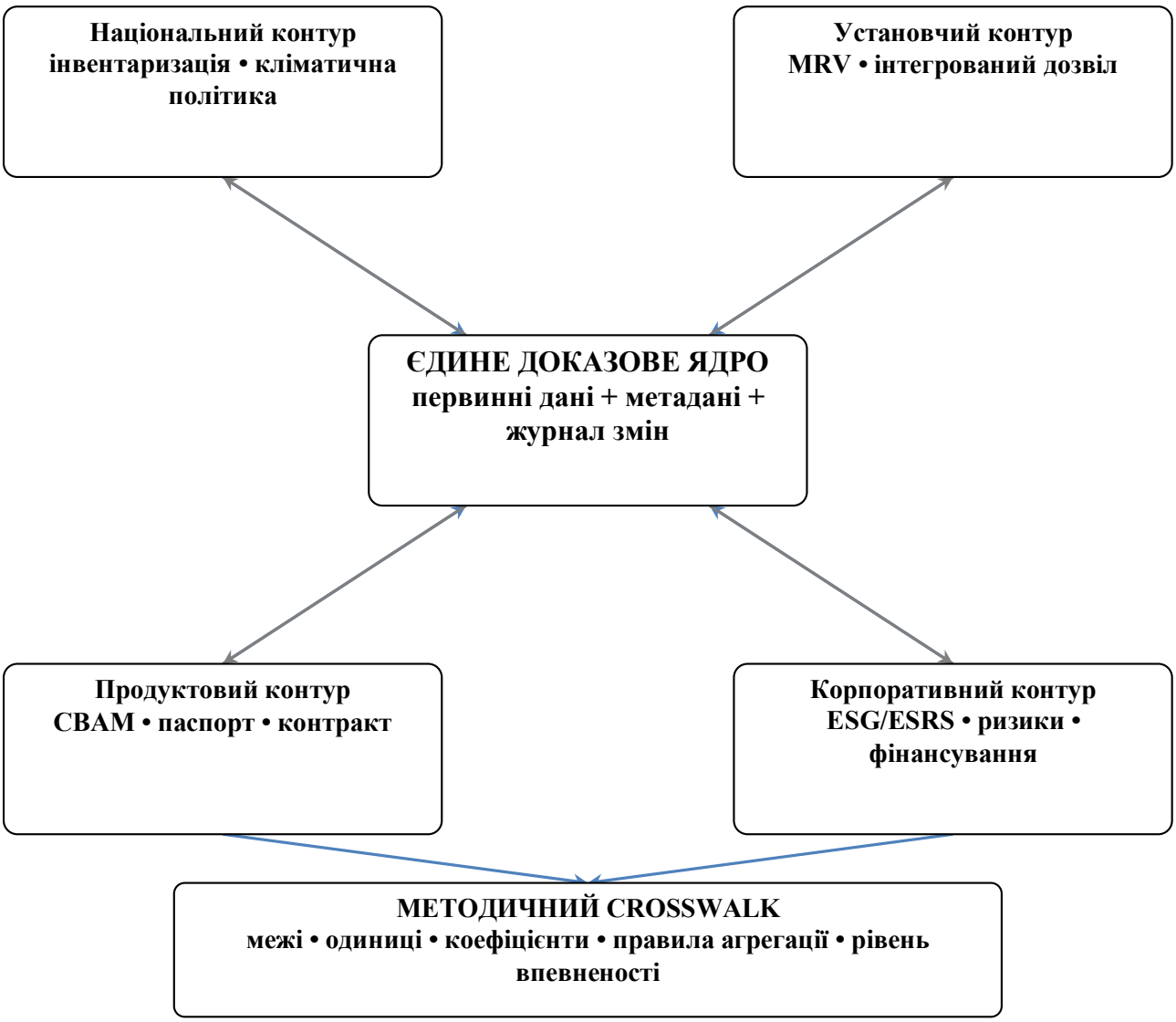


Рис. 4.8. Узгодження національного, установчого, продуктового та корпоративного контурів обліку

Джерело: розроблено автором на основі [105; 110; 114; 116; 126; 194; 200–201; 226–227; 242; 281–283; 299; 327; 352; 373; 378].

Crosswalk на рис. 4.8 виконує функцію таблиці відповідності між системами, але не стирає їхніх відмінностей. Для кожного показника визначаються базова одиниця, межа, метод розподілу, дозволені коефіцієнти, правила консолідації та рівень впевненості. Наприклад, викиди коксового виробництва можуть входити до установчого MRV, національної категорії та

продуктового вуглецевого сліду, однак їх розподіл на конкретні види прокату потребує окремого правила і простежуваного матеріального балансу.

ESG-прозорість повинна будуватися на суттєвості, а не на максимальному накопиченні показників. Для металургійної галузі кліматичний блок є очевидно значущим, але він взаємодіє з енергією, забрудненням, водою, циркулярністю, працівниками, громадами та діловою поведінкою. EFRAG IG 1 рекомендує структурований процес оцінки суттєвості, IG 2 деталізує врахування ланцюга створення вартості, а IG 3 надає перелік datapoints для технічної реалізації. Ці документи мають допоміжний характер і не повинні підміняти вимоги прийнятих ESRS [194; 226–227].

Для української металургії доцільно застосувати поетапну архітектуру розкриття. Першим пріоритетом є достовірне MRV-ядро і продуктові дані, необхідні для доступу до ринку. Другий пріоритет — кліматичні ризики, перехідний план, CAPEX і контроль досягнення цілей. Третій — розширення до ресурсних, соціальних і управлінських показників на основі подвійної суттєвості. Така послідовність не зменшує вимог до прозорості, а концентрує обмежені ресурси на даних, що є критичними для зовнішньої відповідності та внутрішнього управління.

Цифровий кліматично-ресурсний паспорт продукції запропоновано як структурований набір даних, який супроводжує продукцію або однорідну контрактну партію. Він повинен мати унікальний ідентифікатор, зв’язок із технологічним маршрутом, періодом виробництва, установкою, партією сировини, джерелом електроенергії, методом розрахунку, верифікаційним висновком і версією даних. Паспорт не має розкривати покупцю всю внутрішню виробничу інформацію; він передає лише погоджений набір доказів і посилання на захищене джерело перевірки.

Таблиця 4.21

Структура цифрового кліматично-ресурсного паспорта металопродукції

Блок паспорта	Склад даних	Оновлення	Управлінське використання
Ідентифікаційний	Код товару, вид продукції, партія, виробник, установка, період виробництва	Для кожної партії / контрактної групи	Простежуваність до виробничого джерела
Технологічний	Маршрут BF–BOF, EAF, DRI–EAF або інший; частка вторинної сировини; ключові переділи	За зміни маршруту або рецептури	Пояснення відмінності CIt між продуктами
Кліматичний	Прямі й непрямі викиди, CIt продукту, межа обліку, гази, GWP, метод розподілу	Партія / місяць / контракт	CBAM, кліматичні вимоги покупця, бенчмаркінг
Енергетичний	Споживання електроенергії та палива, location-based і market-based параметри за наявності, підтвердження атрибутів	Місяць / квартал	Контроль електрифікації та походження енергії
Ресурсний	Брухт, DRI, руда, вода, відходи, побічні продукти, повторне використання	Партія / квартал	Циркулярність, ресурсна ефективність, вимоги клієнта
Верифікаційний	Методика, статус F/O/E/S, верифікатор, рівень впевненості, дата, застереження	Після верифікації або зміни даних	Довіра, аудит і запобігання подвійним версіям
Управлінський	Порівняння з релевантною межею, цільовий захід, відповідальний, дата наступного перегляду	Щоквартально / рік	Зв’язок продуктового профілю з програмою модернізації

Джерело: розроблено автором з урахуванням [200–201; 242; 282; 327; 352; 373; 378].

Паспорт повинен підтримувати версійність. Якщо верифікація або коригування первинного потоку змінює CIt партії, попередня версія не видаляється, а позначається як замінена із зазначенням причини. Це необхідно

для контрактних спорів, ретроспективної перевірки та підтвердження того, що покупець отримав саме ту версію даних, яка діяла на дату операції.

Власність і доступ до даних потребують окремого управління. Підприємство залишається власником первинних комерційних даних, але бере на себе обов'язок надавати регулятору, верифікатору або контрагенту визначений законом чи договором набір інформації. Адміністратор галузевої платформи не повинен отримувати необмежене право на використання корпоративних даних; його повноваження охоплюють технічне зберігання, контроль формату, агрегування та формування дозволених аналітичних зрізів. Публічний рівень має містити агреговані показники, які не дають змоги відтворити комерційно чутливі параметри окремого оператора.

У моделі запропоновано розмежувати чотири режими доступу: відкритий, обмежений галузевий, регуляторний і конфіденційний. Відкритий режим використовується для агрегованої CIt, частки MRV-охоплення та виконання галузевих цілей. Обмежений галузевий режим забезпечує анонімізований бенчмаркінг між технологічно зіставними сегментами. Регуляторний режим надає уповноваженим органам і верифікаторам доступ до необхідної деталізації. Конфіденційний режим охоплює комерційні рецептури, контракти, ціни та внутрішні технологічні параметри.

Верифікація є не одноразовою перевіркою фінальної цифри, а ризик-орієнтованим дослідженням системи даних. Верифікатор повинен оцінювати межі установки, потоки, методи вимірювання, інформаційне середовище, внутрішні контрольні процедури, суттєві викривлення і виконання плану моніторингу. Для продуктового профілю додатково перевіряються правила розподілу, масовий баланс і зв'язок із конкретною партією. Висновок має містити не тільки результат, а й застереження, рівень впевненості та невиправлені відхилення [105; 114; 116; 200].

Таблиця 4.22

Розподіл функцій, відповідальності та доступу до даних у MRV–ESG-контурі

Учасник	Функція	Режим доступу	Ключовий ризик
Уповноважений державний орган	Визначення правил, адміністрування MRV, контроль виконання, агрегований аналіз	Регуляторний доступ до документів і даних у межах повноважень	Використання даних поза визначеною метою; розголошення комерційної таємниці
Оператор металургійної установки	Первинний облік, план моніторингу, контроль якості, звітність, виправлення помилок	Повний доступ до власних даних і журналу змін	Неповнота, несвоєчасність, невідповідність меж і джерел
Незалежний верифікатор	Стратегічний аналіз, оцінка ризиків, перевірка системи та звіту, висновок	Доступ до доказів, персоналу, об’єктів і процедур за договором та законом	Конфлікт інтересів, недостатня компетентність або обсяг перевірки
Адміністратор галузевої платформи	Форматний контроль, ідентифікатори, версійність, агрегування, технічна сумісність	Технічний доступ згідно з ролями	Несанкціоноване використання, зміна змісту без власника даних
Галузеве об’єднання	Методична координація, анонімізований бенчмаркінг, навчання	Обмежений галузевий доступ	Розкриття позицій окремих компаній або антиконкурентний обмін
Банк / міжнародна фінансова установа	Перевірка ковенант, переходного плану, CAPEX і ризиків	Доступ до погодженого проєктного набору	Використання даних для інших цілей без згоди
Імпортер / покупець	Перевірка продуктового профілю і контрактних вимог	Доступ до паспорта та верифікаційних доказів	Вимога надмірних даних, не пов’язаних із товаром
Громади, працівники, наука	Оцінка соціальних і регіональних наслідків; незалежна аналітика	Відкриті агрегати та тематичні набори	Порушення персональних даних або комерційної конфіденційності

Джерело: розроблено автором відповідно до стейкхолдерно-координованої моделі 4.2.

Внутрішній контроль повинен передувати зовнішній верифікації. До мінімального набору належать автоматичні діапазонні перевірки, порівняння з історичними значеннями, контроль матеріального та енергетичного балансу, звірка з фінансовими і складськими даними, розмежування функцій введення та

затвердження, журнал ручних коригувань і процедура управління змінами. Кожна істотна зміна технології, засобу вимірювання, джерела електроенергії або правила розподілу повинна ініціювати перегляд методики.

Таблиця 4.23

Календар функціонування MRV–ESG-контуру та контрольні результати

Етап	Періодичність	Зміст	Контрольний результат
Планування	IV квартал попереднього року	Оновлення меж, джерел, методик, суттєвості, відповідальних і графіка верифікації	Затверджений план моніторингу та карта datapoints
Первинний моніторинг	Безперервно / щомісяця	Збирання виробничих, енергетичних, екологічних, фінансових і соціальних даних	Закритий період із журналом повноти та аномалій
Внутрішня валідація	Щомісяця / щокварталу	Балансові, логічні й міжсистемні перевірки; усунення розбіжностей	Протокол контролю і затверджена версія даних
Попередня галузева агрегація	Щокварталу	Розрахунок CIt, структури маршрутів, MRV-охоплення та контрольних відхилень	Оперативна панель для моделі 4.2 із позначкою «неверифіковано»
Річна звітність і верифікація	I–II квартали наступного року	Підготовка звіту, стратегічний аналіз верифікатора, виправлення і висновок	Верифікований річний набір та перелік невирішених питань
ESG/CBAM/продуктове використання	За нормативними і контрактними строками	Формування спеціалізованих пакетів із доказового ядра	Зіставні звіти, декларації та паспорти без повторного ручного введення
Управлінський перегляд	Після річного циклу та за істотних відхилень	Порівняння з ІПм/ІПо, сценаріями, ковенантами і соціальними зобов’язаннями	Коригувальний план, зміна портфеля або умов підтримки

Джерело: розроблено автором на основі циклу управління, запропонованого у 4.2, та [105; 110; 114; 116; 126; 194; 200–201; 226–227; 242; 352].

Кібербезпека є частиною достовірності. Втрата цілісності даних, несанкціонована зміна коефіцієнтів або недоступність реєстру у період звітування можуть мати такий самий управлінський наслідок, як помилка вимірювання. Тому платформа повинна забезпечувати рольовий доступ, багатофакторну автентифікацію, резервне копіювання, криптографічний контроль цілісності, журналювання дій, відновлення після інциденту та регулярне тестування вразливостей.

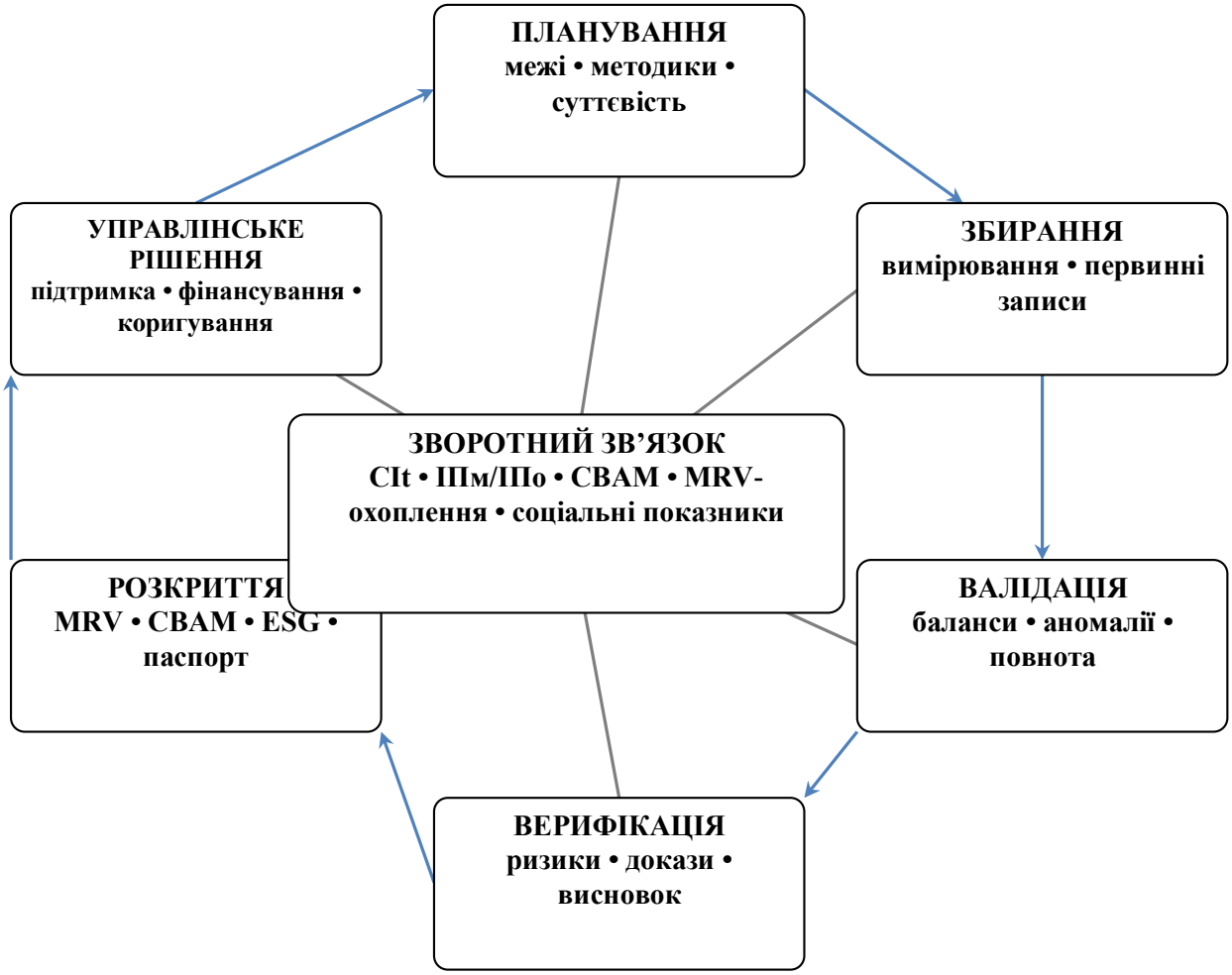


Рис. 4.9. Замкнений інформаційно-контрольний цикл MRV та ESG-прозорості металургійної галузі

Джерело: розроблено автором відповідно до стейкхолдерно-координованої моделі 4.2.

Окремим ризиком є greenwashing: вибіркове розкриття позитивних показників, зміна межі базового року, використання невідповідних компенсацій або подання сценарного результату як фактичного. Запобігання цьому ризику

потребує стабільної базової лінії, пояснення перерахунків, розмежування валових скорочень і компенсацій, публікації невиконаних цілей та зв’язку кожної заяви з верифікованим набором даних.

Цикл на рис. 4.9 відрізняється від традиційної послідовності «зібрали — опублікували». Верифіковані дані повертаються до системи прийняття рішень. Якщо CIt не відповідає проміжній контрольній точці, модель повинна встановити причину: фізичне погіршення технології, зміна структури випуску, вуглецеємніша електроенергія, невиконання інвестиційного заходу, зміна меж або помилка даних. Лише після такої декомпозиції допускається зміна технологічного портфеля, умов фінансування чи державної підтримки.

Система показників результативності інформаційного контуру не повинна вимірюватися кількістю опублікованих сторінок. Доцільними є частка випуску, охоплена затвердженими планами моніторингу; частка випуску з верифікованими річними даними; частка експорту до ЄС із фактичними продуктовими даними; частка продукції з паспортом; своєчасність закриття періоду; кількість істотних невідповідностей; частка автоматизованих первинних потоків; середній строк виправлення помилки; частка datapoints із визначеним власником; частка коригувальних заходів, виконаних у строк.

Якість MRV не слід оцінювати через штучний інтегральний бал без фактичної бази і ваг. У щорічному галузевому звіті показники подаються як профіль. Це дозволяє побачити ситуацію, коли високе охоплення MRV поєднується з низькою часткою продуктової простежуваності, або коли своєчасна ESG-публікація містить значну кількість оцінних даних. Управлінський висновок повинен враховувати слабку ланку, а не середнє значення.

Публічність також повинна бути диференційованою. Галузевий звіт має розкривати методику, межі, агреговані CIt, відхилення від ІПм та ІПо, структуру маршрутів, абсолютні викиди, MRV-охоплення, виконання дорожньої карти, інвестиційний портфель у дозволеному обсязі, зайнятість і соціально-регіональні заходи.

Таблиця 4.24

Ризики функціонування MRV–ESG-системи та інструменти їх мінімізації

Ризик	Наслідок	Контрольний інструмент	Відповідальний
Несумісність меж обліку	Різні значення викидів у MRV, CBAM, ESG і галузевому профілі	Crosswalk меж; обов'язкові метадані; заборона неконтрольованого копіювання	Власник методології / оператор
Неповнота первинних даних	Використання консервативних припущень, невизначеність, застереження верифікатора	План закриття прогалин; резервні методи; пріоритет автоматизованого вимірювання	Оператор
Помилки розподілу на продукцію	Викривлений продуктовий CIt і ризик спорів із імпортером	Матеріальний баланс, стабільні правила розподілу, тест чутливості, верифікація	Оператор / верифікатор
Подвійні версії показника	Різні цифри для держави, банку і покупця	Єдине доказове ядро, версійність, API, журнал змін	Адміністратор платформи
Greenwashing	Вибіркове розкриття або подання сценарію як факту	Чіткі статуси F/O/E/S, стабільний базовий рік, assurance, розкриття невиконаних цілей	Керівництво / верифікатор
Кіберінцидент	Втрата доступності або цілісності реєстру	Рольовий доступ, MFA, резервування, шифрування, відновлення, аудит журналів	Адміністратор / кібербезпека
Дефіцит компетенцій	Формальне виконання та помилки методики	Навчання операторів, галузевий методичний центр, кваліфікація верифікаторів	Держава / освіта / галузь
Надмірне розкриття	Втрата комерційної таємниці або персональних даних	Матриця доступу, анонімізація, мінімізація, правовий контроль мети	Власник даних / адміністратор
Відсутність управлінського використання	Звітність не змінює технологічні й фінансові рішення	Обов'язковий річний перегляд моделі 4.2 і протокол коригувальних дій	Координаційний орган

Джерело: розроблено автором на основі ризик-орієнтованої логіки MRV та результатів 4.2.

Натомість дані, що дозволяють встановити собівартість, комерційні умови, рецептуру або контрагента, залишаються у захищеному контурі. Впровадження запропонованої системи має бути поетапним. Одномоментне створення повного корпоративно-продуктового й галузевого контуру для всіх операторів є нереалістичним через різний рівень цифровізації, воєнні ризики, обмежену кількість верифікаторів і значні потреби модернізації. Перший етап повинен відновити й стандартизувати MRV-ядро, другий — забезпечити продуктову простежуваність і CBAM-готовність, третій — інтегрувати ESG, фінансові ковенанти, соціально-регіональні дані й управлінські панелі.

Дорожня карта не встановлює фіктивних відсотків без фактичної бази. Контрольні результати формулюються як організаційно перевірювані стани: наявність інвентаризації потоків, затверджених планів моніторингу, узгодженого словника даних, функціонуючої версійності, незалежної верифікації, продуктового модуля, галузевого crosswalk і процедури щорічного коригування. Кількісні цілі щодо охоплення повинні встановлюватися після базового аудиту 2026 р. і щорічно уточнюватися на фактичній основі.

У межах підходу до 2035 р. цифрова платформа не є самостійною ціллю. Її результативність визначається тим, чи забезпечує вона порівнянність CIt, відтворюваність CBAM-профілю, контроль виконання модернізаційних зобов’язань, доказовість соціального діалогу і зменшення часу на підготовку різних звітних пакетів. Якщо платформа лише накопичує документи, але не підтримує управлінський зворотний зв’язок, її впровадження не відповідає запропонованій моделі. Управлінський ефект системи полягає не у створенні нового звітного навантаження, а у зменшенні інформаційної асиметрії та підвищенні адресності рішень. Держава отримує змогу відокремити технологічне скорочення CIt від скорочення випуску, зіставити проєкт із регуляторною зоною і контролювати виконання умов підтримки. Бізнес отримує єдину базу для MRV, CBAM, ESG, покупців та інвесторів. Банки можуть прив’язати фінансування до

верифікованих KPI. Працівники й громади отримують доказовий моніторинг зайнятості, перекваліфікації, екологічних параметрів і виконання угод розвитку.

Таблиця 4.25

Дорожня карта формування галузевої системи MRV та ESG-прозорості до 2035 р.

Етап	Період	Основні дії	Контрольний стан
I. Базова доказова готовність	2026–2027	Інвентаризація джерел і потоків; відновлення планів та звітів MRV; словник даних; визначення власників; базовий аудит якості й цифровізації	Затверджене MRV-ядро, карта прогалин і фактична база для встановлення цілей охоплення
II. Продуктова і CBAM-сумісність	2027–2029	Правила розподілу викидів; прив'язка до маршрутів і партій; продуктова верифікація; пілотні кліматично-ресурсні паспорти; захищений обмін з імпортерами	Відтворюваний продуктовий профіль і зменшення залежності від консервативних значень
III. Галузева інтеграція	2028–2030	Єдине доказове ядро; crosswalk національного, установчого, продуктового й корпоративного обліку; анонімізований бенчмаркінг; панель CIt–IПм–IПо	Регулярний галузевий моніторинг і доказовий відбір модернізаційних проєктів
IV. ESG і фінансове використання	2029–2032	Подвійна суттєвість; перехідні плани; CAPEX і ковенанти; соціально-регіональні datapoints; assurance; зв'язок із фінансуванням і закупівлями	Зіставне розкриття для інвесторів, держави, працівників і громад
V. Зрілий адаптивний контур	2032–2035	Автоматизовані потоки; повна версійність; API-обмін; регулярний перегляд методик; контроль near-zero сумісності; кіберстійкість і резервування	Замкнений інформаційний цикл, який автоматично підтримує коригування моделі 4.2

Джерело: розроблено автором; кількісні цільові значення встановлюються після базового аудиту фактичного охоплення.

Водночас MRV та ESG-прозорість не замінюють технологічну модернізацію. Якісні дані можуть виявити високий CIt і регуляторний ризик, але не скорочують фізичні викиди без інвестиційного рішення. Тому інформаційний контур виконує три функції: діагностичну — встановлює стан і причину відхилення; контрактну — робить зобов'язання вимірюваними; адаптивну — забезпечує коригування технологічного, фінансового і соціального пакета.

Запропонований підхід також усуває дублювання між 4.3 і розділом 5. У цьому підрозділі визначено дані, правила, відповідальність, процедури верифікації й управлінський цикл. У 5.1 ці дані використовуватимуться для інституційного забезпечення справедливого переходу; у 5.2 — для фінансового відбору, ковенант і контролю CAPEX; у 5.3 — для партнерських угод, розподілу ризиків і звітності перед громадами та міжнародними партнерами.

Отже, прозорість, MRV та ESG-звітність формують інформаційний каркас управління низьковуглецевою трансформацією металургійної галузі. Його відмінність від фрагментарного звітування полягає в інтеграції п’яти рівнів даних, збереженні меж різних облікових контурів, використанні статусів F/O/E/S, продуктовій простежуваності, розмежуванні доступу, незалежній верифікації та обов’язковому зворотному зв’язку з моделлю 4.2. Така конструкція забезпечує перехід від декларативної прозорості до доказового галузевого управління, у якому кожне рішення може бути простежене від первинного джерела до технологічного, експортного, інвестиційного і соціально-регіонального результату.

Висновки до розділу 4

1. У розділі технологічну модернізацію обґрунтовано як керований портфельний процес зміни виробничо-технологічної, енергетичної, ресурсної та цифрової структури випуску, а не як сукупність ізольованих інвестицій в окремі агрегати.

Сформовано трансформаційну траєкторію, що передбачає відновлення виробництва до 11,0 млн т сталі у 2030 році та до 15,0 млн т у 2035 році за зниження середньогалузевої вуглецеємності відповідно до 1,3750 і 0,9525 т CO_2-екв./т. Розрахунки мають сценарний характер і щороку підлягають заміні фактичними даними.

2. Запропоновано стейкхолдерно-координовану модель, у якій функції, ресурси, відповідальність і ризики розподіляються між державою, металургійним бізнесом, енергетичним сектором, фінансовими установами, громадами, працівниками, науково-освітніми організаціями, покупцями та міжнародними партнерами.

Удосконалено інформаційно-аналітичне забезпечення за принципом одноразового збирання і багаторазового контрольованого використання даних. Установчий моніторинг, продуктовий облік вбудованих викидів, звітність зі сталого розвитку, галузевий реєстр і цифровий паспорт продукції поєднано без механічного змішування різних меж обліку.

3. Сформована система створює зворотний зв’язок між технологічним портфелем, вимірюванням, фінансуванням, доступом до ринку та коригуванням галузевої політики, що є передумовою інституційного, соціального та фінансового забезпечення переходу.

РОЗДІЛ 5
ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ

5.1. Інституційне та соціально-регіональне забезпечення справедливого переходу металургійної галузі

Результати розділу 4 сформували три взаємопов’язані передумови низьковуглецевої трансформації металургійної галузі: технологічний портфель модернізації, стейкхолдерно-координовану модель управління та інтегровану доказову інфраструктуру MRV і ESG-прозорості. Однак навіть узгоджене технологічне та інформаційне рішення не переходить автоматично у стійку практику, якщо відсутні інституційні правила його включення до державної регіональної політики, системи зайнятості, професійної підготовки, соціального діалогу й управління відновленням промислових територій. Саме тому наступним елементом наскрізної логіки дослідження є формування інституційного та соціально-регіонального забезпечення справедливого переходу металургійної галузі.

Потреба у такому забезпеченні зумовлена територіальною концентрацією металургійного виробництва. Зміна технологічного маршруту впливає не лише на питомі та абсолютні викиди, а й на попит на професії, структуру місцевих доходів, завантаження транспортної та енергетичної інфраструктури, стан суміжного бізнесу, професійну освіту і спроможність громад утримувати соціальні послуги. Тому об’єктом управління у цьому підрозділі є не працівник або окрема громада ізольовано, а соціально-регіональний контур відтворення металургійної галузі, у межах якого технологічна трансформація повинна бути узгоджена з зайнятістю, людським капіталом, територіальною диверсифікацією та відновленням.

Міжнародна організація праці розглядає справедливий перехід як політичну рамку, що поєднує екологічну трансформацію з гідною працею, соціальним діалогом, розвитком компетентностей і соціальним захистом. Європейський механізм справедливого переходу додатково підкреслює територіальну адресність підтримки, економічну диверсифікацію та необхідність територіальних планів. Для України ці підходи не можуть бути перенесені механічно: держава не є учасником усіх фінансових інструментів ЄС на умовах держав-членів, а воєнні втрати, міграція, руйнування інфраструктури та підвищений ризик капіталу істотно змінюють вихідні умови. Водночас принципи превентивності, територіальної адресності, участі соціальних партнерів і прив'язки підтримки до вимірюваних результатів є методологічно придатними для національної галузевої політики [256; 264; 320–322; 354; 359; 369].

У межах дослідження справедливий перехід металургійної галузі визначено як керований процес зміни технологічної, енергетичної та ресурсної структури виробництва, за якого скорочення вуглецеємності, підвищення CBAM-готовності та інвестиційна модернізація поєднуються із запобіганням некерованій втраті зайнятості, збереженням і оновленням професійних компетентностей, диверсифікацією промислових територій та участю працівників і громад у прийнятті рішень. Таке визначення відрізняє справедливий перехід від компенсаційної політики після закриття активів: соціально-регіональні наслідки мають оцінюватися до затвердження технологічного портфеля, а відповідні заходи повинні бути частиною інвестиційного і регуляторного рішення.

Науковий результат підрозділу полягає в удосконаленні інституційного забезпечення справедливого переходу металургійної галузі шляхом поєднання національної кліматичної, промислової, регіональної та трудової політики з галузевою координацією і територіальними планами переходу, що формуються на основі профілю залежності території, оцінки впливу технологічних сценаріїв на зайнятість, портфеля проєктів диверсифікації, програм перекваліфікації, соціального діалогу та системи контролю соціально-регіональної стійкості.

Запропонований підхід не вводить умовного інтегрального індексу: рішення приймається за сукупністю фактичних показників, кожен з яких має власне джерело, відповідального за дані та управлінське призначення.

Таблиця 5.1

Концептуальні характеристики інституційного та соціально-регіонального забезпечення справедливого переходу металургійної галузі

Елемент	Зміст	Управлінське призначення
Суб'єкт забезпечення	Держава як носій нормативних і координаційних повноважень; галузеві інституції, регіональні органи влади, громади, роботодавці, профспілки, служба зайнятості, заклади освіти та міжнародні партнери як учасники реалізації.	Узгодження правил, ресурсів і відповідальності без створення паралельної системи управління.
Об'єкт забезпечення	Соціально-регіональний контур відтворення металургійної галузі: зайнятість, компетентності, доходи територій, інфраструктура, суміжний бізнес і соціальна прийнятність модернізації.	Збереження спроможності промислових територій підтримувати трансформацію виробничої бази.
Мета	Поєднати досягнення технологічних і кліматичних цілей з гідною працею, територіальною стійкістю та відновленням.	Зниження CIt без некерованого соціального та регіонального згортання.
Принципи	Превентивність; адресність; участь; доказовість; субсидіарність; умовність підтримки; поетапність; недискримінація; сумісність з відновленням.	Соціальні заходи готуються одночасно з технологічним і фінансовим рішенням.
Основні функції	Діагностика залежності; раннє попередження; соціальний діалог; планування компетентностей; підтримка мобільності; диверсифікація; координація проєктів; моніторинг.	Перетворення ризиків на керовані завдання з визначеними виконавцями.
Ключовий документ	Територіальний план справедливого переходу металургійної території, узгоджений із регіональною стратегією, програмою відновлення та галузевим портфелем.	Єдина доказова основа для регуляторних, соціальних, освітніх та інвестиційних рішень.
Результат	Підтримана зайнятість, працевлаштовані після навчання працівники, диверсифікована база доходів, підготовлені проєкти, зменшення конфліктності та своєчасне коригування сценаріїв.	Соціально-регіональна стійкість як обов'язковий результат низьковуглецевої трансформації.

Джерело: розроблено автором на основі результатів підрозділів 2.3, 3.1–3.3, 4.1–4.3 та [38; 89; 104; 107–111; 117; 120–121; 124; 126; 256; 264; 320–322; 354; 359; 369].

Таблиця 5.1 фіксує, що інституційне забезпечення не повинно підміняти стейкхолдерно-координовану модель 4.2. Модель визначає, як приймається галузеве рішення і розподіляються функції між групами учасників; підрозділ 5.1 визначає, через які чинні та запропоновані інститути це рішення вбудовується у політику зайнятості, регіональне планування, професійну освіту і соціальний діалог. Відповідно, галузева координація є зв'язувальною ланкою, а територіальний план — робочим документом, що переводить загальну траєкторію у конкретний набір заходів для території.

Українська нормативна база вже містить окремі елементи необхідної архітектури. Закон про державну кліматичну політику формує загальні рамки низьковуглецевого розвитку і системи моніторингу; законодавство про державну регіональну політику визначає суб'єктів, документи стратегічного планування та механізми участі заінтересованих сторін; законодавство про зайнятість і соціальне страхування передбачає професійну підготовку, перепідготовку, профорієнтацію та сприяння працевлаштуванню; законодавство про соціальний діалог і колективні угоди створює переговорну основу узгодження трудових та соціально-економічних інтересів. Проблема полягає не у повній відсутності інститутів, а у слабкому зв'язку між ними на рівні конкретної галузевої трансформації [38; 104; 107–111; 117; 120–121; 124; 126].

Державна стратегія регіонального розвитку на 2021–2027 роки в актуалізованій редакції посилює орієнтацію на безпеку, відновлення, людський капітал і територіальну згуртованість. Оновлений порядок розроблення регіональних стратегій передбачає участь агенцій регіонального розвитку, асоціацій органів місцевого самоврядування, громадських об'єднань та інших заінтересованих сторін. Це дає правову можливість інтегрувати проблематику металургійних територій у чинний цикл регіонального стратегування, не створюючи окремий від нього адміністративний контур [38; 104; 109; 111].

Проте включення загальної згадки про промислову модернізацію до регіональної стратегії є недостатнім. Потрібно встановити простежуваний зв'язок

між технологічним сценарієм 4.1, кадровими наслідками, інфраструктурною потребою та портфелем територіальних проєктів. Саме цей зв'язок має забезпечувати запропонована архітектура, представлена на рис. 5.1.

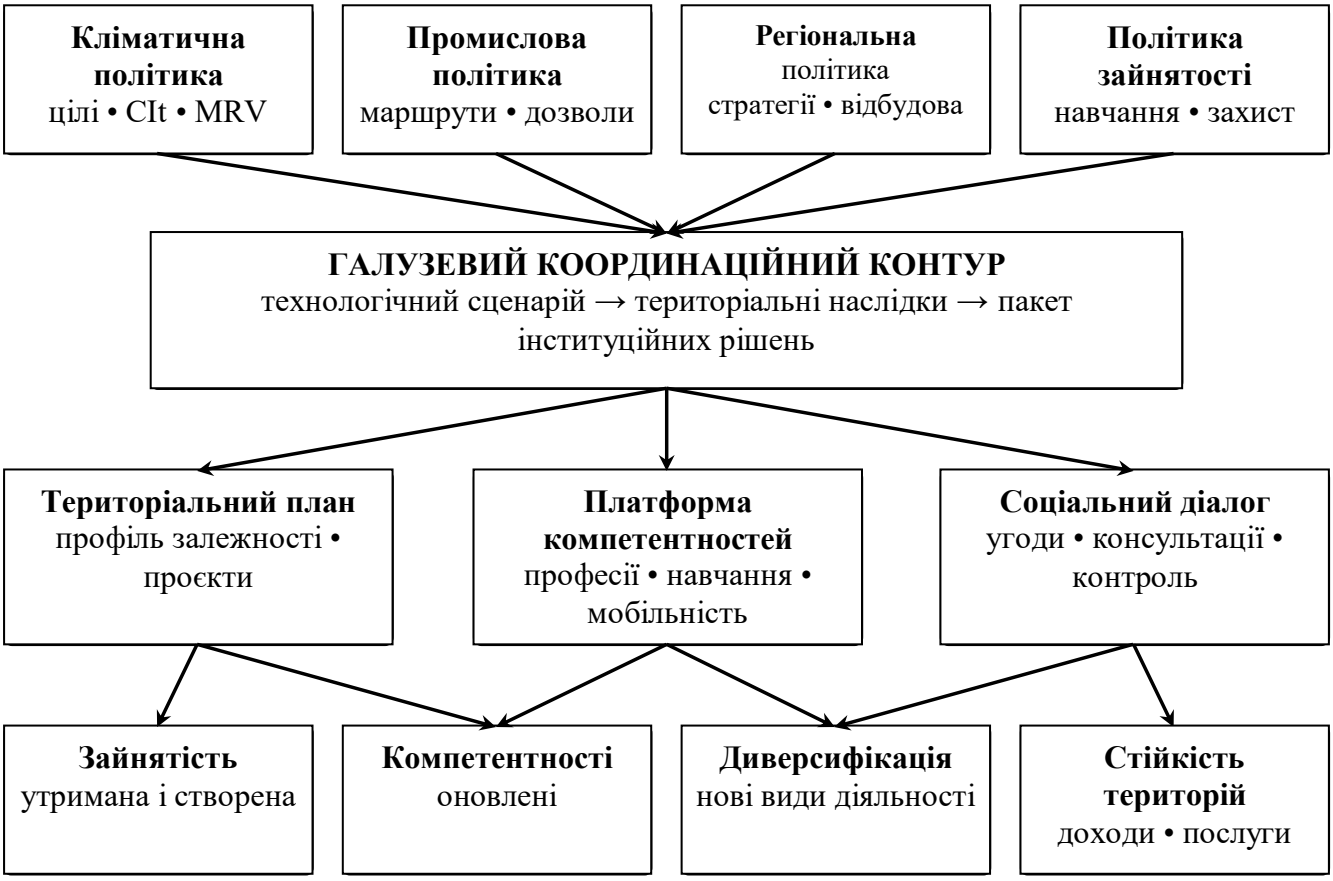


Рис. 5.1. Архітектура інституційного та соціально-регіонального забезпечення справедливого переходу металургійної галузі

Джерело: розроблено автором на основі [38; 89; 104; 107–111; 117; 120–121; 124; 126; 256; 264; 320–322; 354; 359; 369] та результатів підрозділів 4.1–4.3.

Архітектура на рис. 5.1 побудована за принципом функціональної інтеграції. Національні політики не зливаються в один документ і не втрачають власних правових процедур. Галузевий координаційний контур забезпечує їх синхронізацію навколо конкретного технологічного сценарію: які активи модернізуються, які професії змінюються, яка інфраструктура потрібна, які території несуть найбільший ризик і які заходи повинні бути профінансовані одночасно. Отже, його продуктом є не нова стратегія загального характеру, а узгоджений пакет рішень для включення до чинних документів і програм.

Особливе значення має принцип субсидіарності. Показники CIt, IПм, IПо, CBAM-експозиції та загальна технологічна структура є галузевими параметрами і мають визначатися за єдиною методикою. Водночас карта професій, інфраструктурні обмеження, залежність місцевого бюджету, спроможність закладів освіти та перелік проєктів диверсифікації формуються на територіальному рівні. Передача всіх рішень на центральний рівень зменшила б їхню адресність, а повна децентралізація створила б несумісні методики і конкуренцію за обмежені ресурси.

Інституційна сумісність із відновленням є ще одним принциповим положенням. RDNA5 підтверджує масштабність потреб України та концентрацію втрат у прифронтових і промислових регіонах. За таких умов відбудова металургійної інфраструктури не може відокремлюватися від рішень щодо енергетики, логістики, житла, освіти та базових послуг.

Таблиця 5.2

Узгодження чинних інституційних інструментів із завданнями справедливого переходу металургійної галузі

Інституційний інструмент	Наявна функція	Невирішений розрив	Запропонований спосіб інтеграції
1	2	3	4
Закон України «Про основні засади державної кліматичної політики»	Низьковуглецевий розвиток, цілі, моніторинг та оцінка кліматичної політики.	Не визначає спеціальної процедури соціально-регіонального супроводу трансформації вуглецеємної галузі.	Використати галузеві CIt, MRV та сценарні результати як кліматичний вхід територіального плану.
Закон України «Про засади державної регіональної політики» і Державна стратегія регіонального розвитку	Регіональні стратегії, плани заходів, участь суб'єктів регіональної політики, територіальна згуртованість.	Загальні документи не деталізують вплив зміни металургійних маршрутів на зайнятість і місцеві доходи.	Включити територіальні плани переходу як спеціалізовані аналітичні модулі регіональних стратегій і програм відновлення.

Продовження табл. 5.2

1	2	3	4
Закон України «Про зайнятість населення» та соціальне страхування на випадок безробіття	Профорієнтація, навчання, перепідготовка, індивідуальне планування працевлаштування, компенсаційні інструменти.	Заходи часто запускаються після виникнення безробіття, а не до технологічної зміни.	Запровадити раннє повідомлення про зміну професій і індивідуальні плани переходу до завершення модернізації.
Законодавство про соціальний діалог і колективні угоди	Переговори та узгодження трудових і соціально-економічних інтересів.	Колективні документи не завжди містять вимірювані зобов'язання щодо декарбонізації, навчання і мобільності.	Передбачити кліматично-соціальні додатки до галузевих і територіальних угод.
Законодавство про інтегровані дозволи і MRV	Обов'язкові дані, екологічні умови діяльності, плани моніторингу і верифікація.	Екологічний контур не формує автоматичного зв'язку з планом зайнятості та розвитком території.	Синхронізувати календар дозволу і модернізації з оцінкою професійних та регіональних наслідків.
Оновлений НПЕК до 2030 року	Узгодження енергетичної, кліматичної та економічної політики.	Галузеві соціальні наслідки потребують деталізації на рівні металургійних територій.	Використати енергетичні передумови сценаріїв як вхід для територіального інфраструктурного планування.
План України та Ukraine Facility	Реформи, відновлення, інвестиції, спроможність органів влади на різних рівнях.	Доступ до ресурсів залежить від підготовленості проєктів і доказовості результатів.	Формувати територіальний портфель проєктів із кліматичними, соціальними та інституційними результатами.
Практика ILO та ЄС щодо справедливого переходу	Соціальний діалог, гідна праця, перекваліфікація, територіальна адресність, диверсифікація.	Пряме копіювання фінансових механізмів ЄС для України некоректне.	Адаптувати принципи і планувальні інструменти до національної правової та фінансової системи.

Джерело: систематизовано та розроблено автором на основі [38; 89; 104; 107–111; 117; 120–121; 124; 126; 256; 264; 320–322; 354; 359; 369].

Критерій «відбудувати краще» для металургійних територій повинен означати не лише фізичне відновлення активу, а й його сумісність із майбутнім вуглецевим регулюванням, кадровою базою і територіальною стійкістю [89; 256; 369]. Матриця 5.2 демонструє, що запропоноване забезпечення має переважно інтеграційний характер. Воно не потребує одночасного прийняття окремого

закону про справедливий перехід металургії. На першому етапі достатньо методично узгодити наявні документи, визначити спільний набір даних, порядок раннього повідомлення про соціально-трудові наслідки та вимоги до територіального плану. Законодавчі зміни доцільні лише там, де чинні процедури не дають можливості пов’язати державну підтримку з фактичними зобов’язаннями щодо зайнятості, навчання і територіальних проєктів.

Важливо уникнути формального ототожнення металургійної території з адміністративною одиницею. Ланцюг впливу підприємства може охоплювати декілька громад: місце розташування виробництва, райони проживання працівників, логістичні вузли, постачальників, професійні заклади та території екологічного впливу. Тому межі діагностики повинні визначатися функціонально, а сам територіальний план може мати міжмуніципальний характер. Участь обласної влади та агенції регіонального розвитку в такому разі забезпечує координацію між громадами.

Початковим документом має бути паспорт соціально-регіональної залежності. Його мета — не присвоїти території один узагальнений бал, а встановити конкретні канали залежності та доступні ресурси адаптації. Дві території з однаковою часткою металургії у зайнятості можуть мати різну стійкість через структуру бюджету, наявність закладів освіти, транспортну доступність, стан житла або портфель альтернативних інвестицій. Саме тому профіль будується як набір показників із прямою інтерпретацією.

Паспорт у табл. 5.3 виконує функцію базової лінії. Він формується до затвердження значного модернізаційного проєкту і оновлюється після зміни технологічного портфеля. Дані підприємства є необхідними, але не достатніми: кадрові плани повинні зіставлятися з вакансіями, освітньою спроможністю, бюджетними даними і планами відновлення. Для захисту комерційної інформації галузева платформа може агрегувати частину показників, але органи територіального планування мають отримувати достатню деталізацію для оцінювання соціального впливу.

Таблиця 5.3

Склад паспорта соціально-регіональної залежності металургійної території

Показник	Джерело даних	Управлінське використання	Періодичність
1	2	3	4
Пряма зайнятість у металургії, осіб; частка у зайнятості території, %	Підприємства, Державна служба статистики, податкова звітність, служба зайнятості.	Масштаб безпосереднього впливу зміни технологічного маршруту.	Щоквартал у / щороку
Непряма зайнятість у ключових постачальників і сервісів, осіб	Реєстр постачальників, опитування, міжгалузеві дані, місцеві бізнес-асоціації.	Оцінка ланцюгового ризику та потреби підтримки малого і середнього бізнесу.	Щороку
Фонд оплати праці металургійного ланцюга, млн грн; середня заробітна плата, грн	Податкова звітність, підприємства, статистика праці.	Оцінка ризику втрати доходів домогосподарств і споживчого попиту.	Щоквартал у
Надходження місцевих бюджетів, пов’язані з металургійним ланцюгом, млн грн; частка у власних доходах, %	Фінансові органи громад, податкові дані.	Визначення бюджетної залежності та потреби перехідного вирівнювання.	Щороку
Працівники професій, що змінюються або вивільняються, осіб	Кадрові плани підприємств, технологічний сценарій, професійні стандарти.	Формування раннього попиту на навчання та індивідуальні плани переходу.	Після кожного оновлення портфеля
Вакансії у нових і суміжних видах діяльності, од.; співвідношення вакансій і працівників групи ризику	Служба зайнятості, роботодавці, проєктний портфель.	Перевірка реалістичності працевлаштування після навчання.	Щоквартал у
Навчальна спроможність, місць на рік; частка програм, оновлених під EAF, MRV, автоматизацію, енергоменеджмент, %	Заклади професійної, фахової передвищої та вищої освіти.	Виявлення дефіциту освітньої інфраструктури та викладацьких компетентностей.	Щороку
Міграція працездатного населення, осіб; частка молоді, що повернулася або залишила територію, %	Реєстри населення, опитування, органи місцевого самоврядування.	Оцінка кадрової бази та ризику довгострокового звуження людського капіталу.	Щороку

Продовження табл. 5.3

1	2	3	4
Доступність житла, транспорту і базових послуг для працівників, описові та кількісні показники	Громади, оператори інфраструктури, програми відновлення.	Перевірка можливості трудової мобільності та залучення нових фахівців.	Щороку
Екологічне навантаження і території накопиченої шкоди, фактичні показники викидів, водокористування, відходів	Дані дозволів, MRV, екологічного моніторингу, підприємств і громад.	Пріоритизація рекультивації та проєктів підвищення якості середовища.	Відповідно до звітних циклів
Проєкти диверсифікації, од.; підготовлений обсяг інвестицій, млн євро; очікувані робочі місця, осіб	Регіональний і галузевий реєстр проєктів, агенції регіонального розвитку.	Оцінка не декларативних намірів, а фактичної альтернативи зайнятості й доходам.	Щоквартал у
Охоплення працівників колективними угодами і консультаціями, %; кількість неврегульованих спорів, од.	Роботодавці, профспілки, органи соціального діалогу.	Оцінка легітимності рішень і раннє виявлення конфліктності.	Щоквартал у

Джерело: розроблено автором на основі [38; 89; 104; 107–111; 117; 120; 124; 126; 256; 264; 320–322; 369].

Окремого підходу потребує визначення груп ризику. Не всі працівники традиційного маршруту автоматично втрачають роботу: частина компетентностей переноситься до нової технології, частина потребує короткого підвищення кваліфікації, а частина — зміни професії. Тому кадровий аналіз має проводитися за функціями і компетентностями, а не лише за назвами штатних посад. Наприклад, досвід технічного обслуговування, промислової безпеки чи управління якістю може бути затребуваний і в EAF або DRI–EAF, тоді як операторські функції змінюються внаслідок автоматизації.

Профіль залежності повинен бути пов’язаний зі сценаріями 4.1. Для кожного сценарію визначається не точна кількість робочих місць на десятирічний горизонт, що за відсутності проєктної деталізації було б спекулятивним, а напрям і момент зміни попиту на компетентності. Кількісні оцінки уточнюються у техніко-економічному обґрунтуванні конкретних проєктів і включаються до

територіального плану зі статусом даних F, O, E або S. Такий підхід зберігає відтворюваність і не змішує фактичні кадрові дані зі сценарними припущеннями.

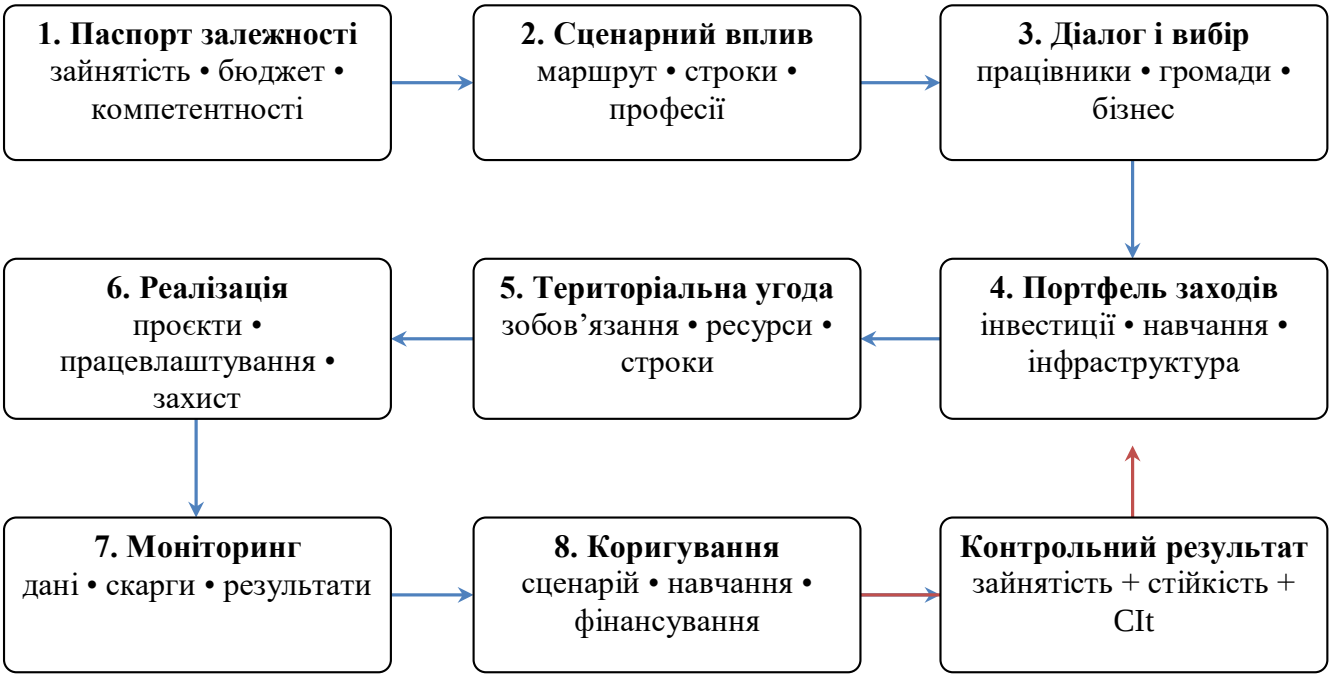


Рис. 5.2. Цикл підготовки та реалізації територіального плану справедливого переходу металургійної території

Джерело: розроблено автором на основі [38; 89; 104; 107–111; 117; 120; 124; 126; 256; 264; 320–322; 354; 359; 369].

Рисунок 5.2 показує, що територіальний план є циклом, а не одноразовим переліком проєктів. Його підготовка починається з даних і сценарної оцінки, а не з розподілу доступного фінансування. Діалог проводиться після того, як учасники отримали зрозумілу інформацію про строки, ризики та альтернативи. Це знижує ймовірність формальних консультацій, у яких сторони обговорюють уже прийняте рішення без можливості вплинути на його соціальні умови.

Територіальна угода у запропонованому циклі не замінює колективний договір, інвестиційний контракт або програму соціально-економічного розвитку. Вона виконує функцію спільної рамки, що фіксує взаємозалежні зобов'язання: підприємство повідомляє календар технологічних змін і фінансує передбачену частину навчання; держава та громада забезпечують доступ до програм зайнятості, інфраструктури і підготовки проєктів; заклади освіти оновлюють

програми; працівники та профспілки беруть участь у верифікації соціальних результатів; фінансові партнери пов’язують підтримку з виконанням погоджених умов.

Застосування такого циклу дозволяє розмежувати три типи заходів. Перший — заходи утримання зайнятості через модернізацію і підвищення продуктивності. Другий — заходи переходу працівників між професіями, підприємствами або секторами. Третій — територіальна диверсифікація, що зменшує довгострокову залежність місцевої економіки від одного виробничого ядра. Відсутність будь-якого з цих компонентів робить план однобічним: збереження кожного робочого місця незалежно від життєздатності активу консервує вразливість, а диверсифікація без підтримки чинного промислового ядра може прискорити деіндустріалізацію.

Таблиця 5.4 реалізує превентивний принцип. Вона не передбачає, що кожен ризик обов’язково матеріалізується, але зобов’язує визначити момент, коли він стає керованим. Наприклад, навчання після офіційного повідомлення про масове вивільнення є запізнілим, якщо підприємство знало про зміну технології за декілька років. Раннім сигналом має бути включення відповідного проєкту до затвердженого інвестиційного портфеля або до умов державної підтримки.

Професійна підготовка повинна будуватися за принципом «навчання під підтверджений попит». Загальні курси цифрової грамотності чи підприємництва можуть бути корисними, але не замінюють програм, прив’язаних до конкретних вакансій і технологічних функцій. До замовлення на навчання доцільно включати очікувану кількість робочих місць, перелік компетентностей, вимоги до безпеки, строк введення потужності та умови працевлаштування. Показником результату є не кількість виданих сертифікатів, а працевлаштування або кар’єрний перехід після завершення програми.

Таблиця 5.4

Соціально-трудові ризики низьковуглецевої модернізації та превентивні інструменти реагування

Ризик	Ранній сигнал	Превентивний інструмент	Основні відповідальні
1	2	3	4
Скорочення потреби у частині операційних професій через зміну маршруту або автоматизацію	Затвердження технічного рішення; зміна штатної моделі; скорочення трудомісткості переділу.	Карта переносимих компетентностей; підвищення кваліфікації до запуску обладнання; внутрішній добір на нові функції.	Підприємство, профспілка, служба зайнятості, заклад освіти.
Вимушена зупинка або відкладення модернізації	Погіршення завантаження; дефіцит енергії; втрата контрактів; відсутність фінансування.	План безперервності зайнятості; тимчасове навчання; громадські та відновлювальні роботи; прискорений пошук альтернативних інвесторів.	Підприємство, місцева влада, регіональна влада, служба зайнятості.
Дефіцит компетентностей для EAF, DRI, MRV, автоматизації й енергоменеджменту	Вакансії не закриваються; залежність від зовнішніх підрядників; затримка введення обладнання.	Спільне замовлення на підготовку; дуальна освіта; короткі модульні програми; залучення викладачів і тренерів виробника технології.	Роботодавці, МОН/заклади освіти, служба зайнятості, технологічні партнери.
Зниження доходів працівників у період навчання або переходу	Тривала перерва у роботі; переведення на нижче оплачувану позицію; потреба у переїзді.	Стипендія або компенсація доходу; співфінансування навчання; транспортна і житлова підтримка; перехідні доплати.	Роботодавець, держава, громада, фінансові партнери.
Нерівний доступ до нових можливостей для молоді, жінок, ветеранів, переміщених осіб і працівників старшого віку	Низьке представництво у навчальних програмах; відсів; бар’єри догляду, здоров’я або мобільності.	Цільові траєкторії навчання; адаптовані робочі місця; доглядова і транспортна підтримка; недискримінаційний відбір.	Служба зайнятості, роботодавці, громади, заклади освіти.

Продовження табл. 5.4

1	2	3	4
Ризики охорони праці при введенні нових технологій	Нові небезпечні фактори; недостатні інструкції; зростання інцидентів під час пусконалагодження.	Оновлення оцінки ризиків; навчання до допуску; участь працівників у тестуванні процедур; контроль підрядників.	Роботодавець, служба охорони праці, представники працівників.
Ланцюговий вплив на підрядників, транспорт і локальний сервіс	Скорочення замовлень; затримки платежів; банкрутство малого бізнесу.	Карта постачальників; програми перепрофілювання; доступ МСП до закупівель модернізації; консультаційна підтримка.	Підприємство, громада, агенція регіонального розвитку, бізнес-об'єднання.
Соціальний конфлікт через непрозорість рішення	Поширення суперечливої інформації; протести; трудові спори; оскарження дозволів.	Раннє розкриття сценаріїв; регулярні консультації; механізм скарг; незалежна фасилітація; публічний звіт про виконання угоди.	Галузевий координатор, підприємство, громада, профспілки.

Джерело: розроблено автором на основі [107–108; 117; 120; 124; 264; 320–322].

Для працівників, професії яких не мають прямої наступності у новому маршруті, потрібен ширший вибір: перехід до суміжних промислових секторів, енергетики, ремонту інфраструктури, логістики, перероблення брухту, екологічного відновлення або нового малого бізнесу. Вибір не повинен зводитися до примусового самозайняття. Підприємницькі програми є одним із каналів, але мають супроводжуватися аналізом ринку, доступом до закупівель і фінансуванням, інакше вони переносять ризик із підприємства та держави на працівника.

Соціальний захист у перехідний період має бути диференційованим. Компенсація доходу потрібна насамперед там, де працівник проходить погоджене навчання, очікує введення нової потужності або змушений змінити місце роботи. Постійна компенсація без траєкторії повернення до зайнятості може закріпити залежність і не відновлює людський капітал. Тому грошова підтримка повинна поєднуватися з індивідуальним планом переходу, доступом до вакансій і супроводом працевлаштування.

Таблиця 5.5

Структура територіального плану справедливого переходу металургійної території

Розділ плану	Обов’язковий зміст	Доказова основа	Контрольний результат
1. Межі та базова лінія	Функціональна територія впливу; паспорт залежності; фактичні соціальні, економічні, інфраструктурні й екологічні показники.	Офіційні та корпоративні дані зі статусом і датою оновлення.	Погоджена вихідна база без подвійного обліку.
2. Технологічний сценарій і календар	Проєкти 4.1, строки, маршрут, очікувана зміна CIt, потреба у ресурсах та інфраструктурі.	Затверджений або підготовлений інвестиційний портфель.	Єдиний календар технологічних і соціальних дій.
3. Оцінка впливу на працю	Професії, що зберігаються, змінюються або вивільняються; переносимі компетентності; нові вакансії.	Кадрові плани, професійні стандарти, консультації з працівниками.	Кількісно і якісно визначений попит на перехід.
4. План компетентностей	Програми навчання, виконавці, місця, строки, фінансування, умови допуску і працевлаштування.	Угоди роботодавців із закладами освіти та службою зайнятості.	Навчання починається до зміни штатної моделі.
5. Портфель диверсифікації	Проєкти МСП, суміжних виробництв, циркулярних потоків, енергетики, логістики, відновлення довкілля.	Проєктні концепції, бізнес-плани, земельні передумови.	Альтернативні робочі місця і доходи мають конкретних інвесторів.
6. Інфраструктура і якість життя	Електроенергія, транспорт, житло, професійна освіта, медицина, цифрова та соціальна інфраструктура.	Плани відновлення і розвитку території.	Можливість утримувати та залучати людський капітал.
7. Соціальний діалог і справедливі умови	Склад учасників, консультації, механізм скарг, кліматично-соціальна угода, умови підтримки.	Протоколи, колективні угоди, публічні звіти.	Легітимність і взаємна відповідальність сторін.
8. Фінансова структура	Державні, місцеві, корпоративні та міжнародні ресурси; відповідність заходів	Фінансові плани і портфель 5.2.	Відсутність заходів без визначеного джерела або відповідального.
9. Моніторинг і коригування	Показники зайнятості, навчання, бюджету, проєктів, діалогу, CIt і MRV; періодичний перегляд.	Інтегрована доказова інфраструктура 4.3.	Своєчасне коригування відхилень і сценарних припущень.
10. План реагування на несприятливий сценарій	Дії у разі руйнування, дефіциту енергії, затримки фінансування, скорочення попиту або закриття активу.	Порогові події та заздалегідь погоджені рішення.	Зменшення часу реагування і соціальних втрат.

Джерело: розроблено автором з урахуванням [38; 104; 109; 111; 256; 264; 320–322; 354; 359; 369].

Структура табл. 5.5 забезпечує відповідність плану двом вимогам: територіальній адресності й галузевій сумісності. Територія самостійно визначає проєкти та інфраструктурні пріоритети, але використовує єдині галузеві сценарії, показники CIt і правила статусу даних. Це дає можливість зіставляти потреби різних територій і спрямовувати державну або міжнародну підтримку за прозорими критеріями, а не за принципом першого подання заявки.

Необхідною умовою є участь громад у формуванні портфеля, але участь не означає право блокувати будь-яку технологічну зміну без аналізу альтернатив. Процедура повинна забезпечити доступ до інформації, можливість пропонувати умови і проєкти, аргументовану відповідь на пропозиції та механізм оскарження порушення процедури. Остаточне рішення має враховувати національні інтереси, економічну життєздатність і кліматичні зобов'язання, водночас демонструючи, як мінімізуються непропорційні наслідки для конкретних груп.

Територіальний план не повинен перетворюватися на невизначений список бажаних заходів. Для кожного заходу зазначаються відповідальний, строк, джерело фінансування, вихідний показник і контрольний результат. Якщо фінансування ще не підтверджене, захід включається до резервного портфеля з описом умов його запуску. Це дозволяє відрізнити готові до реалізації рішення від концепцій, які потребують додаткової підготовки.

Формування плану доцільно координувати регіональній владі або агенції регіонального розвитку за участю громади, підприємств і галузевого координатора. Такий розподіл відповідає функціональній природі території впливу: громада володіє локальними даними і повноваженнями щодо розвитку, регіональний рівень узгоджує міжмуніципальні інтереси, а галузевий рівень забезпечує зв'язок із технологічною траєкторією і загальнонаціональним портфелем.

Кількісне обґрунтування у цьому підрозділі має стосуватися не загального економічного ефекту декарбонізації, який узагальнюється у підрозділі 5.3, а потреби у фінансуванні конкретних соціально-регіональних заходів. До таких

заходів належать професійна діагностика, перепідготовка і підвищення кваліфікації, тимчасова підтримка доходу, сприяння працевлаштуванню, професійна та територіальна мобільність, підготовка проєктів диверсифікації й адміністрування територіального плану. Розрахунок виконується окремо для кожної території після підтвердження кількості працівників групи ризику і календаря зміни технологічного маршруту.

Постанова Кабінету Міністрів України від 20 березня 2013 р. № 207 встановлює, що вартість ваучера на навчання не може перевищувати десятикратного прожиткового мінімуму для працездатних осіб [115]. За інформацією Державної служби зайнятості, станом на 1 січня 2026 р. максимальна вартість ваучера становить 33 280 грн [33]. Порядок надання роботодавцям компенсацій за працевлаштування зареєстрованих безробітних визначається постановою Кабінету Міністрів України № 124 [117]. З урахуванням цих нормативних інструментів автором запропоновано визначати потребу у фінансуванні соціально-регіонального супроводу за формулою:

$$F_{SR,r,t} = N_{tr,r,t} \times C_{tr,t} + N_{inc,r,t} \times C_{inc,t} + N_{mob,r,t} \times C_{mob,t} + C_{div,r,t} + C_{adm,r,t}. \quad (5.1)$$

де FSR,r,t — загальна потреба у фінансуванні соціально-регіонального супроводу на території r у році t; Ntr,r,t — кількість працівників, які проходять перепідготовку або підвищення кваліфікації; Ctr,t — фактична вартість навчання одного працівника в межах нормативного або проєктного фінансування; Ninc,r,t і Cinc,t — кількість отримувачів та середня вартість тимчасової підтримки доходу або компенсації працевлаштування; Nmob,r,t і Cmob,t — кількість учасників та середня вартість заходів професійної чи територіальної мобільності; Cdiv,r,t — вартість підтвердженого портфеля проєктів диверсифікації; Cadm,r,t — витрати на підготовку даних, соціальний діалог, управління і моніторинг територіального плану.

Таблиця 5.6

Модульний розрахунок мінімальної потреби у фінансуванні професійної адаптації працівників металургійних територій у цінах 2026 р.

Показник	Модуль 500 осіб	Модуль 1 000 осіб	Модуль 2 000 осіб	Порядок визначення і статус даних
Працівники, охоплені навчанням, осіб	500	1 000	2 000	Визначаються кадровим планом проєкту; F/S до затвердження проєкту, F після укладення договорів.
Максимальна вартість одного ваучера у 2026 р., грн	33 280	33 280	33 280	Офіційний норматив Державної служби зайнятості; O [33; 115].
Максимальна вартість ваучерної компоненти, млн грн	16,640	33,280	66,560	Кількість працівників × 33 280 грн. Це мінімально перевірюваний державний інструмент, а не повна вартість програми.
Доплата понад максимальну вартість ваучера, млн грн	За кошторисом	За кошторисом	За кошторисом	Різниця між фактичною вартістю програми та ваучером; F/E після вибору закладу і програми.
Компенсації за працевлаштування та підтримка доходу, млн грн	За реєстром учасників	За реєстром учасників	За реєстром учасників	Розраховуються за категоріями одержувачів і чинними порядками; O/F [117].
Професійна та територіальна мобільність, млн грн	За територіальним планом	За територіальним планом	За територіальним планом	Проїзд, тимчасове проживання, сертифікація, релокаційна підтримка; F/E за підтвердженими заходами.
Проєкти диверсифікації та локальної інфраструктури, млн грн	За портфелем проєктів	За портфелем проєктів	За портфелем проєктів	Не розподіляються пропорційно кількості працівників; визначаються техніко-економічними обґрунтуваннями.
Мінімальна підтверджена потреба без доплат, компенсацій, мобільності й диверсифікації, млн грн	16,640	33,280	66,560	Нижня межа, що охоплює лише максимальну ваучерну компоненту.

Джерело: розраховано автором на основі постанов Кабінету Міністрів України № 207 і № 124 та інформації Державної служби зайнятості [33; 115; 117].

Формула (5.1) не передбачає використання довільних коефіцієнтів. Кількість учасників визначається за паспортом соціально-регіональної залежності та кадровим планом модернізаційного проєкту; фактична вартість — за договорами навчання, чинними нормативами компенсацій і кошторисами проєктів. Для попереднього планування доцільно використовувати модульний розрахунок, наведений у табл. 5.6.

Таблиця 5.6 не є прогнозом кількості вивільнених працівників. Вона встановлює масштабовану розрахункову одиницю: після підтвердження чисельності цільової групи модуль перераховується пропорційно лише для ваучерної компоненти, тоді як компенсації, мобільність, диверсифікація та адміністративні витрати визначаються окремими реєстрами й кошторисами. Наприклад, за охоплення навчанням 1 000 працівників нижня межа ваучерного фінансування становить 33,280 млн грн, але повна потреба територіального плану буде більшою на підтверджені витрати інших компонентів формули (5.1).

Потенційні втрати місцевого бюджету не включаються до вартості програми як автоматична компенсація. Вони розраховуються окремо за фактичними надходженнями податку на доходи фізичних осіб та інших платежів від працівників і підприємств групи ризику за останні дванадцять місяців. Такий підхід виключає використання довільної середньої ставки й дозволяє відокремити тимчасовий касовий розрив від довгострокової структурної втрати податкової бази.

Замкнений механізм на рис. 5.3 відрізняється від загального управлінського циклу 4.2 об’єктом зворотного зв’язку. У 4.2 коригується галузевий портфель за показниками CIt, CBAM, інвестицій і MRV; у 5.1 додатково коригуються соціально-регіональні умови: календар навчання, масштаб підтримки доходу, склад диверсифікаційних проєктів, транспортні рішення, механізми участі та територіальний розподіл ресурсів. Обидва цикли використовують спільне інформаційне ядро 4.3, тому соціальні показники не повинні вестися у відокремлених звітах, які неможливо пов’язати з технологічним рішенням.

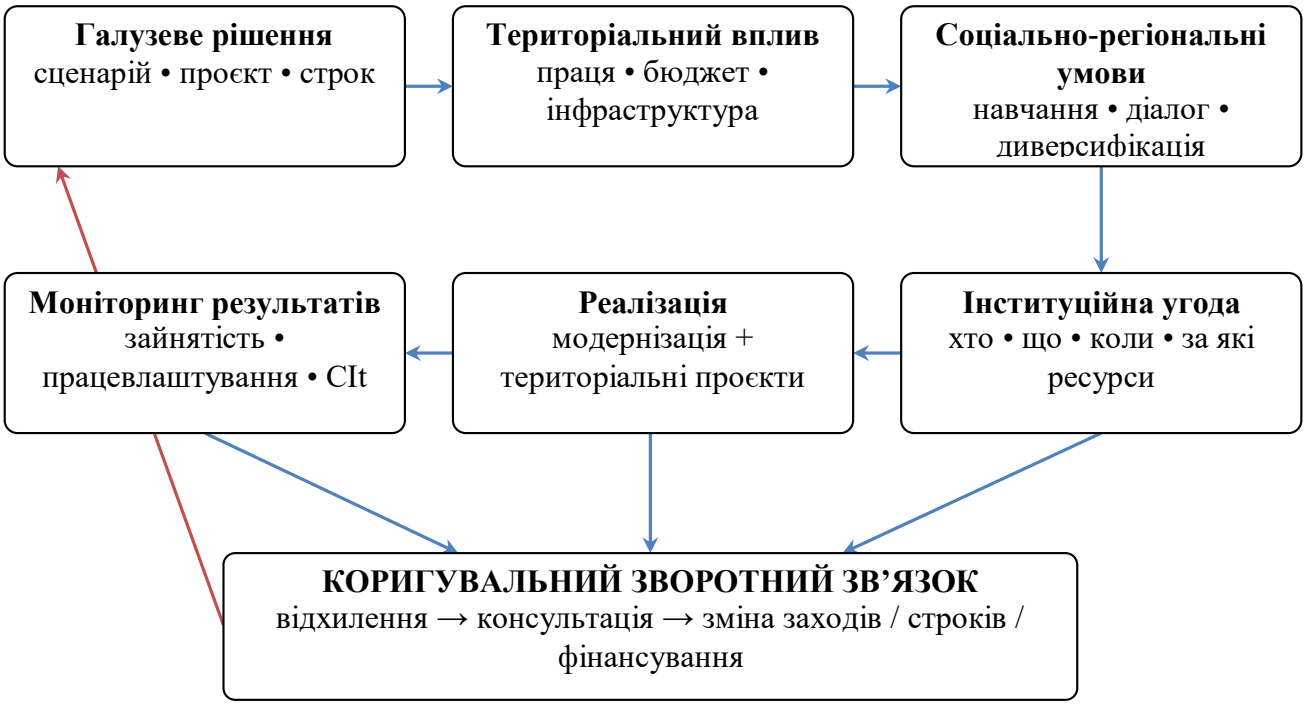


Рис. 5.3. Замкнений механізм інституційно-соціального супроводу низьковуглецевої трансформації металургійної галузі

Джерело: розроблено автором на основі результатів підрозділів 4.1–4.3 та [38; 89; 104; 107–111; 117; 120–121; 124; 126; 256; 264; 320–322; 354; 359; 369].

Ключовим інструментом взаємної відповідальності є кліматично-соціальна угода. Її предметом є не загальна декларація підтримки декарбонізації, а конкретні умови реалізації проєкту або портфеля: планована зміна технології; очікувана зміна професій; зобов'язання щодо раннього повідомлення; обсяг і джерела фінансування навчання; порядок внутрішнього працевлаштування; заходи для підрядників; територіальні проєкти; механізм скарг; періодичність звітування. Угода може оформлюватися як додаток до колективної або галузевої угоди, меморандум із громадою чи умова державної підтримки залежно від предмета і компетенції сторін.

Умовність підтримки означає, що публічні ресурси на соціальні та територіальні заходи пов'язуються з виконанням узгоджених дій, але не перекладають на підприємство всі витрати структурної трансформації. Підприємство відповідає за наслідки власного технологічного рішення,

достовірність кадрових даних, охорону праці та визначену частину навчання. Держава фінансує або співфінансує суспільні функції: активну політику зайнятості, мобільність, базову інфраструктуру, розвиток системи освіти та підготовку територіальних проєктів. Міжнародні партнери можуть надавати технічну допомогу й фінансування, але не повинні підміняти довгострокову національну інституційну спроможність.

Таблиця 5.7

Інституційні функції учасників реалізації справедливого переходу металургійної галузі

Рівень / учасник	Специфічна функція у 5.1	Обов'язковий документ або результат	Основний носій відповідальності
1	2	3	4
Національний міжвідомчий рівень	Узгодження кліматичної, промислової, регіональної, енергетичної та трудової політики; затвердження методики територіального плану.	Методичні вимоги; критерії підтримки; консолідований перелік територій і системних інфраструктурних потреб.	Кабінет Міністрів України та уповноважені центральні органи.
Галузевий координаційний рівень	Передача сценаріїв 4.1, даних 4.3 і графіків проєктів до територій; зіставлення потреб; раннє попередження.	Галузева карта соціально-регіональних наслідків; реєстр проєктів; щорічний огляд.	Галузевий координаційний орган / платформа 4.2.
Обласний рівень	Координація між громадами; включення заходів до регіональної стратегії, плану відновлення та інфраструктурних програм.	Погоджений територіальний план; міжмуніципальні проєкти; регіональний портфель.	Обласні державні/військові адміністрації, агенції регіонального розвитку.
Рівень громади	Збір локальних даних; консультації; земельні, інфраструктурні та соціальні рішення; моніторинг місцевих результатів.	Локальна частина плану; проєкти якості життя і диверсифікації; публічний звіт.	Органи місцевого самоврядування.
Система зайнятості	Профілювання працівників; індивідуальні плани переходу; навчання; супровід працевлаштування; компенсаційні програми.	Реєстр учасників і результатів; договори на навчання; показники працевлаштування.	Державна служба зайнятості та її регіональні структури.

Продовження табл. 5.7

1	2	3	4
Роботодавці	Календар технологічних і кадрових змін; внутрішня мобільність; навчання; охорона праці; дані про постачальників.	Кадровий план переходу; угоди з освітою; звіт про виконання соціальних умов.	Металургійні підприємства та учасники ланцюга.
Працівники і профспілки	Участь у консультаціях; перевірка умов праці та доступу до навчання; представлення груп ризику; механізм скарг.	Погоджені протоколи; кліматично-соціальні положення колективних угод; звіт про звернення.	Профспілки, організації працівників, представницькі органи.
Заклади освіти і науки	Прогноз компетентностей; оновлення програм; дуальне навчання; оцінка якості; методична підтримка.	Портфель програм і місць; професійні модулі; відстеження випускників.	Заклади професійної, фахової передвищої, вищої освіти та наукові організації.
Міжнародні та фінансові партнери	Технічна допомога, підготовка проєктів, фінансування, гарантії, обмін практиками та незалежна оцінка.	Угоди фінансування; технічні завдання; звіти про результати.	ЄС, міжнародні фінансові організації, донори, технологічні партнери.

Джерело: розроблено автором з урахуванням моделі 4.2 та [38; 89; 104; 107–111; 117; 120–121; 124; 126; 256; 264; 320–322; 354; 359; 369].

Таблиця 5.7 навмисно не повторює повну матрицю відповідальності 4.2. Вона деталізує лише ті функції, які виникають під час соціально-регіональної реалізації. Наприклад, держава у 4.2 встановлює правила і розподіляє підтримку; у 5.1 конкретним продуктом державного рівня є методика територіального плану, критерії соціальних умов підтримки та консолідована карта потреб. Така конкретизація дозволяє перевірити, чи інституційна функція завершилася документом або результатом, а не лише участю у нараді.

Для роботи механізму критично важливе раннє повідомлення. Підприємства повинні надавати інформацію про прогнозовану зміну професій у строк, достатній для розроблення та проведення навчальної програми. Конкретний строк залежить від складності компетентностей і інвестиційного графіка, тому єдиний норматив у місяцях не доцільно встановлювати без аналізу професії. Методика має вимагати обґрунтування достатності строку: коротка модульна підготовка може тривати

декілька місяців, тоді як нова інженерна спеціалізація потребує багаторічної освітньої траєкторії.

Обмін даними повинен відповідати принципу мінімально необхідної деталізації. Галузевий координатор потребує агрегованої інформації для планування, служба зайнятості — персональних даних для індивідуального супроводу, профспілка — даних про групи працівників і умови, громада — показників бюджетного й територіального впливу. Інтегрована система 4.3 має розмежовувати права доступу, але зберігати можливість зіставити соціальний результат із конкретним проєктом і часовим періодом.

Дорожня карта не встановлює однаковий календар для кожного підприємства. Її часові межі відповідають галузевим етапам 4.1, тоді як територіальні плани повинні відображати фактичний графік конкретних проєктів. Пілотування у 2026–2027 рр. потрібне для перевірки методики, якості даних і спроможності учасників, а не для відкладення соціальних заходів там, де технологічна зміна вже відбувається.

У пілотних територіях доцільно обрати різні типи залежності: територію з діючим великим інтегрованим виробництвом, територію з пошкодженими або частково зупиненими активами, а також територію з більш диверсифікованою промисловою базою. Це дозволить перевірити, чи методика працює за різної структури зайнятості, бюджету, інфраструктури й інвестиційних перспектив. Вибір пілотів не повинен тлумачитися як гарантія пріоритетного фінансування; його метою є методичне навчання і підготовка масштабування.

Показники моніторингу мають бути обмежені тими даними, які можна регулярно оновлювати і використовувати для рішення. Надмірна кількість індикаторів збільшує адміністративне навантаження та розмиває відповідальність. Тому система у табл. 5.9 поєднує показники результату, процесу і ризику, але не агрегує їх у єдиний індекс. Негативне значення одного критичного показника, наприклад різке зростання працівників без траєкторії працевлаштування, не повинно маскуватися позитивними результатами в іншій сфері.

Таблиця 5.8

Дорожня карта впровадження інституційного та соціально-регіонального забезпечення до 2035 р.

Етап	Основні дії	Контрольні результати	Ключові ризики реалізації
2026–2027 рр. — інституційне налаштування	Затвердити методику паспорта і територіального плану; визначити пілотні металургійні території; створити канал раннього повідомлення; сформувати міжвідомчу й галузеву координацію; провести базову діагностику.	Паспорти залежності; пілотні плани; перелік професій групи ризику; реєстр проєктів; протоколи соціального діалогу.	Неповнота даних, дублювання компетенцій, формальні консультації.
2028–2030 рр. — інтеграція з модернізацією	Пов’язати територіальні плани з проєктами досягнення ІПо; запустити програми навчання під підтверджені вакансії; включити соціальні умови до державної та міжнародної підтримки; реалізувати інфраструктурні й диверсифікаційні проєкти.	Працевлаштування після навчання; проєкти МСП і суміжних секторів; оновлені освітні програми; публічні звіти виконання угод.	Затримка інвестицій, невідповідність навчання попиту, недостатня спроможність громад.
2031–2035 рр. — масштабування і адаптація	Поширити механізм на всі території значного впливу; оновити плани під DRI–EAF, H_2-ready та глибшу автоматизацію; посилити міжрегіональну мобільність; завершити довгострокові проєкти диверсифікації.	Стабільна система прогнозу компетентностей; зменшена монозалежність; функціонуючі нові ланцюги вартості; регулярне сценарне коригування.	Технологічна невизначеність, дефіцит людського капіталу, нерівність між територіями.
Постійний контур	Щорічно оновлювати показники, переглядати сценарії після зміни інвестиційного портфеля, проводити консультації, оцінювати скарги та публікувати звіт про соціально-регіональний результат.	Актуальні дані; зафіксовані рішення про коригування; простежуваність використаних ресурсів.	Перетворення моніторингу на формальну звітність без управлінської реакції.

Джерело: розроблено автором з урахуванням часових горизонтів підрозділу 4.1 та [38; 89; 104; 107–111; 117; 120–121; 124; 126; 256; 264; 320–322; 354; 359; 369].

Таблиця 5.9

Показники моніторингу соціально-регіональної стійкості металургійних територій

Показник	Порядок визначення	Інтерпретація і періодичність	Відповідальний за дані
1	2	3	4
Працівники, професії яких змінюються або вивільняються, охоплені індивідуальним планом переходу, %	Кількість працівників із погодженим планом / кількість працівників визначеної групи ризику × 100.	Щокварталу. Зростання означає випереджальну підготовку; низьке значення потребує прискорення профілювання.	Служба зайнятості та роботодавці.
Учасники навчання, які завершили програму, %	Кількість тих, хто завершив програму / кількість зарахованих × 100.	Після кожного циклу. Високий відсів потребує перегляду умов, змісту або підтримки доходу.	Заклади освіти, служба зайнятості, роботодавці.
Працевлаштовані або переведені на стійке робоче місце протягом визначеного періоду після навчання, %	Кількість працевлаштованих / кількість випускників програми × 100.	Щокварталу. Основний результативний показник навчання.	Служба зайнятості та роботодавці.
Збережені й створені робочі місця у проєктах модернізації та диверсифікації, осіб	Фактична зайнятість за проєктами з уникненням подвійного обліку.	Щороку. Порівнюється з проєктними зобов’язаннями, але не трактує будь-яке скорочення як провал.	Підприємства, громади, галузевий координатор.
Підготовлені та профінансовані проєкти диверсифікації, од.; обсяг інвестицій, млн євро	Проєкти з підтвердженим інвестором або рішенням фінансування.	Щокварталу. Відображає реальну альтернативу, а не кількість ідей.	Агенції регіонального розвитку, громади, фінансові партнери.
Частка власних доходів місцевих бюджетів, пов’язаних з одним металургійним ядром, %	Надходження від визначеного ланцюга / власні доходи бюджету × 100.	Щороку. Зниження внаслідок появи нової бази доходів підвищує стійкість; падіння через загальний занепад потребує окремої оцінки.	Фінансові органи громад.
Охоплення працівників і громад консультаціями за встановленою процедурою, %	Кількість учасників / визначена цільова група; доповнюється якісним аналізом пропозицій і відповідей.	На кожному етапі рішення. Кількість без змістовної участі не є достатнім результатом.	Координатор плану, профспілки, громади.

Продовження табл. 5.9

1	2	3	4
Неврегульовані скарги і трудові спори, од.; середній строк розгляду, днів	Дані механізму скарг і органів соціального діалогу.	Щокварталу. Зростання або затримка є сигналом коригування процедури.	Роботодавці, профспілки, координатор.
Оновлені програми підготовки і доступні навчальні місця, од.	Фактично затверджені програми та кількість місць з ресурсним забезпеченням.	Щороку. Зіставляється з прогнозним попитом на компетентності.	Заклади освіти, роботодавці, органи влади.
CIt, MRV-охоплення і виконання технологічного графіка	Показники підрозділів 3.2, 4.1 і 4.3.	Відповідно до галузевого циклу. Підтверджує, що соціальні заходи супроводжують реальну, а не декларативну трансформацію.	Галузевий координатор та оператори.
Відхилення фактичних соціально-регіональних результатів від територіального плану	Показник або подія порівнюється з контрольним результатом і строком; фіксується причина та рішення.	Щокварталу / щороку. Обов’язково завершується управлінським висновком.	Координатор територіальн ого плану.

Джерело: розроблено автором на основі [38; 89; 104; 107–111; 117; 120–121; 124; 126; 256; 264; 320–322; 354; 359; 369] та інформаційного контуру 4.3.

Система показників табл. 5.9 не встановлює універсальних числових цілей для всіх територій. Базове і цільове значення визначається у територіальному плані з урахуванням фактичної залежності, технологічного сценарію і строку проєкту. Водночас методика встановлює єдині правила: показник має бути вимірюваним, мати джерело, відповідального, періодичність і визначену управлінську реакцію. Якщо останній елемент відсутній, моніторинг перетворюється на інформаційне накопичення без впливу на рішення.

Соціально-регіональна стійкість не означає незмінність структури зайнятості або бюджету. Її зміст полягає у здатності території проходити структурну зміну без тривалого масового безробіття, втрати ключових послуг, некерованого відтоку людського капіталу та руйнування виробничих компетентностей. Тому частина традиційних показників може знижуватися одночасно з появою нової, більш диверсифікованої бази. Інтерпретація має враховувати причину зміни, а не лише напрям динаміки.

Запропоноване інституційне забезпечення також створює підготовчу основу для фінансово-інвестиційного інструментарію 5.2. Фінансові установи й донори отримують не загальну декларацію соціальної корисності, а паспорт території, погоджений план, перелік проєктів, показники результату та розподіл відповідальності. Це зменшує невизначеність щодо нефінансових ризиків і дає змогу включити витрати на навчання, підготовку територіальних проєктів, соціальну інфраструктуру та технічну допомогу до структури змішаного фінансування, не змішуючи їх із CAPEX основного технологічного обладнання.

Водночас 5.1 не підміняє партнерський механізм 5.3. Тут визначено інституційні правила, документи і соціально-регіональні функції; у 5.3 мають бути розкриті договірні форми спільної реалізації конкретних проєктів державою, бізнесом, громадами та міжнародними партнерами. Такий поділ усуває повторення: 4.2 відповідає на питання, як координується галузеве рішення; 5.1 — як воно вбудовується у регіональну, трудову й соціальну політику; 5.2 — як мобілізується і здешевлюється капітал; 5.3 — як учасники формалізують спільну реалізацію.

Отже, справедливий перехід металургійної галузі повинен бути інституціоналізований як превентивний і доказовий процес. Його основою є не умовний інтегральний індекс і не одноразова компенсаційна програма, а взаємопов’язана система: галузевий технологічний сценарій; паспорт соціально-регіональної залежності; територіальний план; раннє повідомлення про зміну професій; програми навчання під підтверджений попит; портфель диверсифікації; кліматично-соціальна угода; моніторинг і коригування. Така конструкція забезпечує перехід від декларації «не залишити нікого осторонь» до розподілених у часі, ресурсно забезпечених і перевірюваних управлінських дій.

5.2. Фінансово-інвестиційне забезпечення низьковуглецевої трансформації металургійної галузі

Підрозділ 5.1 визначив інституційні та соціально-регіональні умови справедливого переходу, однак їх реалізація потребує фінансового контуру, здатного перетворити сценарні технологічні рішення підрозділу 4.1 на підготовлені, профінансовані й контрольовані інвестиційні проєкти. Для металургійної галузі така вимога має системний характер: зміна технологічних маршрутів залежить одночасно від капіталу підприємств, довгострокових кредитів, гарантій воєнного і кредитного ризику, розвитку енергетичної та сировинної інфраструктури, підготовки MRV-даних, контрактів попиту та фінансування соціально-регіонального супроводу.

Фінансово-інвестиційне забезпечення у цьому дослідженні розглядається не як перелік потенційних джерел коштів і не як сукупність корпоративних бюджетів окремих підприємств. Його об’єктом є галузевий портфель низьковуглецевої трансформації, сформований із взаємопов’язаних технологічних, енергетичних, цифрових, логістичних і соціальних проєктів. Відповідно, завданням управління є не максимізація обсягу одного кредиту, а забезпечення фінансової здійсненності всієї послідовності: підготовка проєкту → зниження ризику → мобілізація капіталу → реалізація → MRV-контроль → коригування фінансових умов.

Актуальність портфельного підходу посилюється тим, що низьковуглецеве виробництво сталі потребує не лише значних первинних інвестицій, а й довгого періоду окупності, стабільного постачання низьковуглецевої енергії та прогнозованого попиту. World Steel Association наголошує, що доступ до капіталу і сучасних схем фінансування необхідний як для спорудження нових потужностей, так і для забезпечення життєздатності їх операційної моделі. IEA пов’язує конкурентоспроможність DRI–EAF і водневих маршрутів з доступом до дешевої низьковуглецевої електроенергії, а міжнародні стратегії переходу сталі

вказують на потребу поєднання інвестицій у виробничі установки з енергетичною та сировинною інфраструктурою [312; 315; 342; 374; 376].

Для України додатковим обмеженням є підвищена премія за воєнний, регуляторний, валютний, інфраструктурний і ринковий ризик. Через це технічно доцільний проєкт може не відповідати критеріям банківської прийнятності за звичайного комерційного фінансування. Водночас Ukraine Investment Framework у межах Ukraine Facility формує європейську рамку гарантій, грантів і змішаного фінансування, яка має мобілізувати публічні та приватні інвестиції. Станом на 2026 р. рамка забезпечена близько 9,6 млрд євро гарантій і грантів та орієнтована на мобілізацію до 40 млрд євро інвестицій. Це не означає автоматичного резервування коштів для металургії, але створює інституційний канал для проєктів, що відповідають пріоритетам відновлення, декарбонізації, стратегічної промисловості та доказовості результату [221–222; 228–229; 261; 265–266].

Науковий результат підрозділу полягає в удосконаленні фінансово-інвестиційного забезпечення низьковуглецевої трансформації металургійної галузі шляхом поєднання сценарної оцінки CAPEX за технологічними маршрутами, поетапного відбору проєктів без умовного інтегрального індексу, портфельного blended finance, розрахунку ефективної середньозваженої вартості фінансування та системи фінансових ковенантів, пов’язаних із CIt, IПм, IПо, MRV-готовністю, CBAM-експозицією і соціально-регіональними зобов’язаннями. На відміну від фінансування ізольованих агрегатів, запропонований підхід узгоджує капітал із галузевими сценаріями 2030 і 2035 рр. та визначає умови заміни публічної підтримки приватним капіталом у міру зниження ризику.

Фінансово-інвестиційне забезпечення має виконувати п’ять взаємопов’язаних функцій. Мобілізаційна функція полягає у залученні власного, боргового, гарантійного та грантового ресурсу. Компенсаційна — у зниженні надмірної вартості ризику, яку проєкт не може подолати самостійно.

Таблиця 5.10

Фінансово-інвестиційні інструменти низьковуглецевої трансформації металургійної галузі

Інструмент	Об’єкт фінансування	Фінансова функція	Умова застосування
Гранти і технічна допомога	ТЕО, енергоаудити, MRV, цифрові паспорти, пілотні технології, підготовка кадрів	Зменшення передінвестиційного ризику; створення суспільних і інформаційних активів, які не мають повної комерційної окупності	Підготовчий та демонстраційний етап
Пільгові кредити МФО	НДТМ, енергоефективність, EAF, утилізація вторинної енергії, інфраструктура	Подовження строку фінансування та зниження процентної ставки	Проєкти з підтвердженою технологією і довшим строком окупності
Кредити з гарантіями	Проєкти, чутливі до воєнного, кредитного, валютного або регуляторного ризику	Зниження вимог до застави, премії за ризик і вартості боргу	Після позитивного техніко-економічного відбору
Transition loans і sustainability-linked loans	Модернізація діючих активів із поетапним зниженням CIt	Зміна процентної ставки залежно від виконання ковенантів	Коли базовий рівень і цільові показники верифіковані
Transition bonds / sustainability-linked bonds	Великі портфелі EAF, DRI–EAF, ВДЕ та мережевої інфраструктури	Залучення довгого ринкового капіталу за зовнішньої верифікації	Після формування рамки переходу і системи звітності
Власний капітал і спільні інвестиції	Корпоративний внесок, стратегічні інвестори, промислові партнери	Підтвердження відповідальності власника та розподіл технологічного ризику	Обов’язковий компонент для комерційних активів
Контракти попиту, off-take і CCfD	Низьковуглецева сталь, водень, електроенергія, DRI	Зменшення цінового і збутового ризику, підтримка різниці у витратах	Для перших промислових проєктів і ринків із зеленою премією
Податкові та амортизаційні стимули	НДТМ, енергоефективність, циркулярність, цифровізація	Підвищення післяподаткової дохідності без прямого бюджетного фінансування	За умови верифікованої додатковості та обмеженого строку
Соціально-регіональне фінансування	Перекваліфікація, мобільність, диверсифікація територій, соціальний діалог	Зниження ризику затримки проєктів і некерованого скорочення зайнятості	Одночасно з технологічним рішенням

Джерело: розроблено автором за [221–222; 228–229; 246; 253–254; 261; 265–266; 271; 312; 315; 342; 372; 374; 376].

Селективна — у спрямуванні підтримки на проєкти, сумісні з траєкторією 4.1 та такими, що не створюють carbon lock-in. Інфраструктурна — у фінансуванні спільних мереж, енергетики, брухту, DRI-сировини, даних і підготовки кадрів. Контрольна — у перевірці фактичного використання коштів, досягнення CIt, виконання MRV/ESG-вимог та соціально-регіональних умов.

Таблиця 5.10 показує, що фінансові інструменти не є взаємозамінними. Грант не повинен фінансувати повну вартість комерційного активу, а гарантія — компенсувати технологічну неготовність або відсутність достовірних даних. Власний капітал підтверджує відповідальність власника; пільговий кредит надає довгий ресурс; гарантія знижує зовнішній ризик; контракт попиту підтримує майбутню виручку; MRV і соціально-регіональний блок забезпечують доказовість і прийнятність. Саме комбінація цих функцій формує додатковість публічного ресурсу.

Галузева фінансово-інвестиційна платформа повинна діяти як організаційний інтерфейс між стейкхолдерно-координованою моделлю 4.2, інформаційною інфраструктурою 4.3, соціально-регіональними планами 5.1 і фінансовими установами. Вона не є окремим банком або фондом. Її призначення полягає у веденні єдиного портфеля проєктів, стандартизації заявок, перевірці відповідності сценаріям, підготовці пакетів гарантій і blended finance та моніторингу досягнення заявлених результатів.

Фінансовий відбір не повинен здійснюватися за умовним зваженим індексом, оскільки визначення ваг без достатньої емпіричної бази може приховати критичну невідповідність проєкту. Наприклад, високий очікуваний кліматичний ефект не компенсує відсутність доступу до електроенергії або непідготовлений соціальний план, а достатня рентабельність не виправдовує продовження високовуглецевої експлуатації без exit-плану. Тому доцільно застосовувати послідовні «ворота» готовності, проходження кожних із яких є обов’язковою умовою переходу до наступного етапу фінансування.

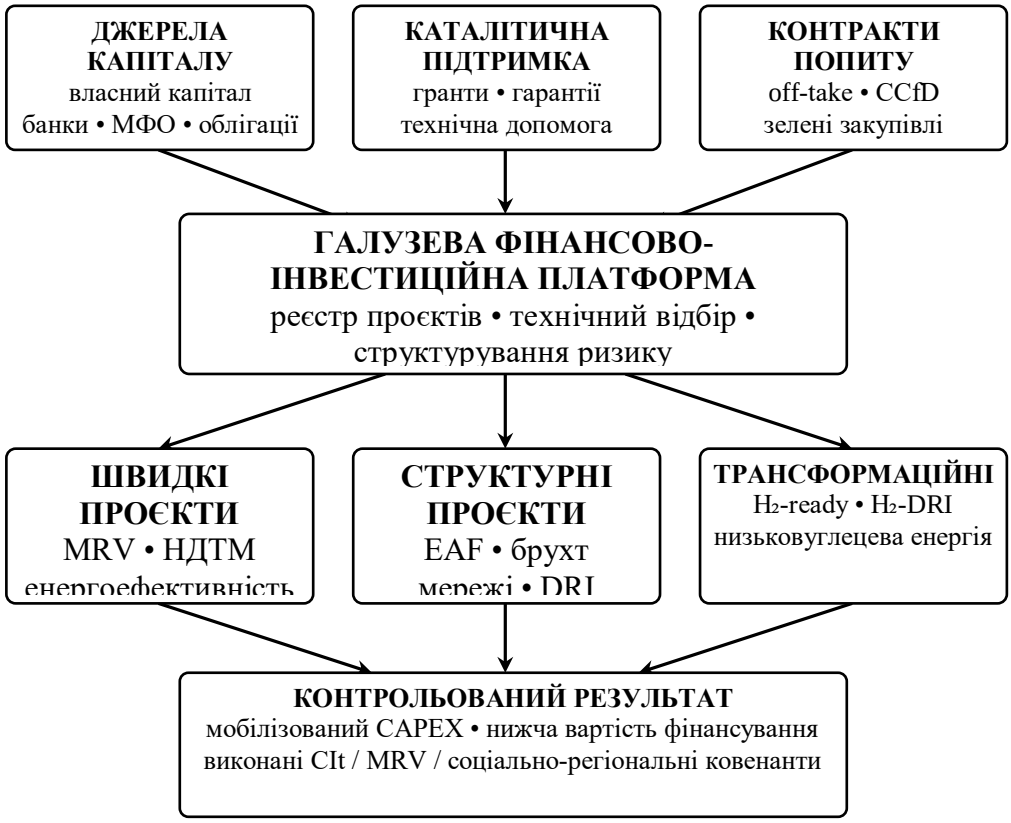


Рис. 5.4. Архітектура галузевої фінансово-інвестиційної платформи низьковуглецевої трансформації металургії

Джерело: розроблено автором за результатами підрозділів 4.1–4.3 та 5.1.

Такий підхід відповідає портфельному управлінню ризиком: рання технічна допомога фінансує підготовку, але не створює автоматичного права на капітальний грант; гарантія надається після підтвердження технічної, ресурсної й соціальної здійсненності; виплата наступних траншів залежить від виконання будівельних, кліматичних і інформаційних ковенантів. Послідовність мінімальних вимог наведено у табл. 5.11.

Кількісне оцінювання фінансової потреби повинно бути узгоджене зі сценарними маршрутами 4.1. Оскільки національний портфель конкретних проєктів, їх кошториси, строки введення та корпоративні джерела фінансування ще не затверджені, у підрозділі застосовано сценарно-модульний розрахунок. Він не є офіційною оцінкою повної вартості декарбонізації металургії України. Його призначення — показати відтворюваний порядок перетворення технологічних часток 2030 і 2035 рр. на діапазон CAPEX, який надалі замінюється фактичними

ТЕО і контрактними цінами. Статуси даних, реєстр джерел і вихідні параметри сценарно-модульного розрахунку систематизовано у табл. Ж.1–Ж.3 додатка Ж, а застосовані нижні, центральні та верхні коефіцієнти CAPEX — у табл. Ж.4.

Таблиця 5.11

Послідовні умови фінансової готовності проєктів низьковуглецевої модернізації

Етап відбору	Мінімальна вимога	Ризик, що зменшується	Фінансове рішення
1. Сценарна сумісність	Проєкт включено до технологічного портфеля 4.1; визначено вплив на маршрутну структуру і CIt	Відсутність carbon lock-in та відповідність горизонту 2030/2035 рр.	Допуск до передінвестиційної підготовки
2. Дані та межі	Визначено базовий CIt, межі системи, джерела даних і план MRV	Можливість перевірити додатковість та результат	Грант / технічна допомога на ТЕО і MRV
3. Технологічна готовність	Підтверджено TRL, постачальника, інтеграцію з діючими активами та план виведення застарілих рішень	Зниження технологічного і будівельного ризику	Початок структурування боргу
4. Ресурсна та енергетична готовність	Підтверджено мережеву потужність, електроенергію, брухт, DRI-сировину, газ / водень	Зниження ризику недовантаження нового активу	Підготовка гарантій та контрактів постачання
5. Проєктна готовність	ТЕО, CAPEX/OPEX, графік, дозволи, закупівлі, ризиковий реєстр	Банківська прийнятність	Кредитний комітет / випуск облігацій
6. Соціально-регіональна готовність	Оцінка зайнятості, план перекваліфікації, угода з громадою та соціальними партнерами	Зниження ризику затримки і конфліктів	Соціальний грантовий компонент
7. Фінансова додатковість	Доведено фінансовий розрив і неможливість реалізації на прийнятних умовах без підтримки	Недопущення заміщення приватного капіталу	Визначення гранту, гарантії або субсидії
8. Контрольні ковенанти	Встановлено транші, CIt, MRV, строки, зайнятість, повернення підтримки у разі порушення	Фінансова дисципліна і зворотний зв’язок	Підписання та реалізація

Джерело: розроблено автором на основі принципів project finance, blended finance та результатів 4.1–5.1 [221–222; 228–229; 246; 253–254; 261; 265–266; 271; 312; 315; 342; 372; 374; 376].

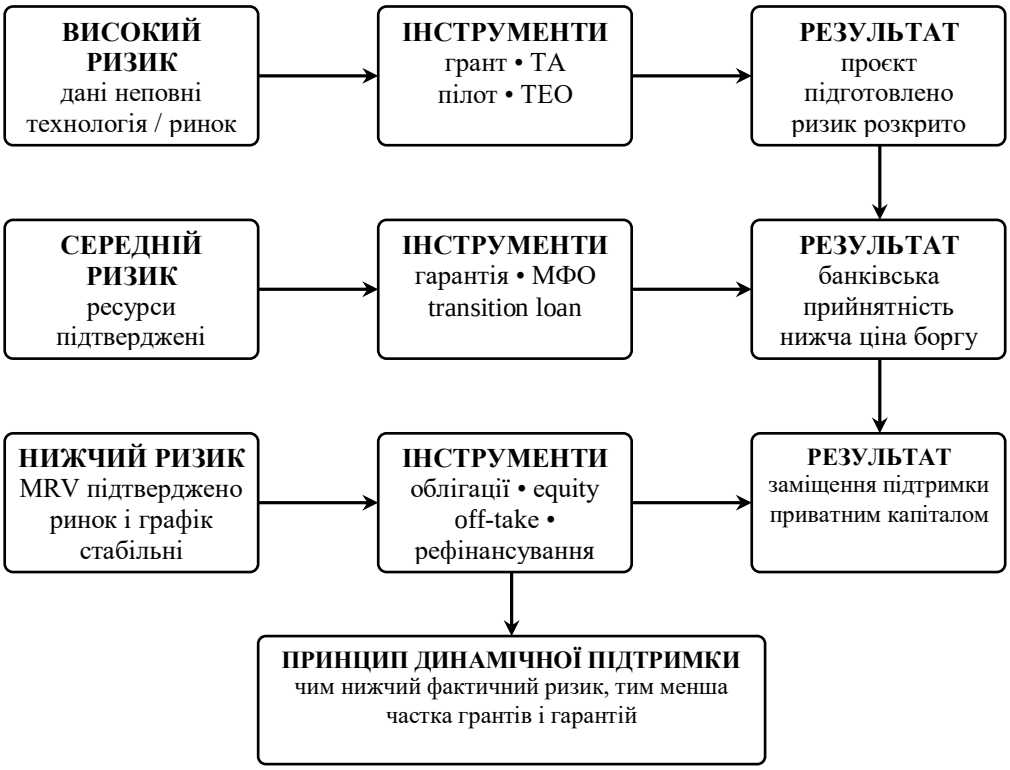


Рис. 5.5. Каскад фінансових інструментів залежно від рівня ризику і готовності проєкту

Джерело: розроблено автором.

Розрахункова база відповідає трансформаційному сценарію 4.1: випуск сталі 11,0 млн т у 2030 р. і 15,0 млн т у 2035 р.; частки scrap-EAF — 25 і 30%; DRI–EAF — 20 і 30%; H_2-DRI / near-zero — 5 і 10%; BF–BOF — 35 і 25%. Для традиційного маршруту враховується модернізація потужності, що залишається в експлуатації; для scrap-EAF — лише приріст до бази 2025 р.; для DRI–EAF і H_2-DRI — нова цільова потужність. Спільна інфраструктура включає електромережі, низьковуглецеву електроенергію, підготовку брухту і сировини, MRV, проєктну підготовку та соціально-регіональний супровід. Повний набір вихідних значень, формули їх використання та статус кожного параметра наведено у табл. Ж.3, а перехід від часток випуску до розрахункових потужностей 2030 і 2035 рр. — у табл. И.1 та И.3 додатка И.

Перед застосуванням формули необхідно зазначити її походження. Авторський сценарно-модульний розрахунок сформовано шляхом адаптації портфельного підходу IEA, World Steel Association, Mission Possible Partnership та

відкритих прикладів інвестицій у DRI–EAF і водневу металургію [312; 315; 342; 372; 374; 376]. Формула застосовується для перевірюваного агрегування технологічних модулів, а не для оцінювання вартості конкретного заводу. Інформаційні джерела для формування коефіцієнтів наведено з повними URL у табл. Ж.2, а самі сценарні коефіцієнти — у табл. Ж.4 додатка Ж.

$$CAPEX_t^s = (\Sigma A_{i,t}^s \times k_i^s) \times (1 + m_t^s) \quad (5.1)$$

де $CAPEX_t^s$ — сукупна сценарна потреба у капітальних інвестиціях у році t за сценарієм s, млрд євро; $A_{i,t}^s$ — річна потужність технологічного модуля i, яка створюється або модернізується, млн т; k_i^s — сценарний коефіцієнт CAPEX відповідного модуля, млрд євро на 1 млн т річної потужності; m_t^s — частка спільної енергетичної, сировинної, цифрової та соціальної інфраструктури у технологічному CAPEX; i — BF–BOF після НДТМ, scrap-EAF, DRI–EAF, H_2-DRI та інші процеси. Усі коефіцієнти мають статус S і підлягають заміні даними ТЕО. Покомпонентне підставлення потужностей і коефіцієнтів у формулу подано у табл. И.2 для 2030 р. та у табл. И.4 для 2035 р.; арифметичний місток між двома контрольними точками наведено у табл. И.5.

Розрахунки табл. 5.13–5.14 показують не точну ціну трансформації, а масштаб фінансового порядку. Центральна сценарна потреба становить 4,028 млрд євро до 2030 р. та 7,863 млрд євро кумулятивно до 2035 р.; діапазон невизначеності розширюється від 3,149 до 5,297 млрд євро у 2030 р. та від 6,157 до 10,315 млрд євро у 2035 р. Основними причинами невизначеності є вартість енергії та водню, стан майданчиків, потреба у нових мережах, локалізація обладнання, воєнні ризики, валютний курс і фактична конфігурація DRI–EAF. Проміжні добутки за кожним технологічним модулем і трьома рівнями вартості наведено у табл. И.2 та И.4, а контроль відповідності центральних підсумків — у табл. И.5 і Л.4 розрахункових додатків.

Отримані значення не слід механічно включати до державного бюджету. Вони є загальним CAPEX портфеля, у якому основну частину мають становити корпоративний і залучений капітал. Публічний ресурс виконує каталітичну

функцію: фінансує суспільні компоненти, знижує надмірний ризик, створює інфраструктуру та робить можливим залучення приватного капіталу.

Таблиця 5.12

Сценарні коефіцієнти CAPEX для модульного розрахунку інвестиційної потреби

Технологічний модуль	Одиниця та база	Нижній рівень	Центральний рівень	Верхній рівень	Склад витрат
BF–BOF після НДТМ та exit-плану	млрд євро / 1 млн т потужності, що зберігається	0,08	0,10	0,13	Енергоефективність, рекуперація, цифровізація, підготовка до заміщення
Приріст scrap-EAF до бази 2025 р.	млрд євро / 1 млн т нової потужності	0,20	0,25	0,32	EAF, підготовка брухту, електрична частина майданчика
DRI–EAF / H_2-ready	млрд євро / 1 млн т нової потужності	0,65	0,80	1,00	DRI, EAF, інтеграція, газо- та воднева готовність
H_2-DRI / near-zero	млрд євро / 1 млн т нової потужності	0,95	1,20	1,50	Водневий DRI, електроліз / постачання водню, EAF та інтеграція
Інші процеси, що залишаються	млрд євро / 1 млн т потужності	0,06	0,08	0,10	Маршрутне розкриття, НДТМ, MRV і підготовка до заміщення
Спільна інфраструктура	% технологічного CAPEX	12	15	20	Мережі, ВДЕ/PPA, брухт, DRI-сировина, дані, кадри, проєктна підготовка

Джерело: сформовано автором як сценарні коефіцієнти за міжнародними дорожніми картами та відкритими прикладами проєктів [312; 315; 342; 372; 374; 376]. Коефіцієнти не є кошторисами конкретних підприємств.

Для цього центральний варіант фінансової структури передбачає 10% грантового компоненту, 20% власного капіталу, 30% пільгових кредитів МФО, 25% кредитів з гарантіями та 15% transition-облігацій. Кількісний розподіл центрального CAPEX між грантами, власним капіталом, кредитами МФО, гарантованими кредитами та transition-облігаціями наведено у табл. К.1, а групування мобілізованого й каталітичного ресурсу — у табл. К.5 додатка К.

Таблиця 5.13

Проміжний розрахунок CAPEX трансформаційного сценарію на 2030 р.

Модуль	Потужність, млн т/рік	Центральний коефіцієнт, млрд євро/млн т	Розрахунковий CAPEX, млрд євро
BF–BOF після НДТМ	3,850	0,10	0,385
Приріст scrap-EAF до бази 2025 р.	2,261	0,25	0,565
DRI–EAF / H_2-ready	2,200	0,80	1,760
H_2-DRI / near-zero	0,550	1,20	0,660
Інші процеси	1,650	0,08	0,132
Технологічний CAPEX	—	—	3,502
Спільна інфраструктура, 15%	—	3,502 × 0,15	0,525
Сукупний CAPEX 2030 р.	—	3,502 + 0,525	4,028
Діапазон за нижнім / верхнім рівнем	—	—	3,149–5,297

Джерело: розраховано автором за формулою (5.1), технологічними частками табл. 4.4 і сценарними коефіцієнтами табл. 5.12.

Таблиця 5.14

Проміжний розрахунок кумулятивного CAPEX трансформаційного сценарію на 2035 р.

Модуль	**Потужність, млн т/рік**	**Центральний коефіцієнт, млрд євро/млн т**	**Розрахунковий CAPEX, млрд євро**
BF–BOF після НДТМ	3,750	0,10	0,375
Приріст scrap-EAF до бази 2025 р.	4,011	0,25	1,003
DRI–EAF / H_2-ready	4,500	0,80	3,600
H_2-DRI / near-zero	1,500	1,20	1,800
Інші процеси	0,750	0,08	0,060
Технологічний CAPEX	—	—	6,838
Спільна інфраструктура, 15%	—	6,838 × 0,15	1,026
Сукупний CAPEX 2035 р.	—	6,838 + 1,026	7,863
Діапазон за нижнім / верхнім рівнем	—	—	6,157–10,315

Джерело: розраховано автором за формулою (5.1), технологічними частками табл. 4.4 і сценарними коефіцієнтами табл. 5.12.

Запропонована структура має сценарний характер. Вона не встановлює обов’язкової частки конкретної установи і не означає, що грант може надаватися на будь-які виробничі витрати. Грантова частка резервується для

передінвестиційних робіт, інноваційної додатковості, спільної інфраструктури та соціально-регіонального супроводу. Гарантовані кредити залишаються боргом позичальника, а гарантія повинна покривати лише ризик, який неможливо ефективно управляти на рівні підприємства.

Таблиця 5.15

Сценарна структура blended finance для центральної оцінки CAPEX 2030 та 2035 рр.

Джерело фінансування	Частка, %	Портфель 2030 р., млрд євро	Портфель 2035 р., млрд євро	Функція у портфелі
Гранти і технічна допомога	10	0,403	0,786	Підготовка, MRV, демонстрація, спільна і соціальна інфраструктура
Власний капітал підприємств / партнерів	20	0,806	1,573	Корпоративна відповідальність і покриття технологічного ризику
Пільгові кредити МФО	30	1,208	2,359	Довгий строк і нижча ставка для структурних проєктів
Кредити з гарантіями	25	1,007	1,966	Мобілізація банківського капіталу за розподілу воєнного та кредитного ризику
Transition-облігації / довгий ринковий борг	15	0,604	1,180	Рефінансування під верифіковану траєкторію переходу
Разом	100	4,028	7,863	Сценарний портфель

Джерело: розраховано автором за центральними значеннями табл. 5.13–5.14. Частки мають статус S і підлягають уточненню для кожного проєкту.

Ключовим фінансовим ефектом портфельного підходу є зниження ефективної середньозваженої вартості фінансування загального CAPEX. Для уникнення методичної помилки грант не трактується як безпроцентний борг: він зменшує частину загального CAPEX, що потребує доходності та обслуговування. Середньозважена вартість поворотного капіталу розраховується для власного і боргового фінансування, після чого коригується на грантову частку. Вихідні частки та ставки для базової і змішаної структур фінансування розкрито у табл. К.2–К.3 додатка К.

Перед формулою зазначається її методологічна база. Розрахунок ґрунтується на класичному підході до WACC, адаптованому автором до структури blended finance. Для боргу враховано податковий щит за базової ставки податку на прибуток 18%, чинної для нефінансових підприємств у 2026 р. [32; 102]. Вартість джерел є сценарною, а не пропозицією конкретного банку. Поелементний розрахунок внеску власного капіталу, комерційного боргу, грантів, кредитів МФО, гарантованих кредитів і transition-облігацій у підсумкову C_CAPEX наведено у табл. К.2 та К.3.

$$C\_CAPEX = (1 - g) \times [\ (E/R) \times R_e + \Sigma(D_j/R) \times R\_d_j \times (1 - T)\ ] \qquad (5.2)$$

де C_CAPEX — ефективна середньозважена вартість фінансування загального CAPEX, %; g — частка грантів у загальному CAPEX; E — власний капітал у складі поворотного фінансування; D_j — боргове джерело j; $R = E + \Sigma D_j$ — загальний обсяг поворотного капіталу; R_e — очікувана дохідність власного капіталу; R_d_j — вартість боргового джерела j; T — ставка податку на прибуток. Сума грантової частки та часток усіх поворотних джерел у загальному CAPEX дорівнює 1. Усі частки, ставки, податковий щит і внески у відсоткових пунктах можна перевірити за табл. К.2–К.3 додатка К.

За центральних припущень ефективна вартість фінансування знижується з 13,436 до 7,823%, тобто на 5,613 в.п. Для нормованого портфеля 1 млрд євро це відповідає 56,1 млн євро річної економії на вартості фінансування. Для повністю мобілізованого центрального портфеля 2030 р. розрахунковий ефект становить 226,1 млн євро на рік, а для кумулятивного портфеля 2035 р. — 441,4 млн євро на рік. Ці значення характеризують повний річний еквівалент за одночасного використання всього портфеля; фактичний ефект формується поступово відповідно до графіка вибірки коштів і погашення боргу. Перевірку зниження C_CAPEX, сценарії чутливості для портфелів різного масштабу та річний еквівалент економії наведено у табл. К.2–К.4; динамічну розгортку за 2026–2035 рр. — у табл. Л.3, а підсумковий контроль — у табл. Л.4.

Таблиця 5.16

Розрахунок ефективної вартості фінансування за базової та портфельної структури

Компонент	Частка у загальному CAPEX, %	Сценарна вартість джерела, %	Внесок до C_CAPEX, в.п.
Базова структура: власний капітал	30	18,0	5,400
Базова структура: комерційний борг	70	14,0	8,036
Базова ефективна вартість фінансування	100	—	13,436
Blended finance: грант	10	0,0	0,000
Blended finance: власний капітал	20	18,0	3,600
Blended finance: пільговий кредит МФО	30	6,0	1,476
Blended finance: кредит з гарантією	25	8,0	1,640
Blended finance: transition-облігації	15	9,0	1,107
Ефективна вартість blended finance	100	—	7,823
Зниження ефективної вартості фінансування, в.п.	—	—	5,613

Джерело: розраховано автором за формулою (5.2). Для боргу застосовано податковий щит за T = 18%; ставки джерел мають статус S.

Таблиця 5.17

Чутливість річної економії на вартості фінансування до розміру портфеля і зниження C_CAPEX

Розмір портфеля	Економія за зниження на 2,0 в.п., млн євро/рік	Економія за зниження на 4,0 в.п., млн євро/рік	Економія за розрахункового зниження на 5,613 в.п., млн євро/рік
Нормований модуль 1 млрд євро	20,0	40,0	56,1
Центральний портфель 2030 р. — 4,028 млрд євро	80,6	161,1	226,1
Центральний портфель 2035 р. — 7,863 млрд євро	157,3	314,5	441,4

Джерело: розраховано автором як добуток розміру повністю мобілізованого портфеля на відповідне зниження ефективної вартості фінансування.

Розрахунок не слід інтерпретувати як гарантовану бюджетну економію. Це порівняння альтернативної вартості капіталу для одного і того самого портфеля за двох структур фінансування. Фактична ставка залежатиме від валюти, строку, ризику позичальника, застави, гарантійного покриття, інфляції, країнової премії та контрактів збуту. Саме тому табл. 5.17 містить чутливість для зниження на 2 і 4 в.п., а не лише центральний результат.

Фінансова додатковість має перевірятися на рівні кожного проєкту. Підтримка є додатковою, якщо без неї проєкт не може залучити достатній капітал на строк і за вартістю, сумісними з його грошовим потоком, або якщо він не може профінансувати суспільно необхідну інфраструктуру. У разі поліпшення ризикового профілю частка грантів і гарантій повинна скорочуватися, а портфель — рефінансуватися облігаціями, комерційним боргом або стратегічним капіталом.

Окремим показником є мобілізація приватного капіталу. У сценарній структурі табл. 5.15 до приватного і комерційно мобілізованого ресурсу віднесено власний капітал, гарантовані кредити та transition-облігації, разом 60% CAPEX. Гранти і пільгові кредити МФО становлять 40%. Такий поділ не є фіскальним мультиплікатором, оскільки гарантія не дорівнює бюджетним витратам, а кредит МФО підлягає поверненню. Для зовнішнього порівняння доцільно використовувати очікувану мобілізацію Ukraine Investment Framework — до 40 млрд євро інвестицій за близько 9,6 млрд євро гарантій і грантів, тобто приблизно 4,2 євро інвестицій на 1 євро рамкового каталітичного ресурсу [265–266]. Абсолютні значення за джерелами на 2030 і 2035 рр. наведено у табл. К.1, а розмежування приватного/комерційно мобілізованого та каталітичного ресурсу — у табл. К.5.

Управлінське значення розрахунків полягає в тому, що фінансовий інструмент відбирається не після затвердження технології, а одночасно з її сценарною оцінкою. Якщо проєкт знижує CIt, але потребує непідготовленої мережі, фінансовий пакет має охоплювати мережеву частину.

Таблиця 5.18

Поетапна модель фінансування низьковуглецевої трансформації металургійної галузі до 2035 р.

Етап	Пріоритетний портфель	Домінуючі фінансові інструменти	Контрольний результат
2026–2027: підготовка та зниження невизначеності	MRV, цифрові паспорти, енергоаудити, ТЕО, демонстрації, підготовка мережевих і соціальних планів	Гранти, технічна допомога, корпоративний капітал, короткі пільгові лінії	Підготовлений реєстр проєктів; верифікована база; пройдення воріт 1–4
2028–2030: мобілізація центрального портфеля	НДТМ, модернізація BF–BOF з exit-планом, приріст scrap-EAF, перші DRI–EAF, мережі та брухт	Пільгові кредити, гарантії, transition loans, грантові компоненти, off-take	Сукупний центральний CAPEX до 4,028 млрд євро; CIt сценарію 4.1; підвищення MRV-охоплення
2031–2035: структурна трансформація	Масштабування DRI–EAF, H_2-ready і H_2-DRI, низьковуглецева енергія, воднева і сировинна інфраструктура	Blended finance, transition bonds, CCfD, стратегічний equity, міжнародні гарантії	Кумулятивний центральний CAPEX до 7,863 млрд євро; перехід нижче ІПм у трансформаційному сценарії
Після введення потужностей: рефінансування	Погашення дорогого боргу, зменшення гарантій, ринкове фінансування стабільних активів	Облігації, комерційні кредити, інституційний капітал, доходи від off-take	Заміщення публічної підтримки приватним ресурсом і вивільнення гарантійної спроможності

Джерело: розроблено автором за результатами 4.1–5.1 та розрахунками табл. 5.12–5.17.

Якщо DRI–EAF залежить від довгострокового постачання електроенергії, кредитний договір пов’язується з PPA або іншим контрактом. Якщо модернізація змінює зайнятість, соціально-регіональний план 5.1 включається до умов фінансового закриття. Технічний річний графік вибірки CAPEX наведено у табл. Л.1, а його розподіл за джерелами blended finance — у табл. Л.2 додатка Л.



Рис. 5.6. Замкнений цикл фінансового супроводу та коригування інвестиційного портфеля

Джерело: розроблено автором.

Фінансовий контроль має бути побудований на ковенантах, які можна перевірити. До них належать: строк введення об'єкта; фактичний CAPEX і відхилення від кошторису; досягнутий CIt; охоплення MRV; частка верифікованої продукції; виконання умов щодо виведення або обмеження високовуглецевих потужностей; працевлаштування і перекваліфікація; виконання контрактів постачання енергії та сировини. Порушення ковенантів не завжди означає автоматичне припинення фінансування: воно запускає причинну діагностику і коригувальний план, однак систематичне невиконання або використання коштів не за призначенням має приводити до зменшення підтримки, повернення грантового компоненту чи перегляду гарантії.

Особливу увагу необхідно приділяти недопущенню подвійного обліку ефектів. Економія на вартості фінансування у цьому підрозділі є фінансовим ефектом структури капіталу. Зменшення CBAM-експозиції, збереження експорту,

зміна операційних витрат і соціально-регіональний ефект не додаються до нього у 5.2, щоб не сформувати завищений результат. Їх сукупне зіставлення з витратами публічної підтримки має бути виконане у підрозділі 5.3 на основі єдиної бази сценаріїв 4.1, діагностики 3.3 та фактичних даних про фінансування.

Повна розрахункова база таблиць 5.12–5.17 подана у додатках Ж–Л. У табл. Ж.1–Ж.4 наведено статуси даних, реєстр джерел, вихідні сценарні параметри та коефіцієнти CAPEX; у табл. И.1–И.5 — проміжні розрахунки технологічних потужностей, нижньої, центральної і верхньої оцінок CAPEX та місток між 2030 і 2035 рр.; у табл. К.1–К.5 — структуру blended finance, базову і портфельну C_CAPEX, чутливість фінансової економії та структуру мобілізованого ресурсу; у табл. Л.1–Л.4 — щорічний графік вибірки коштів, розподіл за джерелами, річний еквівалент економії і контроль підсумкових результатів. Таким чином, кожне підсумкове значення підрозділу має відтворюваний ланцюг від вихідного параметра до проміжного добутку і контрольної суми.

Запропоноване забезпечення не підміняє корпоративні інвестиційні рішення та не передбачає централізованого розподілу всього капіталу. Держава й міжнародні партнери формують правила, гарантійну спроможність і суспільну інфраструктуру; підприємства несуть технологічний та операційний ризик, вкладають власний капітал і виконують ковенанти; фінансові установи оцінюють кредитоспроможність і структурують борг; громади й працівники беруть участь у соціально-регіональних угодах; покупці низьковуглецевої сталі зменшують ринковий ризик через контракти попиту.

Отже, фінансово-інвестиційне забезпечення низьковуглецевої трансформації металургійної галузі сформовано як поетапний портфель blended finance, що поєднує сценарний розрахунок CAPEX, послідовний відбір проєктів, гранти, пільгові кредити, гарантії, ринковий борг, власний капітал і контракти попиту. Центральний сценарно-модульний розрахунок визначає потребу у 4,028 млрд євро до 2030 р. і 7,863 млрд євро кумулятивно до 2035 р., а портфельна структура знижує ефективну вартість фінансування з 13,436 до 7,823%. Ці

результати є перевірюваними сценарними орієнтирами, а не офіційним прогнозом або кошторисом. Наступний підрозділ має об’єднати фінансовий портфель з організаційно-економічним партнерством держави, бізнесу, громад і міжнародних інституцій та оцінити сукупний ефект реалізації запропонованого механізму. Повна арифметична простежуваність сценарних оцінок забезпечена розрахунковими додатками Ж–Л, на які зроблено посилання у відповідних частинах підрозділу.

5.3. Організаційно-економічний механізм партнерської реалізації низьковуглецевої трансформації металургійної галузі

Підрозділи 2.3–5.2 послідовно сформували методичну, технологічну, управлінську, інформаційну, соціально-регіональну та фінансово-інвестиційну основу низьковуглецевої трансформації металургійної галузі. Однак наявність сценарію, координаційної платформи, MRV-архітектури, територіальних планів і портфеля blended finance ще не гарантує реалізації. Завершальним завданням є перетворення цих елементів на практичний порядок спільних дій, у якому кожний проєкт має визначених учасників, ресурси, зобов’язання, розподіл ризиків, договірні умови, контрольні показники та наслідки невиконання. [33; 109–110; 121; 126; 201; 212; 222; 229; 235; 265–266; 306; 312; 320; 352; 366; 374]

Проблема партнерської реалізації має галузевий характер. Низьковуглецевий металургійний проєкт залежить не лише від рішення власника установки, а й від доступу до електромереж, низьковуглецевої електроенергії, брухту або DRI-сировини, довгострокового боргу, гарантій воєнного ризику, дозволів, верифікованих даних, контрактів попиту та програм справедливого переходу. Якщо хоча б один критичний компонент не синхронізовано з календарем основної інвестиції, технічно підготовлений актив може виявитися фінансово або інфраструктурно нездійсненним. [201; 212; 222; 229; 235; 265–266; 306; 312; 320; 352; 374]

Організаційно-економічний механізм партнерської реалізації низьковуглецевої трансформації металургійної галузі у цьому дослідженні визначено як упорядковану систему відбору, договірного структурування, ресурсного забезпечення, реалізації, контролю і коригування взаємопов'язаних галузевих проєктів, у межах якої держава, металургійний бізнес, інфраструктурні оператори, міжнародні фінансові організації, банки, інвестори, громади, працівники, освітні та верифікаційні організації приймають диференційовані зобов'язання, несуть погоджену відповідальність і отримують підтримку пропорційно підтвердженому внеску у технологічний, кліматичний, економічний та соціально-регіональний результат. [33; 109–110; 121; 126; 201; 212; 222; 229; 235; 265–266; 306; 312; 320; 352; 366; 374]

Науковий результат підрозділу полягає в удосконаленні організаційно-економічного забезпечення низьковуглецевої трансформації металургійної галузі шляхом формування авторського партнерського механізму, який інтегрує послідовні гейти добору проєктів без штучного інтегрального індексу, багатосторонню партнерську угоду, адресний розподіл шести груп ризиків, портфельне поєднання публічних і приватних ресурсів, замкнений проєктний цикл та систему умовного надання, призупинення, перегляду і повернення підтримки. Відмінною ознакою є зв'язок кожного договору і фінансового інструменту з показниками CIt, технологічною структурою, MRV-готовністю, CBAM-експозицією, соціально-регіональними зобов'язаннями та контрольними точками 2030 і 2035 рр. [33; 109–110; 121; 126; 201; 212; 222; 229; 265–266; 306; 312; 352; 374].

Архітектоніка на рис. 5.7 побудована за принципом функціональної достатності. Верхній рівень формує обов'язкові вхідні умови; центральне ядро перетворює їх на партнерський портфель і багатосторонні угоди; нижній рівень забезпечує проєктну реалізацію та контроль. Механізм не створює єдиного надвідомчого оператора, який підміняє компетенції учасників. Координаційна платформа виконує функції реєстру, синхронізації, підготовки рішень і контролю

виконання, тоді як юридичні, фінансові, дозвільні та корпоративні рішення приймаються уповноваженими сторонами у межах їх компетенції.

Таблиця 5.19

Функціональне розмежування елементів наскрізної логіки дослідження

Підрозділ	Функція	Основний продукт	Роль у партнерській реалізації
2.3	Методика галузевого зонально-сценарного регулювання	Правила даних, індикативний коридор ІПм–ІПо, зони і сценарна процедура	Методична сумісність усіх наступних рішень
4.1	Технологічний сценарний портфель	Маршрути, потужності, CIt, випуск, абсолютні викиди, MRV-охоплення	Визначення того, що саме має бути модернізовано
4.2	Стейкхолдерно-координована модель	Рівні координації, функції та відповідальність груп учасників	Визначення суб’єктів і порядку узгодження
4.3	MRV та ESG-контур	Єдині визначення, паспорти, реєстри, верифікація і доступ до даних	Доказовість рішення та зворотний зв’язок
5.1	Соціально-регіональне забезпечення	Територіальні плани, навчання, зайнятість, мобільність, диверсифікація	Соціальна прийнятність і справедливий перехід
5.2	Фінансово-інвестиційне забезпечення	CAPEX, blended finance, C_CAPEX, ковенанти і календар мобілізації	Фінансова здійсненність портфеля
5.3	Партнерський механізм реалізації	Добір, угода, ризик-шеринг, проєктний цикл, KPI, санкції та коригування	Перетворення попередніх результатів на виконуваний портфель

Джерело: систематизовано автором за результатами підрозділів 2.3, 4.1–4.3 і 5.1–5.2.

Розподіл у табл. 5.20 базується на принципі керованості ризику: сторона отримує обов’язок у тій частині, на яку вона має повноваження, інформацію або інструмент впливу. Воєнний ризик не може бути повністю покладений на підприємство, а технологічна неготовність — перекладена на гарантійну установу. Так само громада не відповідає за корпоративний CAPEX, але повинна забезпечити достовірність локальних даних, участь заінтересованих сторін і включення погоджених заходів до документів відновлення та розвитку.

Таблиця 5.19 унеможливлює дублювання попередніх результатів. Підрозділ 5.3 не формує новий технологічний сценарій, не замінює управлінську модель 4.2 і не повторює розрахунок CAPEX 5.2. Його предметом є механізм виконання: як проєкти проходять від галузевого сценарію до юридично закріпленого партнерства, як ресурси та ризики розподіляються між сторонами, за яких умов підтримка продовжується і яким чином фактичні результати повертаються до перегляду портфеля.

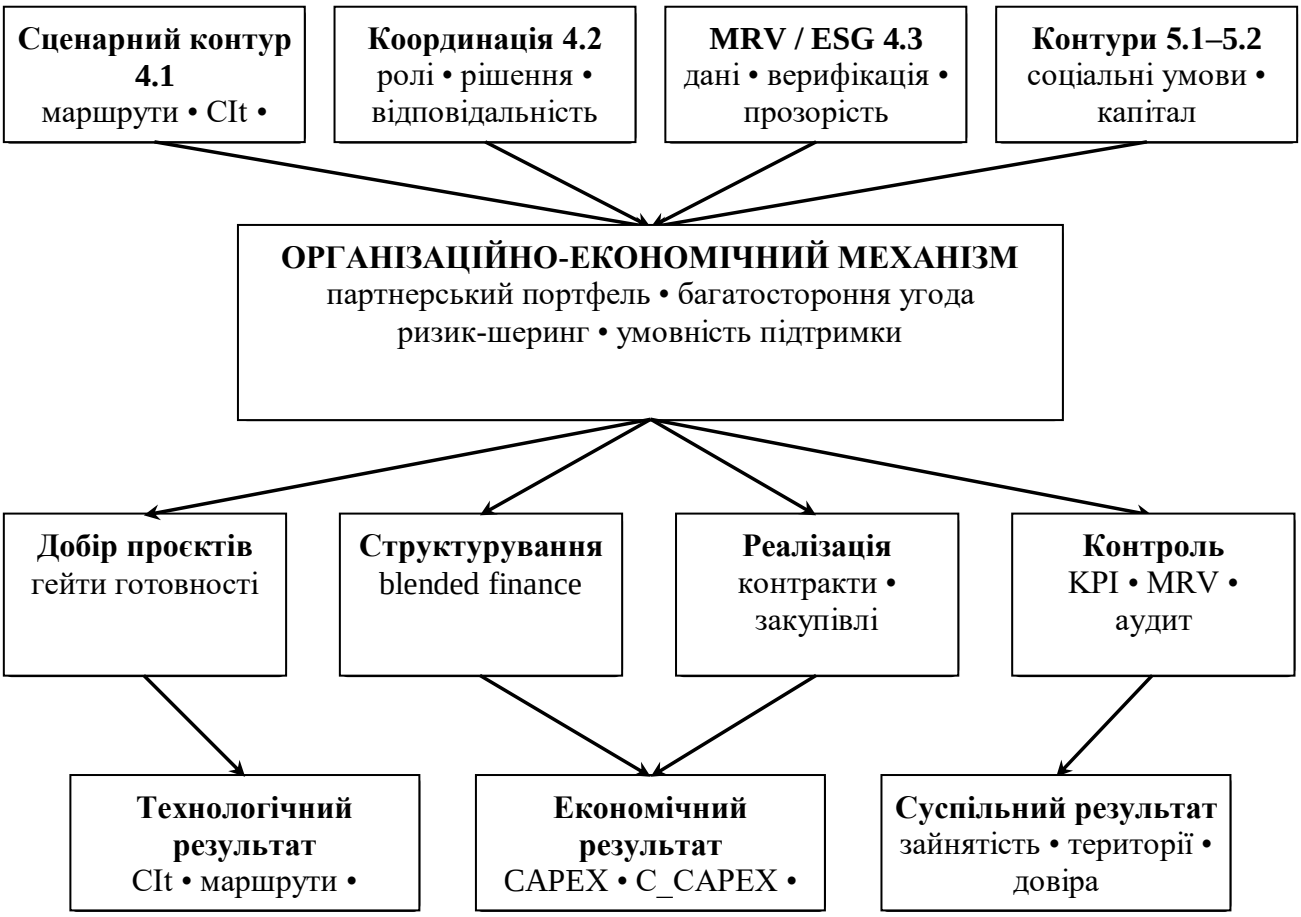


Рис. 5.7. Архітектоніка організаційно-економічного механізму партнерської реалізації низьковуглецевої трансформації металургійної галузі

Джерело: розроблено автором за результатами підрозділів 2.3, 4.1–4.3 та 5.1–5.2.

Добір проєктів здійснюється не шляхом підсумовування різнорідних балів, а через послідовність обов’язкових гейтів. Проєкт не компенсує відсутність достовірного MRV високим очікуваним скороченням викидів, а невизначена інфраструктура не перекривається додатковим грантом. На кожному етапі

формується документований висновок: допуск, повернення на доопрацювання, умовний допуск або відхилення. Це зберігає видимість критичних ризиків і запобігає маніпулюванню вагами інтегрального індексу.

Таблиця 5.20

Ресурси, зобов’язання, відповідальність і результати учасників партнерського механізму

Учасник	Ресурси	Ключові зобов’язання	Зона відповідальності	Очікуваний результат
1	2	3	4	5
Держава та уповноважені органи	Нормативні повноваження; державна підтримка; гарантійні та інфраструктурні програми	Стабільні правила; своєчасні дозволи; критерії додатковості; доступ до програм за виконання KPI	Правомірність рішень; цільове використання публічних ресурсів; міжвідомча координація	Зниження регуляторної та інфраструктурної невизначеності
Металургійні підприємства / проєктні компанії	Власний капітал; активи; технологічні дані; управлінська спроможність	Підготовка ТЕО; співфінансування; закупівлі; виконання CIt, MRV і соціальних умов	Строки, бюджет, технічні параметри, достовірність первинних даних	Введені потужності та конкурентоспроможний низьковуглецевий продукт
Енергетичні, транспортні й сировинні оператори	Мережі; потужності; довгострокові контракти; логістична інформація	Резервування і введення інфраструктури за узгодженим календарем	Доступність приєднання, постачання і пропускної спроможності	Синхронізоване забезпечення EAF, DRI–EAF і H_2-ready маршрутів
МФО, банки, гарантійні установи та інвестори	Гранти; кредити; гарантії; капітал; технічна допомога	Due diligence; довгострокове фінансування; ризик-шеринг; контроль ковенантів	Фінансова дисципліна, прозорі умови, пропорційність вимог	Банківська прийнятність і зниження C_CAPEX
Громади, регіональні органи, служба зайнятості	Територіальні дані; інфраструктурні повноваження; програми зайнятості	Територіальний план; консультації; навчання; мобільність; місцеві проєкти	Доказове визначення потреб і публічний контроль результатів	Зниження соціально-регіональних втрат і диверсифікація

Продовження табл. 5.20

1	2	3	4	5
Працівники, профспілки, заклади освіти і науки	Професійні компетентності; соціальний діалог; освітні програми; дослідження	Участь у паспорті проєкту; навчання під підтверджений попит; незалежна експертиза	Якість програм, представництво інтересів і верифікація соціальних результатів	Оновлення людського капіталу і легітимність переходу
Верифікатори, технічні аудитори та покупці сталі	Незалежна перевірка; продуктові вимоги; довгостроковий попит	Верифікація даних; контроль технічних етапів; оффтейк / зелені закупівлі	Незалежність, компетентність і виконання контрактних умов	Доказовість результату та ринкова монетизація нижчої вуглецеємності

Джерело: розроблено автором з урахуванням стейкхолдерної моделі 4.2, MRV/ESG-контуру 4.3 та принципів участі й додатковості [33; 109–110; 121; 126; 201; 212; 222; 229; 235; 265–266; 306; 312; 320; 352; 366; 374].

Проєктний цикл на рис. 5.8 є повторюваним, а не лінійним. Рішення про коригування може повертати проєкт до ТЕО, фінансового структурування або перегляду угоди. При цьому попередні версії даних і рішень не видаляються: у галузевому реєстрі зберігається журнал змін, що дає змогу відокремити об’єктивне уточнення сценарію від необґрунтованого послаблення зобов’язань.

Багатостороння партнерська угода є центральним договірним інструментом механізму. Вона не замінює кредитний договір, інвестиційний контракт, договір приєднання, колективну угоду або контракт закупівлі. Її призначення — зв’язати ці документи єдиними контрольними точками, базовими значеннями, залежностями і правилами реагування. Для проєктів різного масштабу угода може оформлюватися як рамкова угода з пакетами двосторонніх договорів або як координаційний додаток до договору державної підтримки.

Матриця 5.23 фіксує, що передача ризику має межі. Гарантія може покривати частину кредитного або воєнного ризику, але не повинна компенсувати відсутність ТЕО, власного внеску або плану моніторингу. Грант фінансує додаткові суспільні результати, підготовку, інноваційний розрив або інфраструктуру спільного користування, а не приховану операційну збитковість активу без перспективи технологічної життєздатності.

Таблиця 5.21

Етапи добору проєктів до партнерського портфеля

Етап	Обов'язкова умова	Контрольний документ	Рішення
1. Сценарна сумісність	Проєкт прямо пов'язаний із маршрутом і потужністю 4.1; відсутній carbon lock-in; визначено вплив на CIt	Паспорт відповідності сценарію	Допуск до передінвестиційної підготовки
2. Технологічна готовність	Обраний маршрут, межі проєкту, сировина, енергія, альтернативи і план НДТМ описані у ТЕО	Попереднє / повне ТЕО; незалежний технічний висновок	Допуск або повернення на уточнення
3. Інфраструктурна здійсненність	Підтверджені точки приєднання, строки мереж, логістика, брухт / DRI-сировина, резервні рішення	Листи операторів; інфраструктурний графік	Умовний допуск із критичними залежностями
4. MRV і CBAM-готовність	Визначені межі установки і продукту, методи, джерела даних, верифікатор, цифровий паспорт	План моніторингу; карта даних; план верифікації	Допуск до фінансового структурування
5. Соціально-регіональна готовність	Оцінені професійні зміни, групи ризику, навчання, мобільність, підрядники і територіальні наслідки	Соціально-кліматичний паспорт; територіальна угода	Допуск із соціальними умовами
6. Фінансова прийнятність	Визначені CAPEX, джерела, власний внесок, ризики, ковенанти, чутливість і потреба в підтримці	Фінансова модель; term sheet; висновок due diligence	Рекомендація щодо структури blended finance
7. Договірна завершеність	Ролі, ризики, KPI, строки, санкції, права на дані та порядок змін погоджені сторонами	Багатостороння партнерська угода	Включення до затвердженого портфеля
8. Готовність до реалізації	Дозволи, закупівлі, фінансове закриття, календар введення і базові значення KPI підтверджені	Рішення про фінансове закриття	Початок реалізації та вибірки коштів

Джерело: розроблено автором шляхом інтеграції процедур 4.1–5.2; гейти не агрегуються в єдиний індекс.

Фінансовий контур партнерського механізму спирається на центральні сценарні оцінки 5.2: 4,028 млрд євро до 2030 р. і 7,863 млрд євро кумулятивно до 2035 р. Структура не змінює вихідний CAPEX, а розподіляє його між інструментами відповідно до функції: гранти і технічна допомога — 10%, власний капітал — 20%, пільгові кредити МФО — 30%, кредити з гарантіями — 25%,

transition-облігації або довгий ринковий борг — 15%. Повна арифметична розгортка наведена у табл. Н.1–Н.3 додатка Н.

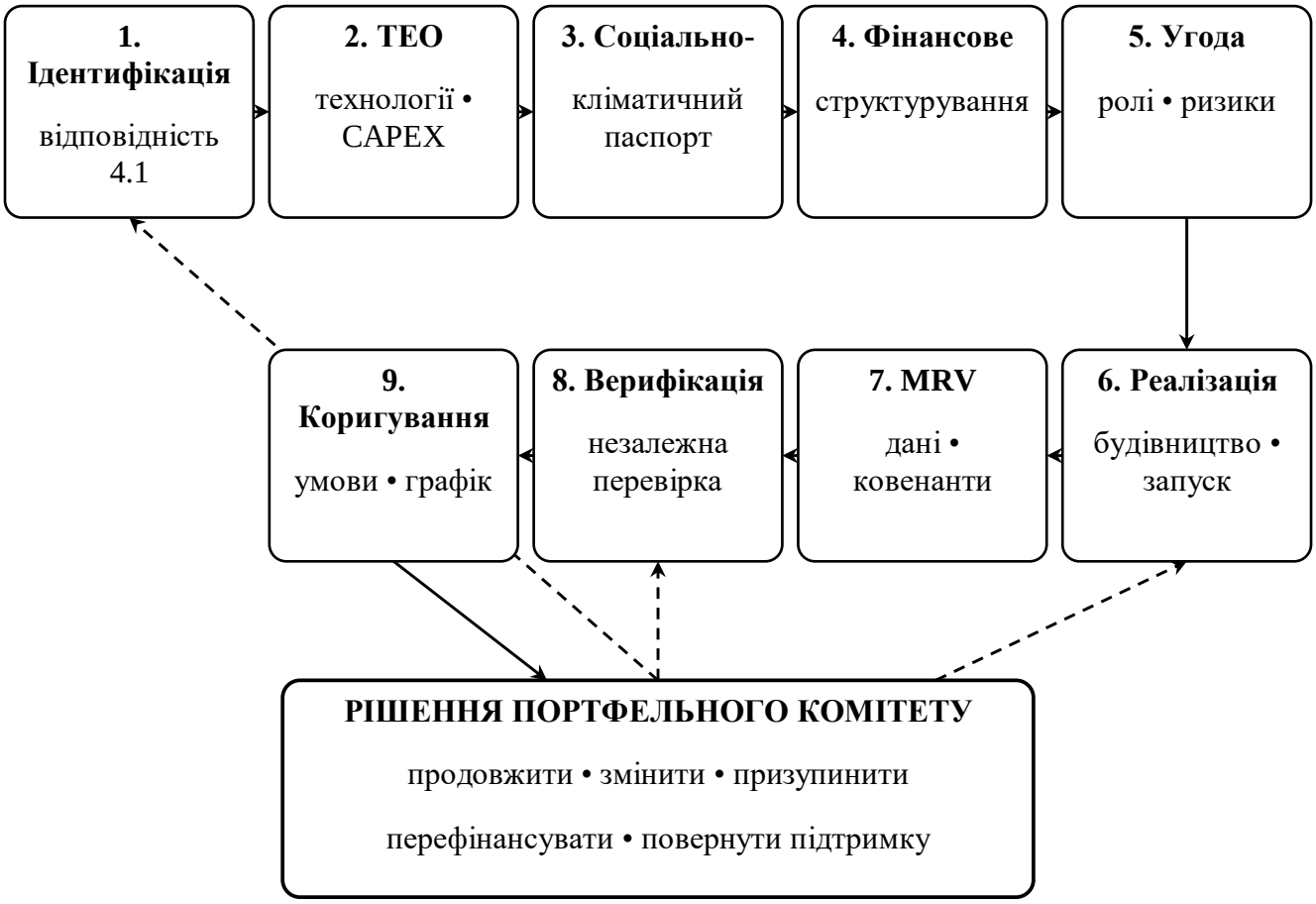


Рис. 5.8. Проєктний цикл партнерської реалізації низьковуглецевої трансформації металургійної галузі

Джерело: розроблено автором за логікою проєктного відбору, MRV-контролю та умовності підтримки [33; 109–110; 121; 126; 201; 212; 222; 229; 235; 265–266; 306; 312; 320; 352; 366; 374].

Публічну підтримку для коефіцієнта мобілізації визначено як гранти і пільгові кредити МФО — разом 40% портфеля. Приватний і ринковий капітал охоплює власний капітал, гарантовані кредити та transition-облігації — 60%. Отже, на 1 євро такого каталітичного ресурсу припадає 1,5 євро приватного і ринкового капіталу, а загальний CAPEX становить 2,5 євро. Показник не є

бюджетним мультиплікатором, оскільки кредит МФО підлягає поверненню, а гарантія створює умовне, а не автоматичне бюджетне зобов'язання.

Таблиця 5.22

Матриця багатосторонньої партнерської угоди

Розділ угоди	Обов'язковий зміст	Управлінське призначення
Предмет і межі	Технологічний модуль, інфраструктурні та соціальні компоненти, межі установки і продукту	Однакове розуміння об'єкта підтримки
Базові параметри	CIt, випуск, маршрут, CAPEX, MRV-охоплення, зайнятість, календар і статус даних	Вихідна точка для контролю змін
Внески сторін	Кошти, активи, гарантії, мережеві потужності, дані, навчання, дозволи, оффтейк	Підтвердження додатковості та взаємозалежності
Матриця ризиків	Власник, співвласники, інструмент пом'якшення, тригер, ліміт відповідальності	Недопущення невизначених або подвійно застрахованих ризиків
Фінансові умови	Графік вибірки, ковенанти, резерви, порядок зміни ставки, гарантії та transition-облігації	Синхронізація капіталу з готовністю проєкту
MRV і права на дані	Первинні джерела, верифікація, рівні доступу, конфіденційність, цифровий паспорт	Доказовість без розкриття комерційної таємниці понад необхідне
Соціально-регіональні умови	Раннє повідомлення, навчання, працевлаштування, мобільність, підрядники, скарги	Справедливий перехід як умова реалізації
Контрольні точки і KPI	Проміжні та фінальні значення, допустимі відхилення, строк усунення	Пропорційне реагування на відхилення
Зміни, форс-мажор і воєнні події	Порядок перегляду календаря, бюджету, технічного рішення і страхового покриття	Стійкість угоди без автоматичного списання відповідальності
Призупинення, повернення і спори	Підстави, процедура, сума повернення, права кредиторів, медіація / арбітраж	Захист публічного ресурсу та безперервності критичних робіт

Джерело: розроблено автором з урахуванням принципів stakeholder engagement, blended finance, transition finance та MRV [33; 109–110; 121; 126; 201; 212; 222; 229; 235; 265–266; 306; 312; 320; 352; 366; 374].

Потенційне скорочення CBAM-експозиції оцінюється окремо від фінансової економії. Воно показує грошовий масштаб зменшення вуглецевої маси експонованого потоку за заданої ціни та нормативної частки фінансового введення, але не визначає фактичну кількість сертифікатів і не враховує продуктові бенчмарки, actual/default values, безоплатний розподіл за конкретним товаром або вуглецеву ціну, сплачену в Україні.

Таблиця 5.23

Розподіл ризиків у партнерському механізмі

Група ризику	Прояв	Основний носій	Інструмент розподілу / пом'якшення	Тригер перегляду
Технологічний	Невідповідність параметрів; затримка введення; неготовність H_2/DRI; перевитрата CAPEX	Проєктна компанія; постачальники обладнання; технічний радник	Гарантії виконання; поетапні виплати; незалежний аудит; резерв CAPEX	Підтверджений технічний дефект або системне відхилення CIt
Фінансовий	Висока ставка; рефінансування; валютний ризик; нестача власного внеску	Підприємство, банки, МФО, гарантійна установа	Blended finance; хеджування; резерв ліквідності; ковенанти; step-in rights	Порушення debt service / equity commitment
Регуляторний	Зміна дозволів, CBAM, таксономії, державної підтримки або тарифів	Держава в межах повноважень; проєктна компанія щодо compliance	Стабілізаційні та change-in-law положення; регулярний правовий перегляд	Нормативна зміна з матеріальним впливом
Інфраструктурний	Неготовність мереж, електроенергії, газу/водню, логістики або брухту	Відповідний оператор і проєктна компанія за межами інтерфейсу	Угоди про приєднання; synchronized milestones; резервний маршрут	Пропуск контрольного строку критичної інфраструктури
Соціальний	Невідповідність компетентностей; вивільнення; конфлікт із громадою; вплив на підрядників	Роботодавець, держава, громада, профспілки, служба зайнятості	Соціально-кліматичний паспорт; навчання; діалог; механізм скарг	Зростання групи ризику без плану працевлаштування
Воєнний і безпековий	Руйнування; перерва енергопостачання; блокування логістики; мобілізаційні обмеження	Держава, міжнародні гарантійні / страхові механізми, підприємство	Страхування / гарантії; резервні майданчики; фізична безпека; contingency plan	Офіційно підтверджена подія, що перешкоджає виконанню

Джерело: розроблено автором за принципом розміщення ризику у сторони, здатної ним управляти; воєнний ризик не прирівнюється до звичайного комерційного ризику.

Для галузевого аналізу застосовано залежність:

$$\Delta CBAM^{P}_{t} = Q^{EU}_{t} \times (CI_{2025} - CI_{t}) \times P_{t} \times S_{t} \qquad (5.3)$$

де $\Delta CBAM^{P}_{t}$ — потенційне скорочення CBAM-експозиції, млн євро; Q^{EU}_{t} — заданий EU-експонований обсяг, млн т; CI_{2025} і CI_t — базова та сценарна вуглецеємність, т CO_2-екв./т; P_t — ціна вуглецю, євро/т CO_2; S_t — нормативна частка фінансового введення CBAM. Для 2030 р. S_t = 48,5%, для 2035 р. — 100%. За представницького обсягу 3,0 млн т і ціни 80 євро/т потенційне скорочення становить 75,194 млн євро у 2030 р. та 256,440 млн євро у 2035 р. Повна чутливість за обсягами 2,0; 3,0; 4,0 млн т і цінами 60; 80; 100 євро наведена у табл. Р.2–Р.4 додатка Р. [201; 212; 266; 352]

Таблиця 5.24

Кількісні параметри партнерського фінансування та мобілізації капіталу

Показник	Частка, %	2030 р.	2035 р.	Статус / інтерпретація
Гранти і технічна допомога	10,0	0,403	0,786	S — сценарна структура 5.2
Власний капітал підприємств / партнерів	20,0	0,806	1,573	S — сценарна структура 5.2
Пільгові кредити МФО	30,0	1,208	2,359	S — сценарна структура 5.2
Кредити з гарантіями	25,0	1,007	1,966	S — сценарна структура 5.2
Transition-облігації / довгий ринковий борг	15,0	0,604	1,179	S — сценарна структура 5.2
Поворотний капітал, млрд євро	90,0	3,625	7,077	Усі джерела, крім грантів
Неповоротний ресурс, млрд євро	10,0	0,403	0,786	Гранти і технічна допомога
Загальний CAPEX на 1 євро гранту, євро	—	10,000	10,000	Структурний коефіцієнт, не фіскальний мультиплікатор
Приватний і ринковий капітал на 1 євро публічної підтримки, євро	—	1,500	1,500	60% / 40%; гарантія не прирівнюється до бюджетної витрати
Річний еквівалент зменшення C_CAPEX, млн євро/рік	—	226,1	441,4	За повністю мобілізованого портфеля

Джерело: розраховано автором за центральним CAPEX і структурою blended finance підрозділу 5.2; проміжні дії наведено у додатках Н, П і С.

Річний еквівалент зменшення вартості фінансування визначається як добуток обсягу вибраного портфеля на різницю між базовою та портфельною C_CAPEX:

$$E^{f}_{t} = CAPEX_{t} \times (C^{base} - C^{port}) \qquad (5.4)$$

Таблиця 5.25

Зведені кількісні результати партнерського механізму у 2030 і 2035 рр.

Показник	2030 р.	2035 р.	Правило інтерпретації
Випуск сталі, млн т	11,000	15,000	Сценарний масштаб виробництва 4.1; не додається до фінансових ефектів
CIt, т CO_2-екв./т	1,3750	0,9525	Питомий технологічний результат
Зменшення CIt відносно 2025 р., т CO_2-екв./т	0,6460	1,0685	Відносно: 31,96% і 52,87%
Абсолютні викиди, млн т CO_2-екв.	15,1250	14,2875	Фактичний сценарний добуток Q × CIt
Зміна абсолютних викидів від 2025 р., млн т CO_2-екв.	+0,1494	-0,6881	У 2030 р. абсолютне скорочення ще не досягнуте; у 2035 р. — зменшення
Умовно уникнені викиди порівняно з випуском за CIt 2025 р., млн т CO_2-екв.	7,1060	16,0275	Контрфактичний показник; не дорівнює зміні абсолютних викидів
Частка низьковуглецевих маршрутів, %	50,0	70,0	Структурний результат
MRV-охоплення, %	95,0	100,0	Інформаційна готовність
Центральний кумулятивний CAPEX, млрд євро	4,028	7,863	Фінансова умова реалізації, а не економічний ефект
Портфельна C_CAPEX, %	7,823	7,823	Сценарна ефективна вартість фінансування
Річний еквівалент зменшення C_CAPEX, млн євро/рік	226,1	441,4	Окремий фінансовий канал
Потенційне скорочення CBAM-експозиції за QEU = 3 млн т і P = 80 євро, млн євро	75,194	256,440	Сценарна чутливість, не гарантована економія
Мінімальна ваучерна потреба для модулів 500 / 1000 / 2000 працівників, млн грн	16,640 / 33,280 / 66,560	16,640 / 33,280 / 66,560	Нижня межа; інші соціальні витрати визначаються фактично

Джерело: розраховано автором за фінальним трансформаційним сценарієм 4.1, соціальними модулями 5.1, фінансовою моделлю 5.2 та додатками М–С до підрозділу 5.3.

За різниці 5,613 в.п. повністю мобілізований портфель 2030 р. формує річний еквівалент 226,1 млн євро, а портфель 2035 р. — 441,4 млн євро. Це не гарантована економія і не дисконтований NPV: фактичний результат залежить від графіка вибірки, строку користування, погашення, рефінансування, частки боргу

й капіталу та виконання ковенантів. Чутливість до використання 25, 50, 75 і 100% портфеля подана у табл. С.2 додатка С.

Таблиця 5.26

Дорожня карта партнерської реалізації у 2026–2035 рр.

Етап	Ключові дії	Контрольний результат	Домінуючі ризики
2026–2027 рр. — запуск і підготовка	Затвердити правила портфеля і типову угоду; сформувати реєстр проєктів; завершити маршрутні дані й плани MRV; підготувати ТЕО; визначити соціально-кліматичні паспорти; структурувати перші гарантії та гранти	Портфель із пріоритетами; типові договори; проєкти, готові до фінансового закриття; кумулятивний CAPEX 0,604 млрд євро	Неповні дані; воєнні події; затримка дозволів і гарантій
2028–2030 рр. — інвестиційне розгортання	Фінансове закриття основних модулів; модернізація BF–BOF; масштабування scrap-EAF і DRI–EAF; введення інфраструктури; запуск transition-облігацій; виконання територіальних планів	CAPEX 4,028 млрд євро; CIt 1,3750; 50% низьковуглецевих маршрутів; MRV 95%; потенційне скорочення CBAM-експозиції	Інфляція CAPEX; дефіцит енергії; невідповідність графіків інфраструктури
2031–2035 рр. — масштабування і заміщення	Розширити DRI–EAF і H_2-ready; довести MRV до повного охоплення; рефінансувати зрілі активи ринковим капіталом; переглянути соціальні програми; зменшити частку інших процесів	CAPEX 7,863 млрд євро; CIt 0,9525; 70% низьковуглецевих маршрутів; MRV 100%; абсолютні викиди 14,2875 млн т	Технологічна і воднева невизначеність; попит; довгострокова безпека і людський капітал

Джерело: розроблено автором на основі щорічної розгортки сценарію 4.1 і CAPEX підрозділу 5.2; деталізацію за роками наведено у додатку У.

Зведення у табл. 5.25 показує, що відновлення випуску і декарбонізація мають оцінюватися одночасно. У 2030 р. випуск зростає до 11,0 млн т, CIt зменшується на 31,96%, але абсолютні викиди на 0,1494 млн т перевищують базу 2025 р. Лише до 2035 р. за випуску 15,0 млн т абсолютні викиди зменшуються на 0,6881 млн т. Умовно уникнені 7,1060 і 16,0275 млн т CO_2-екв. характеризують контрфактичний обсяг, якого вдалося б уникнути порівняно з виробництвом того самого тоннажу за CIt 2025 р.; він не підсумовується зі зміною фактичних абсолютних викидів.

Таблиця 5.27

Система KPI та порядок реагування на відхилення

Група KPI	Показники	Періодичність	Відповідальний	Послідовність реагування
Технологічні	CIt; частка низьковуглецевих маршрутів; введена потужність; готовність інфраструктури	Квартально / за milestone	Проєктна компанія; технічний аудитор	Коригувальний план → призупинення вибірки → перегляд технології
Фінансові	CAPEX; частка власного внеску; C_CAPEX; debt service; мобілізований приватний капітал	Щомісяця / квартально	Фінансовий агент; кредитори	Резерв → waiver / реструктуризація → step-in / припинення підтримки
MRV і CBAM	MRV-охоплення; частка продукту з фактичним CI; статус верифікації; журнал якості даних	Щокварталу / щороку	Оператор; верифікатор; адміністратор реєстру	Виправлення даних → незалежна перевірка → зупинка результативних виплат
Соціально-регіональні	Працівники групи ризику; охоплення навчанням; завершення; працевлаштування; скарги; мобільність	Щокварталу	Роботодавець; служба зайнятості; громада; профспілки	Оновлення плану → додаткові заходи → призупинення соціально обумовленої частини підтримки
Екологічні та дозвільні	Виконання умов інтегрованого дозволу; ресурсо- та енергоефективність; аварійні події	За дозволом / негайно для подій	Оператор; уповноважений орган	Припис → коригування → зупинка робіт / повернення підтримки за істотного порушення
Портфельні	Внесок проєкту у контрольні точки 2030/2035; залежності; концентрація ризику; доступність фінансування	Піврічно / щороку	Портфельний комітет	Перепріоритизація → перенесення ресурсів → виключення з портфеля

Джерело: розроблено автором; KPI не агрегуються у єдиний індекс, а критичні порушення не можуть бути компенсовані позитивними показниками іншої групи.

Підтримка призупиняється, якщо порушення є істотним, підтвердженим і не усунутим у погоджений строк; переглядається, якщо зміна спричинена об’єктивною регуляторною, інфраструктурною або воєнною подією; повертається повністю або пропорційно, якщо встановлено нецільове використання, недостовірність даних, приховану зміну предмета проєкту, невиконання власного

внеску або системне порушення умов після надання можливості виправлення. Рішення повинно бути мотивованим, зафіксованим у реєстрі і враховувати безпеку активу, права працівників та інтереси кредиторів.

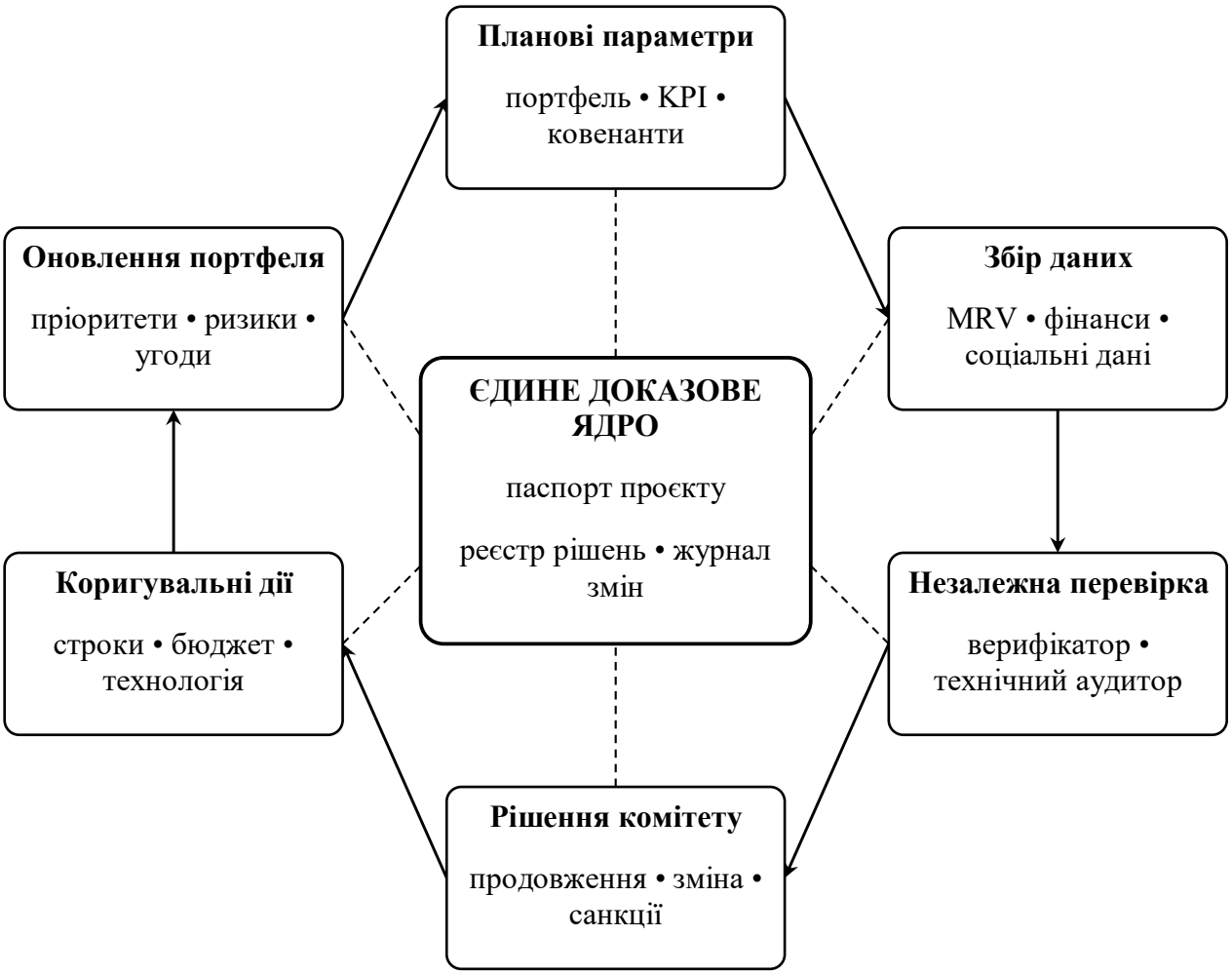


Рис. 5.9. Замкнений цикл контролю і коригування партнерського портфеля

Джерело: розроблено автором за принципами одноразового збирання даних, незалежної верифікації та умовності підтримки.

Замкнений цикл на рис. 5.9 забезпечує перехід від контролю витрат до контролю результату. Єдине доказове ядро містить базову версію паспорта, фактичні дані, звіти верифікаторів, рішення портфельного комітету і журнал змін. Таким чином, коригування не руйнує простежуваність: кожна нова ціль має посилання на причину, рішення, джерело даних і вплив на фінансові та соціальні умови.

Таблиця 5.28

Матриця недопущення подвійного рахунку результатів партнерського механізму

Показник	Тип	Перше / контрольне місце розрахунку	Правило недопущення подвійного рахунку
Зменшення CIt	Прямий технологічний результат	4.1; табл. 5.25; М.1, У.2	Не додається до абсолютних або умовно уникнених викидів; використовується як питомий показник
Зміна абсолютних викидів	Прямий екологічний результат за фактичним сценарним випуском	4.1; табл. 5.25; У.2	Порівнюється окремо з 2025 р.; у 2030 р. не є скороченням
Умовно уникнені викиди	Контрфактичний екологічний показник	4.1; табл. 5.25; М.2	Не підсумовується зі зміною абсолютних викидів або CBAM-експозицією
CAPEX	Фінансова умова реалізації	5.2; табл. 5.24–5.25; Н.1, У.1	Не є вигодою або економією; не додається до жодного ефекту
Зменшення C_CAPEX	Фінансовий ефект структурування	5.2; табл. 5.24–5.25; С.1–С.2	Не додається до CBAM-експозиції; залежить від вибірки і структури капіталу
Потенційне скорочення CBAM-експозиції	Регуляторно-ринкова експозиція	3.3; табл. 5.25; Р.1–Р.4	Не є гарантованою економією, платежем або NPV; не додається до C_CAPEX
Гранти і публічна підтримка	Каталітичний ресурс	5.2; табл. 5.24; Н.1, П.1	Гарантія не прирівнюється до бюджетної витрати; кредит МФО є поворотним
Соціально-регіональні потреби	Витрати / потреба супроводу	5.1; табл. 5.25; Т.1–Т.2	Не трактуються як економічна вигода; невідомі компоненти позначаються н/д
MRV-охоплення	Інформаційна умова і результат готовності	4.3; табл. 5.25, 5.27; У.2	Не конвертується автоматично у грошовий ефект; запобігає помилковим даним

Джерело: розроблено автором; повну контрольну матрицю формул, вихідних даних і перетинів наведено у додатку Ф.

Отже, авторський організаційно-економічний механізм партнерської реалізації низьковуглецевої трансформації металургійної галузі завершує наскрізну логіку дисертації, переводячи методику, сценарії, координацію, MRV, справедливий перехід і blended finance у виконуваний проєктний цикл. Механізм

ґрунтується на послідовних гейтах, багатосторонній угоді, адресному ризик-шерингу, доказовому контролі та пропорційних наслідках невиконання.

Кількісна апробація показує, що за центрального портфеля 4,028 млрд євро до 2030 р. і 7,863 млрд євро до 2035 р. грантова частка 10% мобілізує десятикратний загальний обсяг фінансування, а співвідношення приватного і ринкового капіталу до публічної каталітичної підтримки становить 1,5:1. Зниження C_CAPEX з 13,436 до 7,823% відповідає річному еквіваленту 226,1 та 441,4 млн євро за повністю мобілізованого портфеля, але потребує окремої інтерпретації від екологічних і регуляторних результатів.

Трансформаційний сценарій забезпечує зниження CIt до 1,3750 т CO_2-екв./т у 2030 р. і 0,9525 т CO_2-екв./т у 2035 р. За зростання випуску до 11,0 і 15,0 млн т це дозволяє утримати абсолютні викиди поблизу бази у 2030 р. та зменшити їх до 14,2875 млн т CO_2-екв. у 2035 р. Потенційне скорочення CBAM-експозиції за заданих параметрів є окремим сценарним каналом і не може подаватися як гарантована економія.

Практичне значення механізму полягає у можливості використання його як основи для галузевого реєстру проєктів, типової багатосторонньої угоди, умов державної та міжнародної підтримки, процедур due diligence, договорів із громадами і працівниками, а також щорічного перегляду портфеля до 2035 р. Повна арифметична простежуваність кількісних результатів забезпечена додатками М–Ф до підрозділу 5.3.

Висновки до розділу 5

1. У розділі справедливий перехід визначено як превентивну складову технологічного та інвестиційного рішення. Соціально-регіональні наслідки мають оцінюватися до затвердження проєкту, а територіальні плани повинні поєднувати зайнятість, професійні компетентності, диверсифікацію місцевої економіки, інфраструктуру та соціальний діалог.

Розроблено модульний підхід до оцінювання потреб у перекваліфікації, який дозволяє прив’язувати підтримку до підтвердженого попиту на професії та масштабувати її для різної кількості працівників без створення умовного інтегрального індексу.

2. Сформовано фінансово-інвестиційне забезпечення галузевого портфеля. Сценарна потреба у капіталі становить 4,028 млрд євро до 2030 року та 7,863 млрд євро до 2035 року. Поєднання грантів, власного капіталу, пільгових кредитів, гарантій і перехідних облігацій знижує ефективну вартість фінансування з 13,436 до 7,823 відсотка.

Запропоновано організаційно-економічний механізм партнерської реалізації, який визначає правила добору проєктів, багатосторонню угоду, розподіл ризиків, фінансову структуру, проєктний цикл, систему показників, дорожню карту та процедури коригування.

3. Сукупні результати механізму розмежовано за екологічним, фінансовим, експортно-регуляторним і соціально-регіональним контурами. Це запобігає методично некоректному підсумовуванню різнорідних ефектів і забезпечує доказову оцінку виконання партнерських зобов’язань.

Завершення наскрізної логіки дослідження полягає у переході від методики та діагностики до сценарного портфеля, стейкхолдерної координації, доказової інфраструктури, справедливого переходу, фінансового структурування і партнерської реалізації.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення та запропоновано нове вирішення наукової проблеми формування теоретико-методологічних і організаційно-економічних засад управління сталим розвитком металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації національної економіки. Одержані результати забезпечили послідовний перехід від розвитку теоретичного базису й авторської методики до фактичної діагностики, технологічного сценарного портфеля, моделі координації, інституційного, інформаційного, соціального та фінансового забезпечення і партнерської реалізації. Результати проведеного дослідження дозволяють сформулювати такі висновки:

1. За результатами еволюційного аналізу наукових підходів до сталого розвитку металургійної галузі встановлено кумулятивний характер зміни управлінської парадигми: природоохоронний контроль поступово доповнювався ресурсозбереженням, екоефективністю, промисловою екологією, циркулярністю, управлінням соціотехнічними переходами та кліматичною сумісністю. Обґрунтовано, що сучасне розуміння сталості металургії не може обмежуватися дотриманням екологічних нормативів або корпоративною модернізацією, оскільки охоплює структуру виробництва, енергетичну й сировинну базу, ресурсні потоки, зовнішньоторговельні умови, доступ до капіталу, зайнятість і стан промислових територій. Уточнено зміст сталого розвитку металургійної галузі як керованого процесу відтворення її виробничого потенціалу, за якого економічна результативність і технологічне оновлення поєднуються зі скороченням питомих та абсолютних викидів, ресурсною ефективністю, доказовістю результатів і соціально-регіональною стійкістю. Таке трактування формує теоретичну основу переходу від управління окремим підприємством до управління структурними пропорціями галузі в системі національного господарства.

2. Доведено, що енергетичний перехід у металургійній галузі має складніший зміст, ніж заміна одного виду палива іншим або локальне підвищення енергоефективності. Вуглець у традиційних маршрутах виконує не лише енергетичну, а й технологічну функцію, тому глибоке скорочення викидів потребує перебудови виробничої архітектури, розширення електросталеплавильного виробництва, використання прямовідновленої сировини, низьковуглецевої електроенергії, якісного металобрухту, нової інфраструктури та цифрового обліку. Встановлено економічний зв’язок енергетичного переходу з конкурентоспроможністю: технологічний маршрут і походження енергії впливають на собівартість, доступ до зовнішніх ринків, умови фінансування, строк експлуатації активів, попит на професійні компетентності та стійкість територій. Обґрунтовано необхідність перевірки кожного відновлювального рішення на сумісність із довгостроковою низьковуглецевою траєкторією, оскільки відтворення вуглецеємних потужностей здатне сформувати тривалу технологічну й фінансову залежність, а передчасне виведення активів без підготовленої інфраструктури створює виробничі та соціальні розриви.

3. Систематизовано інструменти регулювання вуглецеємності металургійної галузі та доведено, що їх результативність визначається не кількістю окремих заходів, а комплементарністю сформованого пакета. Нормативні вимоги встановлюють мінімальні правила й межі відповідальності; моніторинг, звітність і верифікація створюють доказову основу; економічні та фіскальні інструменти змінюють співвідношення витрат бездіяльності й модернізації; фінансові механізми знижують ризик і вартість довгострокового капіталу; інфраструктурні рішення забезпечують доступ до енергії, сировини та логістики; інструменти попиту підтримують збут низьковуглецевої продукції; соціальні заходи запобігають некерованим наслідкам структурної зміни. Запропоновано пов’язувати вибір інструментів із природою бар’єру та рівнем готовності переходу, що дозволяє уникати ситуації, коли ціновий сигнал застосовується за відсутності мережевої потужності, технологічної альтернативи, довгострокового

фінансування або соціально прийнятного плану. Такий підхід поєднує промислову, кліматичну, енергетичну, інвестиційну й регіональну політику в єдину систему керованого впливу.

4. Обґрунтовано економіко-технологічний потенціал низьковуглецевого розвитку металургійної галузі як сукупну здатність виробничих, технологічних, енергетичних, сировинних, інвестиційних, інформаційних, інституційних і кадрових складових забезпечувати відновлення й розвиток випуску за одночасного скорочення вуглецеємності та підвищення ринкової стійкості. Розмежовано виробничий потенціал, який характеризує можливість випуску за наявного складу активів, і трансформаційний потенціал, що відображає здатність змінювати технологічні маршрути, інтегрувати нові джерела енергії, забезпечувати доказовість даних і переводити рішення у фінансово закриті проєкти. Також виокремлено наявний, мобілізований і реалізований стани потенціалу, завдяки чому формальна наявність ресурсу не ототожнюється з його практичною готовністю до використання. Встановлено, що для України визначальним є не механічне відновлення довоєнної структури, а перетворення збереженої сировинної бази, інженерних компетентностей, енергетичних можливостей і близькості до європейського ринку на узгоджений портфель проєктів, інфраструктури, фінансування та програм розвитку людського капіталу.

5. Сформовано мотиваційний і обмежувальний індикативні показники питомих викидів парникових газів, які утворюють регуляторний коридор галузевого порівняльного оцінювання. Доведено, що мотиваційний показник має використовуватися як орієнтир для пріоритетного доступу до державної та міжнародної підтримки, оскільки він відображає здатність технологічного рішення наближати галузь до низьковуглецевого лідерства. Обмежувальний показник виконує функцію раннього попередження і визначає межу, перевищення якої потребує підготовки плану скорочення вуглецеємності, підвищення якості даних, технологічного обґрунтування подальшої експлуатації активу та посиленої регуляторної уваги. На відміну від єдиного середнього еталона, регуляторний

коридор дозволяє розмежувати виробництва, що потребують підтримки лідерства, керованої адаптації, структурної модернізації або усунення інформаційної невизначеності. Це створює прозорий зв’язок між фактичним результатом, інвестиційними пріоритетами, інтегрованими довкіллєвими дозволами, умовами фінансування і вимогами зовнішніх ринків.

6. Розроблено методику галузевого зонально-сценарного регулювання вуглецеємності металургії, що забезпечує послідовне перетворення неоднорідної інформації на диференційований управлінський пакет. Методика передбачає визначення меж оцінювання, формування інформаційної бази з фіксацією статусу кожного показника, сегментацію випуску за технологічними маршрутами, розрахунок середньозваженої галузевої вуглецеємності, зіставлення з індикативним коридором, розподіл виробництва за регуляторними зонами, встановлення причин відхилення, діагностику зовнішньоторговельної вразливості та сценарне переоцінювання можливих змін. Доведено, що методика не підмінює корпоративні техніко-економічні розрахунки і юридичне визначення вбудованих викидів конкретної продукції, а виконує функцію державного й галузевого планування. Її застосування дозволяє зберігати простежуваність від вихідного джерела до управлінського рішення, формально відокремлювати невизначеність від факту та коригувати інструменти підтримки залежно від реальної зміни технологічної структури, якості даних і соціально-регіональних наслідків.

7. За результатами аналізу виробничо-технологічного стану металургійної галузі України встановлено глибокий воєнний структурний розрив, що проявляється у втраті частини активів і логістичних зв’язків, нерівномірному відновленні випуску, високій залежності від традиційних вуглецеємних процесів та неповноті відкритих даних щодо викидів, енергоспоживання, інвестицій і зайнятості за технологічними маршрутами. Доведено необхідність розмежовувати фактичний випуск, технологічну структуру, паспортну спроможність і трансформаційну готовність, оскільки збільшення тоннажу без зміни маршрутів відтворює вуглецеву й експортну вразливість, а скорочення виробництва не є

доказом технологічної декарбонізації. Сформовано правила інформаційної дисципліни, за якими фактичні й офіційні значення не змішуються з авторськими оцінками та сценарними припущеннями, а прогалини відкрито визначаються як зона невизначеності. Такий підхід створює надійну емпіричну основу для оцінювання галузевого вуглецевого профілю, зовнішньоторговельних ризиків і сценарного портфеля модернізації.

8. Оцінено галузевий вуглецевий профіль металургії України та обґрунтовано необхідність одночасного аналізу питомих і абсолютних викидів. Встановлено, що скорочення сукупних викидів унаслідок втрати виробничих потужностей або недовантаження агрегатів не свідчить про технологічний прогрес, тоді як питома вуглецеємність може погіршуватися через зміну співвідношення чавуну і сталі, структури маршрутів, завантаження активів або використання менш ефективних процесів. Розмежовано офіційний інвентаризаційний контур, гармонізований технологічний контур і продуктовий контур, оскільки вони мають різні межі, призначення та правила консолідації. На цій основі визначено розрив галузі щодо траєкторії досягнення нульових чистих викидів як структурну, а не суто статистичну проблему. Обґрунтовано, що скорочення такого розриву потребує зміни технологічних ваг, низьковуглецевої енергетики, ресурсної ефективності, достовірного обліку та інвестиційної послідовності, а не лише встановлення віддаленої декларативної цілі.

9. Проведено діагностику вразливості металургійної галузі України до механізму вуглецевого коригування імпорту та доведено її багатоконтурний характер. Вразливість формується не лише вартістю майбутніх вуглецевих зобов’язань, а взаємодією обсягу експорту, технологічного маршруту, вбудованих викидів, якості продуктових даних, своєчасності верифікації, контрактних умов, довіри покупців, доступності фінансування і соціально-регіональної залежності від металургійного виробництва. Розмежовано офіційно-правовий контур, який визначає зобов’язання щодо конкретного товару й установки, та авторський галузевий контур, призначений для оцінювання масштабу економічного ризику й

формування державної політики. Встановлено, що зменшення експорту не може розглядатися як належна адаптація, оскільки погіршує виробничу, фінансову та соціальну стійкість. Цільова реакція має поєднувати зниження вуглецеємності, підвищення продуктової простежуваності, незалежну верифікацію, довгострокове фінансування та підтримку структурної адаптації промислових територій.

10. Обґрунтовано технологічну модернізацію металургійного виробництва як керований портфельний процес зміни виробничої, енергетичної, ресурсної та цифрової структури галузі. Доведено, що для України недоцільними є як механічне відновлення високовуглецевих потужностей, так і одномоментне виведення наявних активів без підготовлених мереж, сировинної бази, фінансування та програм справедливого переходу. Сформовано портфель, який поєднує операційну й матеріальну ефективність, найкращі доступні технології та методи управління, розширення електросталеплавильного виробництва, пряме відновлення заліза, воднево готові рішення, низьковуглецеву електроенергію, розвиток брухтової інфраструктури, цифровий облік і використання технологій уловлювання викидів для окремих залишкових процесів. Сценарний підхід визначає послідовність переходу від невідкладної адаптації та підготовки даних до структурної модернізації і глибокої трансформації, а кожне рішення оцінюється за його сумісністю з майбутньою структурою галузі, доступністю ресурсів, економічною життєздатністю та соціальною прийнятністю.

11. Розроблено стейкхолдерно-координовану модель управління сталим розвитком металургійної галузі, яка переводить взаємодію заінтересованих сторін із консультаційного формату в систему розподілених функцій і відповідальності. Держава формує нормативні правила, індикативні орієнтири, інфраструктурні пріоритети й умови підтримки; підприємства готують і реалізують технологічні проєкти, надають первинні дані та несуть операційний ризик; енергетичний і сировинний сектори забезпечують ресурсну сумісність; фінансові установи структурують капітал і контролюють виконання умов; громади, працівники й освітні організації формують соціальну прийнятність і кадрову спроможність;

покупці та міжнародні партнери підтримують попит, фінансування і зовнішню довіру. Встановлено, що об’єктом координації є не окреме підприємство, а структура й відтворення всієї галузі. Замкнений зворотний зв’язок за фактичними технологічними, кліматичними, інвестиційними й соціальними результатами забезпечує перегляд портфеля та запобігає збереженню підтримки для рішень, які не створюють структурного ефекту.

12. Удосконалено інформаційно-аналітичне забезпечення управління низьковуглецевою трансформацією металургійної галузі шляхом формування інтегрованої доказової інфраструктури. Обґрунтовано принцип одноразового збирання та багаторазового контрольованого використання даних, за якого первинна інформація фіксується у місці виникнення, проходить автоматизовані й експертні перевірки, отримує статус якості, зберігає простежуваність до джерела та лише після цього використовується для державного моніторингу, продуктового декларування, звітності зі сталого розвитку, галузевого порівняння і фінансових умов. Розмежовано національний, установчий, продуктовий та корпоративний контури обліку, що запобігає механічному перенесенню показників із різними межами й призначенням. Запропоновано цифровий кліматично-ресурсний паспорт металопродукції як контрольоване представлення даних про маршрут, енергію, сировину, викиди та верифікацію. Така інфраструктура знижує інформаційну асиметрію, підвищує довіру покупців та інвесторів і забезпечує доказовий зворотний зв’язок для коригування галузевої політики.

13. Обґрунтовано інституційне та соціально-регіональне забезпечення справедливого переходу металургійної галузі як невід’ємну складову управління структурною трансформацією, а не компенсаційний захід після закриття активів. Встановлено, що зміна технологічних маршрутів впливає на структуру зайнятості, попит на професії, доходи територій, суміжний бізнес, інфраструктуру й доступність соціальних послуг, тому соціальні наслідки мають оцінюватися до затвердження технологічного та фінансового рішення. Запропоновано формувати профіль залежності металургійної території, систему раннього попередження,

програми перекваліфікації й мобільності, заходи підтримки місцевого підприємництва, соціальний діалог і територіальний план справедливого переходу, узгоджений із регіональною стратегією та програмою відновлення. Доведено доцільність визначення потреб за фактичними групами працівників і ризиками, а не через умовний інтегральний показник. Такий підхід дозволяє поєднати скорочення вуглецеємності зі збереженням людського капіталу, гідною працею, економічною диверсифікацією та спроможністю промислових територій підтримувати довгострокову модернізацію.

14. Розроблено фінансово-інвестиційне забезпечення низьковуглецевої трансформації металургійної галузі, у якому об’єктом фінансування є взаємопов’язаний галузевий портфель технологічних, енергетичних, цифрових, логістичних і соціальних проєктів. Обґрунтовано необхідність поєднання власного капіталу підприємств, комерційного боргу, пільгових кредитів міжнародних фінансових організацій, грантів, гарантій, облігацій перехідного фінансування, податкових стимулів і довгострокових контрактів попиту. Запропоновано послідовний відбір проєктів за стратегічною відповідністю, технологічним результатом, якістю даних, ресурсною та інфраструктурною готовністю, соціально-регіональним супроводом, фінансовою додатковістю й системою контрольних умов. Встановлено, що публічна підтримка має не заміщувати приватний капітал, а знижувати ризики, які не можуть бути прийнятно розподілені ринком, і поступово скорочуватися в міру підвищення зрілості проєкту. Пов’язання фінансових траншів із верифікованим технологічним, кліматичним та соціальним результатом створює умови для здешевлення капіталу без послаблення відповідальності учасників.

15. Сформовано організаційно-економічний механізм партнерської реалізації низьковуглецевої трансформації металургійної галузі, який завершує наскрізну логіку дисертаційного дослідження. Механізм поєднує галузеву координаційну платформу, порядок добору проєктів до партнерського портфеля, соціально-кліматичний паспорт, техніко-економічне обґрунтування, фінансове

структурування, багатосторонню угоду, розподіл технологічних, регуляторних, фінансових, інфраструктурних, соціальних і воєнних ризиків, реалізацію, моніторинг, незалежну верифікацію та коригування. Визначено, що держава й міжнародні партнери створюють правила, гарантійну спроможність та суспільну інфраструктуру; підприємства забезпечують проєктну підготовку, власний внесок і виробниче впровадження; фінансові установи здійснюють оцінювання та контроль; громади й працівники беруть участь у соціально-регіональних зобов’язаннях; покупці знижують ринковий ризик через довгостроковий попит. Сукупні результати механізму мають оцінюватися окремо за екологічним, економічним, інвестиційним, торговельним і соціальним напрямами без механічного підсумовування різнорідних ефектів, що забезпечує достовірність оцінювання та можливість регулярного перегляду партнерського портфеля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алексін Г. О. ESG Due Diligence в задачах повоєнного відновлення України. Сталий розвиток економіки. 2024. № 4(51). С. 215-222. DOI: https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-51-31

2. Андріяш В., Верба С. Теоретичні підходи до змісту та сутності поняття «корпоративна соціальна відповідальність». Наукові праці МАУП. 2023. № 2(68). С. 7-11. DOI: https://doi.org/10.32689/2523-4625-2023-2(68)-1

3. Ареф'єв С. О., Лелеченко А. П., Ареф'єва О. В., Петровська С. В. Транспарентність процесного підходу до формування інформаційно-логістичного забезпечення підприємств в умовах просторово-циркулярної економіки. Бізнес Інформ. 2024. № 5. С. 208-219. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-5-208-219

4. Артемов В., Бахчеван Е., Бочко О. Циркулярна економіка - виклик сучасності. Економіка та суспільство. 2023. Вип. 58. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-58-17 URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/3276

5. Архипенко Т. А., Іванова М. Організація ланцюгів постачання металургійної промисловості з урахуванням змін зовнішньоекономічної діяльності. Економіка та суспільство. 2025. Вип. 72. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-72-151 URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/5793

6. Бабаченко О. І., Нестеров О. С., Гармаш Л. І. Декарбонізація та енергетична криза. Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. 2022. Вип. 36. С. 35-48. DOI: https://doi.org/10.52150/2522-9117-2022-36-35-48 URL: https://jnas.nbuv.gov.ua/j-pdf/Ftpp_2022_36_5.pdf

7. Бездєтко К. С., Серьогіна Д. О. Сталий розвиток: еволюція підходів до визначення та сучасні інтерпретації. Економіка та суспільство. 2025. № 76. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-76-4

8. Березовська Н. І., Новак У. П. Сталий розвиток як основа підвищення конкурентоспроможності економіки України. Green Economy and Post-War Recovery: collective monograph. Riga: Baltija Publishing, 2024. DOI: https://doi.org/10.36059/978-966-397-448-4-2

9. Бондаренко Л., Блавт А. Акценти інвестування у сталий розвиток на принципах ESG в умовах воєнного стану в Україні. Економіка та суспільство. 2024. Вип. 59. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-48 URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/3417

10. Боровик Ю. Т., Єлагін Ю. В., Полякова О. М. «Зелена економіка»: сутність, принципи, перспективи для України. Вісник економіки транспорту і промисловості. 2020. № 69. С. 75-83. DOI: https://doi.org/10.18664/338.47:338.45.v0i69.200551

11. Братусь Г. А. Парадигмальний підхід до управління інтелектуальною власністю в системі науково-технічного розвитку. Ефективна економіка. 2018. № 4. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8211

12. Братусь Г. А. Управління інтелектуальною власністю: особливості теорії та методології. Ефективна економіка. 2017. № 8. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8201

13. Будько О. В., Галатов Б. М. Особливості нормативно-правового регулювання корпоративної соціальної відповідальності підприємств. Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. 2020. № 17. С. 100-104. DOI: https://doi.org/10.32841/2413-2675/2020-43-15

14. Букреєва Д. С., Денисенко К. В. Соціальна відповідальність бізнесу як основа забезпечення ділової активності підприємств: євроінтеграційний аспект. Економіка та суспільство. 2022. Вип. 38. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-38-52

15. Білокінна І. Зелена економіка як вимога часу та основа успішного післявоєнного відновлення країни. Вісник Хмельницького національного

університету. Серія: Економічні науки. 2023. № 2. С. 79-88. DOI: https://doi.org/10.31891/2307-5740-2023-316-2-12

16. Варченко О. М., Федірець О. В., Єгорова О. В., Лазебник Л. Л., Чернюк С. В. «Зелені фінанси» в повоєнному відновленні України: інституційні засади та інструменти розвитку. Фінансово-кредитна діяльність: проблеми теорії і практики. 2024. Т. 3. № 56. DOI: https://doi.org/10.55643/fcaptp.3.56.2024.4403

17. Венгер В. В., Романовська Н. І., Чижевська М. Б. Тенденції та вектори розвитку металургійної галузі України. Агросвіт. 2022. № 4. С. 37-47. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6792.2022.4.37

18. Венгерська Н. Формування зеленої корпоративної культури підприємств сталеварної промисловості в контексті смартизації та декарбонізації виробництва. Економіка та суспільство. 2023. Вип. 56. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-102 URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/3050

19. Вовченко О. ESG-стратегія як основа управління ризиками сталого розвитку в банках. Економіка та суспільство. 2023. № 50. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-50-85

20. Глущенко А. В. Особливості реалізації зеленого курсу в країнах ЄС на прикладі Румунії та Польщі: уроки для України. Економічний простір. 2024. № 192. С. 82-86. DOI: https://doi.org/10.30838/EP.192.82-86

21. Глущенко А. М. Декарбонізація металургії: роль економічної політики держави. Проблеми економіки. 2020. № 1. С. 340-347. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-0712-2020-1-340-347 URL: https://www.problecon.com/article/?abstract=2020_1_0_340_347&year=2020

22. Гнедіна К., Сорока А. Декарбонізація економіки як чинник забезпечення кліматично нейтрального майбутнього: сучасні виклики і перспективи в Україні та світі. Економіка та суспільство. 2023. Вип. 54. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-54-76 URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2804

23. Головчак Г. Оцінка ефективності ESG-звітності як інструменту прозорості бізнесу в умовах глобалізації. Економіка та суспільство. 2024. Вип. 67. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-67-28

24. Горбач Л. М., Рубан О. О., Гуменюк Я. М. Зелена економіка та стале виробництво в умовах глобалізації. Економіка та суспільство. 2024. Вип. 59. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-8 URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/3338

25. Гордєєва-Герасимова Л. Ю. Функціонування підприємств металургійної галузі України: поточні виклики та тенденції діяльності. Економіка та суспільство. 2022. Вип. 44. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-44-40 URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1812

26. Гречко А. В., Кавтиш О. П., Корогодова О. О. ESG-практики як передумова ефективного управління міжнародними проєктами підприємств. Бізнес Інформ. 2024. № 8. С. 293-302. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-8-293-302 URL: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2024-8_0-pages-293_302.pdf

27. Гурочкіна В. В. Циркулярна економіка: українські реалії та можливості для промислових підприємств. Економічний вісник. Серія: фінанси, облік, оподаткування. 2020. № 5. С. 52-64. DOI: https://doi.org/10.33244/2617-5932.5.2020.52-64

28. Даценко А. М. Аналіз сучасного стану металургійної галузі України. Економіка та суспільство. 2024. Вип. 68. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-68-105 URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/4973

29. Даценко А. М. Вплив «CBAM» на розвиток та конкурентоспроможність металургійної галузі України. Економіка та суспільство. 2024. Вип. 70. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-70-99 URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/5361

30. Даценко А. М. Особливості адаптації металургії України до механізму транскордонного вуглецевого регулювання. Здобутки економіки: перспективи та інновації. 2025. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.15220994

31. Державна митна служба України. Статистика зовнішньої торгівлі товарами. URL: https://customs.gov.ua/statistika-ta-reiestri

32. Державна податкова служба України. Базова ставка податку на прибуток підприємств. URL: https://tax.gov.ua/nk/spisok3/

33. Державна служба зайнятості. Ваучер на навчання: максимальна вартість у 2026 році - 33 280 грн. URL: https://www.dcz.gov.ua/profnavch/voucher

34. Державна служба статистики України. Виробництво промислової продукції за видами в Україні. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/

35. Державна служба статистики України. Економічна статистика промисловості та зовнішньої торгівлі. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/

36. Державна служба статистики України. КВЕД-2010. Секція С. Переробна промисловість. Розділ 24. Металургійне виробництво. URL: https://kved.ukrstat.gov.ua/KVED2010/24/KVED10_24.html

37. Державна служба статистики України. Методологічні положення щодо розрахунку індексу промислової продукції: наказ від 16.03.2020 № 61. URL: https://ukrstat.gov.ua/norm_doc/2020/61/61.pdf

38. Деякі питання розроблення регіональних стратегій розвитку і планів заходів з їх реалізації: постанова Кабінету Міністрів України від 28.01.2026 № 81. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/81-2026-%D0%BF

39. ДСТУ ISO 14064-1:2015. Парникові гази. Частина 1. Вимоги та настанови щодо кількісного визначення та звітності про викиди та видалення парникових газів на рівні організації. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64120

40. Зварич Р. Є. Управління відходами в циркулярній економіці. Бізнес Інформ. 2021. № 4. С. 148-153. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-4-148-

153 URL: https://business-inform.net/export_pdf/business-inform-2021-4_0-pages-148_153.pdf

41. Зеленін Ю.М. Аналіз досвіду формування державної політики розвитку металургії у високорозвинених індустріальних країнах. Інвестиції: практика та досвід. 2025. № 5. С. 102-106. URL: https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/article/view/5882

42. Зеленін Ю.М. Аналіз проблем та можливостей розвитку металургії. Інвестиції: практика та досвід. 2025. № 4. С. 49-53. URL: https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/issue/view/203

43. Зеленін Ю.М. Екологізація розвитку металургійного комплексу України. Синергія освіти, науки та бізнесу в епоху глобальних трансформацій: збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції, м. Чернігів, 27 лютого 2025 р. Чернігів: ГО «Науково-освітній інноваційний центр суспільних трансформацій», 2025. С. 157-158. URL: Google Scholar

44. Зеленін Ю.М. Екологізація розвитку металургії. Інноваційне підприємництво: стан та перспективи розвитку: збірник матеріалів X Міжнародної науково-практичної конференції. Київ: КНЕУ, 2025. С. 163-166. URL: https://drive.google.com/file/d/1wX-qZ1GBBevOqD7lr4jY_AF-KpqSHktZ/view?usp=sharing

45. Зеленін Ю. М. Економічний взаємозв’язок між технологічною трансформацією у металургії та природним капіталом. Ефективна економіка. 2024. № 11. URL: https://www.nayka.com.ua/index.php/ee/article/view/5092/5136

46. Зеленін Ю.М. Ключові засади формування нової економічної політики розвитку металургії. Інвестиції: практика та досвід. 2024. № 21. С. 109-113. URL: https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/article/view/4942

47. Зеленін Ю. М. Концептуальні засади механізму регулювання вуглецеємності в чорній металургії. Social Development and Security. 2026. Vol. 16. № 2. С. 320-329. DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2026.16.2.26

48. Зеленін Ю.М. Концепція економічного розвитку металургії на основі переходу до найкращих доступних технологій. Review of transport economics and management. Дніпро: Український державний університет науки і технологій, 2024. Вип. 12 (28). С. 50-54. URL: https://pte.ust.edu.ua/issue/view/18710

49. Зеленін Ю.М. Методичні підходи до оцінки вуглецеємності для металургії з використанням розроблених індикативних показників питомих викидів парникових газів. Міждисциплінарні дослідження в галузі науки, інновацій та суспільного розвитку / за заг. ред. Є.Г. Карташова. Прага: Publishing house Education and Science s.r.o., 2025. С. 137-182. URL: Google Scholar

50. Зеленін Ю.М. Методичні підходи до оцінки результативності ресурсної ефективності металургії. Інвестиції: практика та досвід. 2024. № 24. С. 69-72. URL: https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/article/view/5292

51. Зеленін Ю.М. Механізм вуглецевого коригування імпорту металопродукції в країни ЄС. Сучасні тенденції та суперечності розвитку світової економіки та бізнесу: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції за міжнародною участю, м. Київ, 25 січня 2022 р. Київ: Міжрегіональна Академія управління персоналом, 2022. С. 138-141. URL: Google Scholar

52. Зеленін Ю.М. Механізми оптимізації витрат у металургії. Гуманітарний дискурс суспільних проблем: минуле, сучасне, майбутнє: матеріали XXV Всеукраїнської наукової конференції з міжнародною участю, м. Черкаси, 25 квітня 2025 р. Черкаси: НУЦЗ, 2025. С. 419-420. URL: Google Scholar

53. Зеленін Ю. М. Напрями стратегічного планування у системі підвищення ресурсної ефективності металургії. Ефективна економіка. 2025. № 2. URL: https://www.nayka.com.ua/index.php/ee/article/view/5795/5850

54. Зеленін Ю.М. Негативні фактори впливу на український ринок продукції металургії. Теоретико-практичні засади управління, економіки та природокористування: аспекти реінтеграції Криму в господарський комплекс

України: матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 14 листопада 2024 р. Одеса: Олді+, 2024. С. 364-367. URL: Google Scholar

55. Зеленін Ю. М. Нова дескриптивна модель екологічної політики розвитку металургії. Ефективна економіка. 2024. № 12. URL: https://www.nayka.com.ua/index.php/ee/article/view/5364/5417

56. Зеленін Ю.М. Організаційно-економічний механізм ресурсного забезпечення стійкого розвитку металургії. Сучасні виклики та сталий розвиток економіки і бізнесу: матеріали І Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Запоріжжя, 10 грудня 2024 р. Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. С. 97-99. URL: Google Scholar

57. Зеленін Ю. М. Особливості сталого розвитку металургії в умовах енергопереходу. Інвестиції: практика та досвід. 2025. № 23. С. 129-133. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.23.129

58. Зеленін Ю.М. Прискорення процесу декарбонізації металургійних підприємств України. Стратегічні пріоритети розвитку підприємництва, торгівлі та біржової діяльності: матеріали ІІІ Міжнародної науково-практичної конференції, Запоріжжя, 11-12 травня 2022 р. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. С. 308-310. URL: Google Scholar

59. Зеленін Ю. М. Пріоритетні напрями взаємодії України та ЄС у галузі чорної металургії. Ефективна економіка. 2025. № 12. DOI: https://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.12.53

60. Зеленін Ю.М. Розвиток інституційних підходів в металургії з урахуванням доступу до якісних ресурсів. Інноваційні методи управління економікою в умовах цифровізації бізнесу: збірник матеріалів ІІ Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 10 жовтня 2024 р. Київ: Міжрегіональна Академія управління персоналом, 2024. С. 206-208. URL: Google Scholar

61. Зеленін Ю.М. Сталий розвиток та політика розвитку металургії: теоретико-методологічні підходи до встановлення кореляційних зв'язків.

Київський економічний науковий журнал. 2024. № 7. С. 79-82. URL: https://journals.kymu.kyiv.ua/index.php/economy/article/view/186

62. Зеленін Ю.М. Стійкий розвиток металургії у контексті становлення економіки замкнутого циклу. Інвестиції: практика та досвід. 2024. № 22. С. 97-100. URL: https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/article/view/5001

63. Зеленін Ю.М. Сутність та зміст економічної політики розвитку металургії. Наукові праці Міжрегіональної Академії управління персоналом. Економічні науки. 2025. № 1 (77). С. 15-19. URL: https://doi.org/10.32689/2523-4536/77-2

64. Зеленін Ю.М. Сценарії розвитку металургії в різних інституціональних умовах її діяльності. Національна безпека в умовах війни, післявоєнної відбудови та глобальних викликів XXI століття: збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, 12-13 грудня 2024 р. Житомир: Житомирська політехніка, 2024. С. 81-84. URL: Google Scholar

65. Зеленін Ю.М. Тенденції декарбонізації металургії у контексті сталого розвитку. Інвестиції: практика та досвід. 2025. № 22. С. 232-238. URL: https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.22.232

66. Зеленін Ю.М. Теоретичні основи формування стратегії модернізації металургії регіону. Актуальні проблеми та перспективи соціально-економічного розвитку регіону в умовах сучасних глобальних викликів: матеріали III Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, м. Кременчук, 30 січня 2025 р. 2025. С. 198-200. URL: Google Scholar

67. Зеленін Ю.М. Формування системи управління корпоративними знаннями в металургії. Публічне управління у сфері цивільного захисту: освіта, наука, практика: матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 27 березня 2025 р. Черкаси: НУЦЗУ, 2025. С. 223-225. URL: http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/24849/1/TezPUA2025.pdf

68. Зеленін Ю. М. Формування стратегії модернізації металургії. Ефективна економіка. 2025. № 11. DOI: https://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.11.80

69. Зеленін Ю.М. Індикативний підхід до оцінки вуглецеємності металургійного виробництва України в умовах декарбонізації. Global Scientific Horizons 2026: International Conference on Research, Innovation and Interdisciplinary Development: Proceedings of International Scientific and Practical Conference, January 21, 2026, Charles University, Prague, Czech Republic. Prague: Publishing house Education and Science s.r.o., 2026. С. 37-43. URL: Google Scholar

70. Зеленін Ю. М. Індикативні показники питомих викидів парникових газів як основа національної галузевої системи бенчмаркінгу металургії. Social Development and Security. 2026. Vol. 16. № 1. С. 506-517. DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2026.16.1.36

71. Зелінська Г. Характеристика чинників, які впливають на енергетичний перехід до сталого розвитку України. Grail of Science. 2026. № 68. С. 463-470. DOI: https://doi.org/10.36074/grail-of-science.15.05.2026.047

72. Злотнік М. Л., Ткачук Б. М. Переваги впровадження циркулярної економіки для українських підприємств в умовах воєнного стану. Економіка та суспільство. 2022. Вип. 45. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-45-36 URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1940

73. Зінчук Т., Паламарчук Т., Усюк Т. Діалектика розвитку «зеленої економіки» в умовах глобалізації. Економіка та суспільство. 2022. Вип. 44. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-44-86 URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1860

74. Кабінет Міністрів України. План Ukraine Facility. 2024. URL: https://www.ukrainefacility.me.gov.ua/

75. Кабінет Міністрів України. Про схвалення Національного плану з енергетики та клімату на період до 2030 року: розпорядження від 10.06.2026 № 562-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/562-2026-%D1%80

76. Капустян В. О., Паранич А. Г. Стратегічне моделювання енергетичних концепцій. Grail of Science. 2021. № 10. С. 34-37. DOI: https://doi.org/10.36074/grail-of-science.19.11.2021.002

77. Карнаушенко А. С. Розвиток ринку зелених облігацій у контексті глобальної стратегії сталого розвитку та переходу до циркулярної економіки. Проблеми сучасних трансформацій. Серія: економіка та управління. 2024. № 16. DOI: https://doi.org/10.54929/2786-5738-2024-16-06-01

78. Карчева Г. Т. Зелена економіка та її роль у повоєнному забезпеченні сталого розвитку соціально-економічних систем. Green Economy and Post-War Recovery: collective monograph. Riga: Baltija Publishing, 2024. DOI: https://doi.org/10.36059/978-966-397-448-4-18

79. Ковалишин В. ESG-підхід у формуванні регіональної моделі сталого розвитку. Сталий розвиток економіки. 2026. № 58. DOI: https://doi.org/10.32782/2308-1988/2026-58-108

80. Кузнєцова К. О., Ченуша О. С., Маяцький М. В. Тренди «зеленої» економіки в контексті сталого розвитку та їх вплив на міжнародні ринки. Бізнес Інформ. 2024. № 10. С. 29-34. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-10-29-34

81. Куц Г. О., Тесленко О. І. Доповнення методичних положень визначення повної енергоємності продукції промислових виробництв. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2022. Т. 33(72). № 5. С. 244-250. DOI: https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/36

82. Кучерява М. Європейський інтеграційний вектор розвитку податкового регулювання в контексті циркулярної економіки. Фінанси України. 2025. № 4. С. 119-134. DOI: https://doi.org/10.33763/finukr2025.04.119

83. Кіотський протокол до Рамкової конвенції Організації Об’єднаних Націй про зміну клімату від 11.12.1997 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_801#Text

84. Ляховська О. В. Особливості функціонування найбільших підприємств металургійної промисловості України під час війни. Економіка та суспільство.

2023. Вип. 47. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-47-86 URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2180

85. Максимова І., Куриляк В. Диджиталізація та декарбонізація: аспекти синергії в індустріях Європейського Союзу. Економіка та суспільство. 2024. Вип. 67. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-67-157 URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/4848

86. Мироненко М. А. Розвиток металургії України в умовах глобалізаційних викликів за підсумками 2021 року. Економічний вісник Дніпровської політехніки. 2022. № 1(77). С. 109-118. DOI: https://doi.org/10.33271/ebdut/77.109

87. Муравйова І. Г., Чайка О. Л., Іванча М. Г., Корнілов Б. В., Меркулов О. Є., Нестеров О. С., Гармаш Л. І., Вишняков В. І., Щербачов В. Р., Єрмоліна К. П. Узагальнення результатів досліджень впливу збільшення вмісту водню в дутті та його розподілу за радіусом доменної печі на технологічний режим доменної плавки. Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. 2024. Вип. 38. С. 59-102. DOI: https://doi.org/10.52150/2522-9117-2024-38-59-102 URL: https://jnas.nbuv.gov.ua/j-pdf/Ftpp_2024_38_7.pdf

88. Мушникова С. А. Сучасний стан та перспективи розвитку підприємств металургійної галузі України. Вісник економіки транспорту і промисловості. 2019. № 68. С. 273-279. DOI: https://doi.org/10.18664/338.47:338.45.v0i68.189030

89. Міністерство економіки України. Національний план з енергетики та клімату на період до 2030 року. URL: https://me.gov.ua/Documents/Detail?id=17f558a7-b4b4-42ca-b662-2811f42d4a33&lang=uk-UA&title=NatsionalniiPlanZEnergetikiTaKlimatuNaPeriodDo2030-Roku

90. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Дорожня карта впровадження національної системи торгівлі квотами на викиди парникових газів. 2025. URL: https://mepr.gov.ua/uryad-zatverdyv-dorozhnyu-kartu-vprovadzhennya-natsionalnoyi-systemy-torgivli-kvotamy-na-vykydy-parnykovyh-gaziv-svitlana-grynchuk/

91. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Моніторинг, звітність та верифікація викидів парникових газів з установок. URL: https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/zmina-klimatu/monitoryng-zvitnist-ta-veryfikatsiya-vykydiv-parnykovyh-gaziv-mzv/

92. Нагара М. Б. Циркулярна економіка: генезис, структура, особливості. Економіка та держава. 2021. № 10. С. 68-73. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6806.2021.10.68

93. Національна економічна стратегія на період до 2030 року: постанова Кабінету Міністрів України від 03.03.2021 р. № 179. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#Text

94. Національно визначений внесок України до Паризької угоди (НВВ2): розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.07.2021 р. № 868-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/868-2021-%D1%80#Text

95. Олійник О., Поліщук І. Облікове забезпечення формування показників ESG-звітності відповідно до інформаційних запитів користувачів: законодавче регулювання. Економіка та суспільство. 2024. Вип. 65. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-65-13 URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/4383

96. ОП «Укрметалургпром». Показники роботи гірничо-металургійного комплексу України. URL: https://www.ukrmetprom.org/

97. ОП «Укрметалургпром». Результати діяльності металургійної галузі України за січень-грудень 2025 р. URL: https://www.ukrmetprom.org/rezultati-diyalnosti-metalurgiynoi-62/

98. ОП «Укрметалургпром». Україна у світовому металургійному виробництві за 12 місяців 2025 р. URL: https://www.ukrmetprom.org/ukraina-u-svitovomu-metalurgiynomu-v-59/

99. Павліха Н. В., Корнелюк О. А., Цимбалюк І. О. Методології проєктного менеджменту для циркулярних бізнес-моделей: переваги та можливості. Інтелект XXI. 2023. № 3. С. 74-80. DOI: https://doi.org/10.32782/2415-8801/2023-3.11

100. Павліха Н. Впровадження ESG та корпоративної соціальної відповідальності у контексті циркулярної економіки: моніторинг ефективності та проблеми прозорості. Економіка та суспільство. 2024. Вип. 68. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-68-22 URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/4873

101. Пахненко О. М. Зелені фінанси: сутність, інструменти інвестування та роль у сталому розвитку. Ефективна економіка. 2025. № 6. DOI: https://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.6.92

102. Податковий кодекс України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17

103. Полоус О. В., Гребельник А. О. Екологічна поведінка споживача як драйвер соціально відповідального бізнесу. Економіка та суспільство. 2022. № 46. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-46-62

104. Про внесення змін до Державної стратегії регіонального розвитку на 2021-2027 роки: постанова Кабінету Міністрів України від 25.11.2025 № 1686. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/1686-2025-%D0%BF

105. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо відновлення та удосконалення моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів: Закон України від 08.01.2025 № 4187-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4187-20#Text

106. Про енергетичну ефективність: Закон України від 21.10.2021 № 1818-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text

107. Про загальнообов’язкове державне соціальне страхування на випадок безробіття: Закон України від 02.03.2000 № 1533-III, чинна редакція. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/1533-14

108. Про зайнятість населення: Закон України від 05.07.2012 № 5067-VI, чинна редакція. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/5067-17

109. Про засади державної регіональної політики: Закон України від 05.02.2015 № 156-VIII, чинна редакція. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/156-19

110. Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів: Закон України від 12.12.2019 № 377-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/377-20#Text

111. Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на 2021-2027 роки: постанова Кабінету Міністрів України від 05.08.2020 № 695, чинна редакція. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/695-2020-%D0%BF

112. Про затвердження Національного плану з енергетики та клімату на період до 2030 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 13.08.2024 № 761-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-%D1%80#Text

113. Про затвердження Порядку ведення Єдиного реєстру з моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів: наказ Міндовкілля від 08.06.2021 № 370. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/z1060-21

114. Про затвердження Порядку верифікації звіту оператора про викиди парникових газів : постанова Кабінету Міністрів України від 23.09.2020 № 959. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/959-2020-%D0%BF

115. Про затвердження Порядку видачі ваучерів для підтримання конкурентоспроможності деяких категорій громадян на ринку праці: постанова Кабінету Міністрів України від 20.03.2013 № 207, чинна редакція. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/207-2013-%D0%BF

116. Про затвердження Порядку здійснення моніторингу та звітності щодо викидів парникових газів : постанова Кабінету Міністрів України від 23.09.2020 № 960. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/960-2020-%D0%BF

117. Про затвердження Порядку надання роботодавцям компенсацій за працевлаштування зареєстрованих безробітних: постанова Кабінету Міністрів України від 10.02.2023 № 124, чинна редакція. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/124-2023-%D0%BF

118. Про затвердження типових форм документів у сфері моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів та вимог до їх заповнення: наказ Міндовкілля від 15.02.2021 № 113. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/z0498-21

119. Про захист інтересів суб’єктів подання звітності та інших документів у період дії воєнного стану або стану війни: Закон України від 03.03.2022 № 2115-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/2115-20

120. Про колективні угоди та договори: Закон України від 23.02.2023 № 2937-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/2937-20

121. Про основні засади державної кліматичної політики : Закон України від 08.10.2024 № 3991-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/3991-20

122. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 28.02.2019 р. № 2697-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text

123. Про публічні закупівлі: Закон України від 25.12.2015 р. № 922-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/922-19#Text

124. Про соціальний діалог в Україні: Закон України від 23.12.2010 № 2862-VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/2862-17

125. Про схвалення Стратегії формування та реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2035 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2024 № 483-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/483-2024-%D1%80

126. Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення: Закон України від 16.07.2024 № 3855-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3855-20#Text

127. Пілецька С. Т., Ареф’єв С. О., Петровська С. В., Колесников С. О. Стратегічне забезпечення економічної безпеки підприємств в контексті цифровізації економіки України. Проблеми економіки. 2024. № 2. С. 181-190. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-0712-2024-2-181-190

128. Руденко В. В. Сталий розвиток ритейлу через впровадження ESG-стандартів у бізнес-практики. Актуальна економіка. 2025. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.17994329

129. Савченко В., Кононенко Л., Карнаушенко А. Циркулярна економіка в умовах формування Суспільства 5.0. Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка. 2023. № 16. С. 166-174. DOI: https://doi.org/10.32782/2708-0366/2023.16.22

130. Сапожніков В. Зелені фінанси у поствоєнній відбудові України: інституційні передумови та інструменти. Економічний аналіз. 2025. Т. 35. № 2. С. 446-456. DOI: https://doi.org/10.35774/econa2025.02.446

131. Середюк К. В. Впровадження практики ESG в діяльність українських компаній у воєнний період. Причорноморські економічні студії. 2023. Вип. 84. С. 41-46. DOI: https://doi.org/10.32782/bses.84-6

132. Смолінська Н. В. Аналіз стану металургійної галузі України в умовах війни. Вісник Хмельницького національного університету. 2023. № 2. С. 235-240. DOI: https://doi.org/10.31891/2307-5740-2023-316-2-38

133. Стасюк Ю. Зелене банківництво як інструмент декарбонізації економіки України. Economic Affairs. 2025. DOI: https://doi.org/10.32750/2025-0102

134. Стащук О., Чиж Ю. Зелені фінанси: сутність, інструменти інвестування та роль у сталому розвитку. Цифрова економіка та економічна безпека. 2025. № 1(16). С. 132-136. DOI: https://doi.org/10.32782/dees.16-20

135. Тарасенко А. Роль фінансових установ у забезпеченні сталого розвитку України. Економіка та суспільство. 2024. Вип. 59. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-42 URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/3395

136. Тендюк А. Впровадження стандартів сталого розвитку бізнесу. Економічний форум. 2023. № 4. С. 102-108. DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2308-8559-2023-4-13

137. Тесленко О. І., Куц Г. О. Структурні та технологічні напрями зменшення викидів парникових газів підприємствами чорної металургії. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія:

Технічні науки. 2022. Т. 33(72). № 6. С. 165-173. DOI: https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.6/27

138. Тимошенко Д. О., Кухар В. В., Воловненко І. В. Порівняння енергоспоживання при виробництві сталі застарілими аглодоменним та мартенівським переділами із сучасною технологією прямого відновлення заліза MIDREX H2 та виплавкою в дуговій сталеплавильній печі. Науковий журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки. 2024. № 2. С. 49-54. DOI: https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-2-8 URL: https://journals.mipolytech.in.ua/index.php/tech/article/view/26

139. Тубольцев Л. Г., Чайка О. Л., Бабаченко О. І. Перспективи розвитку металургійного виробництва в Україні за рахунок використання нових технологій. Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. 2023. Вип. 37. С. 4-25. DOI: https://doi.org/10.52150/2522-9117-2023-37-4-25 URL: https://jnas.nbuv.gov.ua/j-pdf/Ftpp_2023_37_3.pdf

140. Фролов А. Ю. Фінансування сталого розвитку: роль зелених фінансів у трансформації економіки України. Фінанси України. 2025. № 2. С. 66-82. DOI: https://doi.org/10.33763/finukr2025.02.066

141. Харін С., Папіж Ю., Коровін С. Менеджмент декарбонізації економіки: малі модульні реактори та електромобілі - ключові фактори успіху. Економіка та суспільство. 2024. Вип. 62. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-62-55 URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/3932

142. Хахалєв Д. О. Оцінка забезпеченості сталого розвитку підприємства. Бізнес Інформ. 2024. № 5. С. 338-344. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-5-338-344

143. Черницька Т., Логвиненко Є. Мережевізація товаровиробників сталеливарної промисловості в контексті глобальних кліматичних змін. Економіка та суспільство. 2024. Вип. 63. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-128 URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/4209

144. Чурилін В. О., Віткін Л. М. Оцінювання системи управління екологічними ризиками за ESG-факторами. Бізнес Інформ. 2024. № 8. С. 120-126. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-8-120-126 URL: https://www.business-inform.net/article/?abstract=2024_8_0_120_126&lang=en&year=2024

145. Шайда О. Є. Перспективи розвитку металургійної промисловості України у контексті відновлення економіки. Підприємство та інновації. 2022. № 24. С. 28-33. DOI: https://doi.org/10.32782/2415-3583/24.4

146. Шандрівська О. Є., Юнко І. Ю. Дослідження цільових сегментів ринку легкої промисловості України в період пандемії COVID-19. Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення та проблеми розвитку. 2021. № 2(6). С. 338-352. DOI: https://doi.org/10.23939/smeu2021.02.338

147. Швець А. І. Циркулярна економіка як нова модель розвитку економіки України в процесі євроінтеграції. Економічний вісник Дніпровської політехніки. 2022. № 1. С. 43-49. DOI: https://doi.org/10.33271/ebdut/77.043

148. Шевченко А. В. Стратегічні пріоритети екомодернізації у промисловості України у контексті подолання глобальних економічних викликів і реалізації цілей сталого розвитку. Проблеми економіки. 2021. № 4. С. 79-84. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-0712-2021-4-79-84 URL: https://www.problecon.com/article/?abstract=2021_4_0_79_84&year=2021

149. Шкуренко О. В. Циркулярна економіка як передумова формування інноваційних платформ сталого розвитку суб’єктів підприємницької діяльності. Бізнес Інформ. 2021. № 4. С. 323-330. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-4-323-330 URL: https://www.business-inform.net/article/?abstract=2021_4_0_323_330&year=2021

150. Яценко О. М., Швиданенко О. А., Швиданенко Г. О. Циркулярна економіка як основа забезпечення сталого розвитку країни в контексті євроінтеграції. Економіка і регіон. 2022. № 4(87). С. 150-167. DOI: https://doi.org/10.26906/EiR.2022.4(87

151. Acemoglu D., Aghion P., Bursztyn L., Hemous D. The environment and directed technical change. American Economic Review. 2012. Vol. 102. No. 1. P. 131-166. DOI: https://doi.org/10.1257/aer.102.1.131

152. Agora Energiewende, Wuppertal Institut. Klimaneutrale Industrie: Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement. URL: https://www.agora-energiewende.org/

153. Åhman M., Nilsson L. J., Johansson B. Global climate policy and deep decarbonization of energy-intensive industries. Climate Policy. 2017. Vol. 17. No. 5. P. 634-649. DOI: https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1167009

154. Aiginger K., Rodrik D. Rebirth of industrial policy and an agenda for the twenty-first century. Journal of Industry, Competition and Trade. 2020. Vol. 20. P. 189-207. DOI: https://doi.org/10.1007/s10842-019-00322-3

155. Aldy J. E., Pizer W. A. The competitiveness impacts of climate change mitigation policies. Journal of the Association of Environmental and Resource Economists. 2015. Vol. 2. No. 4. P. 565-595. DOI: https://doi.org/10.1086/683305

156. Algers J., Åhman M., Nilsson L. J. Phase-in and phase-out policies in the global steel transition. Climate Policy. 2024. DOI: https://doi.org/10.1080/14693062.2024.2353127

157. Algers J., Åhman M., Nilsson L. J. Steel decarbonization - from optimization to transformation. Annual Review of Environment and Resources. 2025. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-environ-111523-101851

158. Algers J., Seguineaud C., Gu D. Addressing steel decarbonisation challenges for industry and policy. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers. 2024. No. 171. DOI: https://doi.org/10.1787/e6cb2f3c-en

159. Alikulov K., Sato M., Aikawa K., Hayashi D., Kato Y. Comparative technical and economic analyses of hydrogen direct-reduction ironmaking and power systems for decarbonization. Energies. 2024. Vol. 17. No. 5. Article 1242. DOI: https://doi.org/10.3390/en17051242

160. Allwood J. M., Cullen J. M., Milford R. L. Options for achieving a 50% cut in industrial carbon emissions by 2050. Environmental Science & Technology. 2010. Vol. 44. No. 6. P. 1888-1894. DOI: https://doi.org/10.1021/es902909k

161. Ambec S., Cohen M. A., Elgie S., Lanoie P. The Porter hypothesis at 20: Can environmental regulation enhance innovation and competitiveness? Review of Environmental Economics and Policy. 2013. Vol. 7. No. 1. P. 2-22. DOI: https://doi.org/10.1093/reep/res016

162. Andreotti M., et al. SDGs in the EU Steel Sector: A Critical Review of Sustainability Initiatives and Approaches. Sustainability. 2023. Vol. 15(9). Article 7521. DOI: https://doi.org/10.3390/su15097521

163. ArcelorMittal. XCarb® - accelerating the transition to net-zero steel. URL: https://corporate.arcelormittal.com/sustainability/xcarb

164. Association UKRMETALURGPROM. Metal Products Production and Consumption for 12 Months 2021 in Ukraine. URL: https://www.ukrmetprom.org/metal-products-production-and-consumption-for-12-months-2021-in-ukraine/

165. Association UKRMETALURGPROM. Metal Products Production and Consumption for 12 Months 2023 in Ukraine. URL: https://www.ukrmetprom.org/metal-products-production-and-consumption-for-12-months-2023-in-ukraine/

166. Association UKRMETALURGPROM. Metal Products Production and Consumption in Ukraine in Jan-Dec 2024. URL: https://www.ukrmetprom.org/metal-products-production-and-consumption-in-ukraine-in-jan-dec-2024/

167. Association UKRMETALURGPROM. Metal Products Production and Consumption in Ukraine in Jan-Dec 2025. URL: https://www.ukrmetprom.org/metal-products-production-and-consumption-in-ukraine-in-jan-dec-2025/

168. Association UKRMETALURGPROM. Ukraine in the World Ferrous Production in Jan-Dec 2021. URL: https://www.ukrmetprom.org/ukraine-in-the-world-ferrous-production-in-jan-dec-2021/

169. Association UKRMETALURGPROM. Ukraine in the World Ferrous Production in Jan-Dec 2022. URL: https://www.ukrmetprom.org/ukraine-in-the-world-ferrous-production-in-jan-dec-2022/

170. Association UKRMETALURGPROM. Ukraine in the World Ferrous Production in Jan-Dec 2023. URL: https://www.ukrmetprom.org/ukraine-in-the-world-ferrous-production-in-jan-dec-2023/

171. Association UKRMETALURGPROM. Ukrainian Ferrous Metallurgy Production in Jan-Dec 2024. URL: https://www.ukrmetprom.org/ukrainian-ferrous-metallurgy-production-in-jan-dec-2024/

172. Association UKRMETALURGPROM. Ukrainian Ferrous Metallurgy Production in Jan-Dec 2025. URL: https://www.ukrmetprom.org/ukrainian-ferrous-metallurgy-production-in-jan-dec-2025/

173. Bailera M., Lisbona P., Peña B., Romeo L. M. A review on CO2 mitigation in the iron and steel industry through Power to X processes. Journal of CO2 Utilization. 2021. Vol. 46. Article 101456. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jcou.2021.101456

174. Bataille C. et al. A review of technology and policy deep decarbonization pathway options for making energy-intensive industry production consistent with the Paris Agreement. Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 187. P. 960-973. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.107

175. Bataille C. G. F. Physical and policy pathways to net-zero emissions industry. WIREs Climate Change. 2020. Vol. 11. No. 2. Article e633. DOI: https://doi.org/10.1002/wcc.633

176. Bataille C. Low and zero emissions in the steel and cement industries: Barriers, technologies and policies. OECD Green Growth Papers. 2020. No. 2020/02. DOI: https://doi.org/10.1787/5ccf8e33-en

177. Bataille C., Stiebert S., Li F. Facility Level Global Net-Zero Pathways under Varying Trade and Geopolitical Scenarios. Net-Zero Steel Project Technical Report. 2024. URL: https://netzeroindustry.org/net-zero-steel-methodology-and-key-implications/

178. Bayer P., Aklin M. The European Union Emissions Trading System reduced CO2 emissions despite low prices. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2020. Vol. 117, No. 16. P. 8804-8812. URL: https://doi.org/10.1073/pnas.1918128117

179. Bhaskar A., Abhishek R., Assadi M., Nikpey Somehsaraei H. Decarbonizing primary steel production: Techno-economic assessment of a hydrogen based green steel production plant in Norway. Journal of Cleaner Production. 2022. Vol. 350. Article 131339. URL: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131339

180. Bhaskar A., Assadi M., Nikpey Somehsaraei H. Decarbonization of the iron and steel industry with direct reduction of iron ore with green hydrogen. Energies. 2020. Vol. 13. No. 3. Article 758. DOI: https://doi.org/10.3390/en13030758

181. Blomsma F., Brennan G. The emergence of circular economy: A new framing around prolonging resource productivity. Journal of Industrial Ecology. 2017. Vol. 21. No. 3. P. 603-614. DOI: https://doi.org/10.1111/jiec.12603

182. Bocken N. M. P., de Pauw I., Bakker C., van der Grinten B. Product design and business model strategies for a circular economy. Journal of Industrial and Production Engineering. 2016. Vol. 33. No. 5. P. 308-320. DOI: https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124

183. Böhringer C., Carbone J. C., Rutherford T. F. Unilateral climate policy design: Efficiency and equity implications of alternative instruments to reduce carbon leakage. Energy Economics. 2012. Vol. 34. Suppl. 2. P. S208-S217. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.09.011

184. Bolton P., Kacperczyk M. Do investors care about carbon risk? Journal of Financial Economics. 2021. Vol. 142. No. 2. P. 517-549. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.05.008

185. Bublyk M., Kowalska-Styczen A., Lytvyn V., Vysotska V. The Ukrainian Economy Transformation into the Circular Based on Fuzzy-Logic Cluster Analysis. Energies. 2021. Vol. 14. No. 18. Article 5951. DOI: https://doi.org/10.3390/en14185951

186. Calel R., Dechezleprêtre A. Environmental policy and directed technological change: Evidence from the European carbon market. Review of Economics and Statistics. 2016. Vol. 98. No. 1. P. 173-191. DOI: https://doi.org/10.1162/REST_a_00470

187. Carley S., Konisky D. M. The justice and equity implications of the clean energy transition. Nature Energy. 2020. Vol. 5. P. 569-577. DOI: https://doi.org/10.1038/s41560-020-0641-6

188. Clausing K. A., Wolfram C. Carbon border adjustments, climate clubs, and subsidy races when climate policies vary. Journal of Economic Perspectives. 2023. Vol. 37. No. 3. P. 137-162. DOI: https://doi.org/10.1257/jep.37.3.137

189. Climate Bonds Initiative. Green Bond Principles and Taxonomy resources. URL: https://www.climatebonds.net/

190. Climate Bonds Initiative. Sustainable Debt Global State of the Market 2024. URL: https://www.climatebonds.net/resources/reports/sustainable-debt-global-state-market-2024

191. Climate Club. Principles for aligning definitions of low-emissions and near-zero emissions steel and cement. URL: https://climate-club.org/workprogramme/green-industry/

192. Clora F., Yu W., Corong E. Alternative carbon border adjustment mechanisms in the European Union and international responses: Aggregate and within-coalition results. Energy Policy. 2023. Vol. 174. Article 113454. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113454

193. Commission Delegated Regulation (EU) 2021/2139 establishing the technical screening criteria under the EU taxonomy. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2021/2139/oj/eng

194. Commission Delegated Regulation (EU) 2023/2772 as regards sustainability reporting standards. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2023/2772/oj/eng

195. Commission Delegated Regulation (EU) 2025/2551 on accreditation and verification under CBAM. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2025/2551/oj/eng

196. Commission Implementing Decision 2012/135/EU establishing BAT conclusions for iron and steel production. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dec_impl/2012/135/oj/eng

197. Commission Implementing Regulation (EU) 2021/447 of 12 March 2021 determining revised benchmark values for free allocation of emission allowances for the period from 2021 to 2025. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2021/447

198. Commission Implementing Regulation (EU) 2023/1773 laying down the rules for the transitional period of CBAM. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2023/1773/oj

199. Commission Implementing Regulation (EU) 2024/3210 laying down rules for the CBAM registry. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2024/3210/2026-01-01/eng

200. Commission Implementing Regulation (EU) 2025/2546 on the application of the principles for verification of declared embedded emissions for CBAM purposes. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2025/2546/oj/eng

201. Commission Implementing Regulation (EU) 2025/2547 laying down rules for the definitive CBAM methodology. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2025/2547/oj/eng

202. Commission Implementing Regulation (EU) 2025/2548 on the calculation and publication of CBAM certificate prices. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2025/2548/oj/eng

203. Commission Implementing Regulation (EU) 2025/2620 on the calculation of the free allocation adjustment to CBAM certificates. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2025/2620/oj/eng

204. Commission Implementing Regulation (EU) 2025/486 laying down rules for the status of authorised CBAM declarant. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02025R0486-20251225

205. Cullen J. M., Allwood J. M., Borgstein E. H. Reducing energy demand: What are the practical limits? Environmental Science & Technology. 2011. Vol. 45. No. 4. P. 1711-1718. DOI: https://doi.org/10.1021/es102641n

206. Davis S. J., Lewis N. S., Shaner M., Aggarwal S., Arent D., Azevedo I. L., Benson S. M., Bradley T., Brouwer J., Chiang Y.-M., Clack C. T. M., Cohen A., Doig S., Edmonds J., Fennell P., Field C. B., Hannegan B., Hodge B.-M., Hoffert M. I., Ingersoll E., Jaramillo P., Lackner K. S., Mach K. J., Mastrandrea M., Ogden J., Peterson P. F., Sanchez D. L., Sperling D., Stagner J., Trancik J. E., Yang C.-J., Caldeira K. Net-zero emissions energy systems. Science. 2018. Vol. 360. No. 6396. Article eaas9793. DOI: https://doi.org/10.1126/science.aas9793

207. Dechezleprêtre A., Sato M. The impacts of environmental regulations on competitiveness. Review of Environmental Economics and Policy. 2017. Vol. 11. No. 2. P. 183-206. DOI: https://doi.org/10.1093/reep/rex013

208. Deineko L., Sychevskiy M., Tsyplitska O., Grebeniuk N., Deineko O. Increasing resource efficiency in the industrial complex ensuring environmental human rights. Environmental Economics. 2021. Vol. 12. Issue 1. P. 124-139. DOI: https://doi.org/10.21511/ee.12(1).2021.11

209. Dergachova V., Smerichevskyi S., Kniazieva T., Smerichevska S. Tools for formation and development of the environmentally friendly food products market: regional aspect in Ukraine. Environmental Economics. 2020. Vol. 11. Issue 1. P. 96-109. DOI: https://doi.org/10.21511/ee.11(1).2020.09

210. Devlin A., Kossen J., Goldie-Jones H., Yang A. Global green hydrogen-based steel opportunities surrounding high quality renewable energy and iron ore deposits. Nature Communications. 2023. Vol. 14. Article 2578. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-023-38123-2

211. Devlin A., Kossen J., Goldthau A. Green steel will turbocharge Ukraine's post-war recovery. Oxford Sustainable Finance Group, 2024. URL: https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:278139e3-06e7-4475-85c3-11ccf396dc0e

212. Directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Union, current text. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2003/87/oj/eng

213. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/75/oj/eng

214. Directive (EU) 2022/2464 as regards corporate sustainability reporting. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2022/2464/oj/eng

215. Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council as regards the promotion of energy from renewable sources. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj/eng

216. Directive (EU) 2024/1785 amending the Industrial Emissions Directive. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1785/oj/eng

217. Do T. N., Burke P. J., Baldwin K. G. H., Nguyen T. Reimagining carbon border adjustment mechanisms. Global Transitions. 2025. Vol. 7. P. 62-73. DOI: https://doi.org/10.1016/j.glt.2025.03.003

218. Dobson N. L. (Re)framing responsibility? Assessing the division of obligations under the EU carbon border adjustment mechanism. Utrecht Law Review. 2022. DOI: https://doi.org/10.36633/ulr.808

219. Drempetic S., Klein C., Zwergel B. The influence of firm size on the ESG score: Corporate sustainability ratings under review. Journal of Business Ethics. 2020. Vol. 167. P. 333-360. DOI: https://doi.org/10.1007/s10551-019-04164-1

220. Dyllick T., Hockerts K. Beyond the business case for corporate sustainability. Business Strategy and the Environment. 2002. Vol. 11(2). P. 130-141. DOI: https://doi.org/10.1002/bse.323

221. EBRD. HI-BAR guarantee programme and climate mitigation investments in Ukraine. URL: https://www.ebrd.com/home/news-and-events/news/2026/ebrd-and-eu-strengthen-ukraine-s-energy-security-with-new-solar-.html

222. EBRD. Ukraine: focus areas and investments. URL: https://www.ebrd.com/home/what-we-do/where-we-invest/ukraine.html

223. Eccles R. G., Ioannou I., Serafeim G. The impact of corporate sustainability on organizational processes and performance. Management Science. 2014. Vol. 60. No. 11. P. 2835-2857. DOI: https://doi.org/10.1287/mnsc.2014.1984

224. Edelenbosch O. Y., van Vuuren D. P., Bertram C., et al. Reducing sectoral hard-to-abate emissions to limit reliance on carbon dioxide removal. Nature Climate Change. 2024. DOI: https://doi.org/10.1038/s41558-024-02025-y

225. Edquist C. Towards a holistic innovation policy: Can the Swedish National Innovation Council serve as a role model? Research Policy. 2019. Vol. 48. No. 4. P. 869-879. DOI: https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.10.008

226. EFRAG. ESRS Implementation Guidance Documents: IG 1 Materiality Assessment, IG 2 Value Chain, IG 3 Detailed ESRS Datapoints. URL: https://www.efrag.org/en/projects/esrs-implementation-guidance-documents

227. EFRAG. IG 3: List of ESRS datapoints - Explanatory Note. URL: https://www.efrag.org/sites/default/files/sites/webpublishing/SiteAssets/EFRAGIG3ListofESRSDataPoints-ExplanatoryNote.pdf

228. EIB. EIB Group steps up support for Ukraine with loans, grants and guarantees. URL: https://www.eib.org/en/press/all/2026-226-eib-group-steps-up-support-for-ukraine-with-over-eur470-million-for-housing-connectivity-and-private-sector-growth

229. EIB. The EIB stands with Ukraine. URL: https://www.eib.org/en/projects/topics/eib-solidarity-ukraine

230. Energy Star. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the U.S. Iron and Steel Industry. URL: https://www.energystar.gov/industrial_plants/improve/energy_guidebooks

231. EUROFER. Low carbon roadmap and climate policy materials. URL: https://www.eurofer.eu/issues/climate-and-energy/

232. EUROFER. Low Carbon Roadmap / Climate and Energy. URL: https://www.eurofer.eu/issues/climate-and-energy/low-carbon-roadmap/

233. European Bank for Reconstruction and Development. Green Economy Transition approach. URL: https://www.ebrd.com/what-we-do/get.html

234. European Bank for Reconstruction and Development. Green Economy Transition Strategy 2026-2030. URL: https://www.ebrd.com/content/dam/ebrd_dxp/assets/pdfs/strategies-and-policies/green-economy-transition/EBRD-Green-Economy-Transition-Strategy-2026-30-Report-on-the-Invitation-to-Comment.pdf

235. European Bank for Reconstruction and Development. Just Transition. URL: https://www.ebrd.com/home/who-we-are/ebrd-values/ebrd-environmental-social-sustainability/EBRD-green/just-transition.html

236. European Bank for Reconstruction and Development. Supporting the Aims of a Just Transition: An Initial Stocktake. URL: https://www.ebrd.com/content/dam/ebrd_dxp/assets/pdfs/green-economy-transition/just-transition/MDB-support-for-a-just-transition-technical-paper.pdf

237. European Bank for Reconstruction and Development. The EBRD Just Transition Initiative. URL: https://www.ebrd.com/content/dam/ebrd_dxp/assets/pdfs/green/just-transition-initiative.pdf

238. European Commission. A European Steel and Metals Action Plan. COM(2025) 125 final. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52025DC0125

239. European Commission. A Green Deal Industrial Plan for the Net-Zero Age. COM(2023) 62 final. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52023DC0062

240. European Commission. BAT Conclusions for Iron and Steel Production. URL: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/IS_LexUriServ.pdf

241. European Commission. Best Available Techniques Reference Document for Iron and Steel Production. URL: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/iron-and-steel-production

242. European Commission. Carbon Border Adjustment Mechanism. URL: https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en

243. European Commission. CBAM legislation and guidance, including definitive-period materials. URL: https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism/cbam-legislation-and-guidance_en

244. European Commission. CBAM Questions and Answers. 27 May 2026. URL: https://taxation-customs.ec.europa.eu/document/download/013fa763-5dce-4726-a204-69fec04d5ce2_en?filename=CBAM_Questions%2Band%2BAnswers.pdf

245. European Commission. CBAM webinar follow-up: How to make your decarbonisation efforts pay. 11 June 2026. URL: https://taxation-customs.ec.europa.eu/news/cbam-webinar-follow-how-make-your-decarbonisation-efforts-pay-2026-06-11_en

246. European Commission. Clean Industrial Deal. URL: https://commission.europa.eu/topics/competitiveness/clean-industrial-deal_en

247. European Commission. Corporate sustainability reporting. URL: https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en

248. European Commission. EU Emissions Trading System (EU ETS). URL: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en

249. European Commission. EU Reference Scenario and technology-neutral framework for near-zero emission steel production. URL: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/related-industries/metals-industries/steel_en

250. European Commission. EU Taxonomy for sustainable activities. URL: https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en

251. European Commission. Green Public Procurement. URL: https://green-business.ec.europa.eu/green-public-procurement_en

252. European Commission. Guidance on Article 20a on sector integration of renewable electricity of Directive (EU) 2018/2001. C/2025/3699. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/C/2025/3699/oj/eng

253. European Commission. Innovation Fund. URL: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund_en

254. European Commission. Innovation Fund competitive bidding. URL: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund/competitive-bidding_en

255. European Commission, Joint Research Centre. Best Available Techniques Reference Document for the Ferrous Metals Processing Industry. 2022. URL: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2022-12/FMP_BREF_2022.pdf

256. European Commission. Just Transition Fund. URL: https://commission.europa.eu/funding-and-tenders/find-funding/eu-funding-programmes/just-transition-fund_en

257. European Commission. Modernisation Fund. URL: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/modernisation-fund_en

258. European Commission. Monitoring, reporting and verification in the EU Emissions Trading System. URL: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-markets/eu-emissions-trading-system-eu-ets/monitoring-reporting-and-verification_en

259. European Commission. National energy and climate plans. URL: https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/implementation-eu-countries/energy-and-climate-governance-and-reporting/national-energy-and-climate-plans_en

260. European Commission. Price of CBAM certificates. URL: https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism/price-cbam-certificates_en

261. European Commission. Recovery and reconstruction of Ukraine. URL: https://commission.europa.eu/topics/eu-solidarity-ukraine/eu-assistance-ukraine/recovery-and-reconstruction-ukraine_en

262. European Commission. Report on the application of the Carbon Border Adjustment Mechanism. COM(2025) 783 final. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52025DC0783

263. European Commission. The European Green Deal. COM(2019) 640 final. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2019:640:FIN

264. European Commission. The Just Transition Mechanism. URL: https://commission.europa.eu/topics/regional-and-urban-policy/just-transition-mechanism_en

265. European Commission. The Ukraine Facility. URL: https://commission.europa.eu/topics/eu-solidarity-ukraine/eu-assistance-ukraine/ukraine-facility_en

266. European Commission. Ukraine Investment Framework. URL: https://enlargement.ec.europa.eu/countries/ukraine/ukraine-investment-framework_en

267. European Commission. Verification of CBAM emissions. URL: https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism/cbam-verification_en

268. European Investment Bank. Climate Bank Roadmap 2021-2025. URL: https://www.eib.org/en/publications/the-eib-group-climate-bank-roadmap

269. European Investment Bank. EIB financing for industrial decarbonisation and green transition. URL: https://www.eib.org/en/projects/topics/climate-action/index

270. Fan Z., Friedmann S. J. Low-carbon production of iron and steel: Technology options, economic assessment, and policy. Joule. 2021. Vol. 5. No. 4. P. 829-862. DOI: https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.02.018

271. Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action, Germany. Carbon Contracts for Difference. URL: https://www.co2-differenzvertraege.info/en/home

272. Filatova H., Vasylieva T., Vynnychenko N., Ballova M., Gedeon M. Accounting support for sustainability reporting: theoretical foundations and bibliometric

analysis. Accounting and Financial Control. 2023. Vol. 4. Issue 1. P. 1-14. DOI: https://doi.org/10.21511/afc.04(1).2023.01

273. Fischedick M., Marzinkowski J., Winzer P., Weigel M. Techno-economic evaluation of innovative steel production technologies. Journal of Cleaner Production. 2014. Vol. 84. P. 563-580. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.063

274. Flammer C. Corporate green bonds. Journal of Financial Economics. 2021. Vol. 142. No. 2. P. 499-516. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.01.010

275. Fouquet R. Historical energy transitions: Speed, prices and system transformation. Energy Research & Social Science. 2016. Vol. 22. P. 7-12. DOI: https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.014

276. Friede G., Busch T., Bassen A. ESG and financial performance: Aggregated evidence from more than 2000 empirical studies. Journal of Sustainable Finance & Investment. 2015. Vol. 5. No. 4. P. 210-233. DOI: https://doi.org/10.1080/20430795.2015.1118917

277. G7 Industrial Decarbonisation Agenda. Definitions for near-zero and low-emission steel production. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Downloads/G/g7-climate-club-definitions-for-near-zero-and-low-emission-steel-production.pdf

278. Geels F. W., Sovacool B. K., Schwanen T., Sorrell S. Sociotechnical transitions for deep decarbonization. Science. 2017. Vol. 357. No. 6357. P. 1242-1244. DOI: https://doi.org/10.1126/science.aao3760

279. Geels F. W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. Research Policy. 2002. Vol. 31, No. 8-9. P. 1257-1274. URL: https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8

280. Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N. M. P., Hultink E. J. The circular economy - A new sustainability paradigm? Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 143. P. 757-768. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048

281. GHG Protocol. Corporate Value Chain (Scope 3) Standard. URL: https://ghgprotocol.org/corporate-value-chain-scope-3-standard

282. GHG Protocol. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. URL: https://ghgprotocol.org/product-standard

283. GHG Protocol. Scope 2 Guidance. URL: https://ghgprotocol.org/scope-2-guidance

284. Ghisellini P., Cialani C., Ulgiati S. A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. Journal of Cleaner Production. 2016. Vol. 114. P. 11-32. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007

285. Gielen D., Saygin D., Taibi E., Birat J.-P. Renewables-based decarbonization and relocation of iron and steel making: A case study. Journal of Industrial Ecology. 2020. Vol. 24. No. 5. P. 1113-1125. DOI: https://doi.org/10.1111/jiec.12997

286. Gillingham K., Newell R. G., Palmer K. Energy efficiency economics and policy. Annual Review of Resource Economics. 2009. Vol. 1. P. 597-620. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev.resource.102308.124234

287. Ginevicius R., Trishch R., Bilan Y., Lis M., Pencik J. Assessment of the Economic Efficiency of Energy Development in the Industrial Sector of the European Union Area Countries. Energies. 2022. Vol. 15. No. 9. Article 3322. DOI: https://doi.org/10.3390/en15093322

288. Glushchenko A. European Green Deal genesis and mechanisms of economic transformation: implications for Ukraine. Economic Space. 2024. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.13347171

289. GMK Center. As a result of CBAM introduction Ukraine may lose $7.2 bln of GDP by 2030. 2025. URL: https://gmk.center/en/posts/as-a-result-of-cbam-introduction-ukraine-may-lose-7-2-bln-of-gdp-by-2030/

290. GMK Center. Decarbonization of Ukraine’s steel industry: the European way. 2025. URL: https://gmk.center/en/posts/decarbonization-of-ukraine-s-steel-industry-the-european-way/

291. GMK Center. Green steel, grey realities: bridging the EU-Ukraine gap. 2025. URL: https://gmk.center/en/posts/green-steel-grey-realities-bridging-the-eu-ukraine-gap/

292. GMK Center. Rolled steel production in Ukraine grew by 4.8% y/y in 2025. URL: https://gmk.center/en/infographic/rolled-steel-production-in-ukraine-grew-by-4-8-y-y-in-2025/

293. GMK Center. Ukraine could face export losses due to CBAM. URL: https://gmk.center/en/posts/ukraine-could-face-4-7-billion-export-losses-due-to-cbam-gmk-center-study/

294. GMK Center. Ukrainian steel industry is operating at 92% capacity utilization. URL: https://gmk.center/en/news/ukrainian-steel-industry-is-operating-at-92-capacity-utilization-deputy-minister/

295. GMK Center. Ukrainian steelmakers produced 7.6 million tons of steel in 2024. 2025. URL: https://gmk.center/en/news/ukrainian-steelmakers-produced-7-6-million-tons-of-steel-in-2024/

296. Goulder L.H., Parry I.W.H. Instrument Choice in Environmental Policy. Review of Environmental Economics and Policy. 2008. Vol. 2(2). P. 152-174. DOI: https://doi.org/10.1093/reep/ren005

297. Graedel T. E., Allenby B. R., Linhart P. B. Implementing Industrial Ecology. IEEE Technology and Society Magazine. 1993. Vol. 12, No. 1. P. 18-26. URL: https://doi.org/10.1109/44.192717

298. Grafström J., Aasma S., Söderholm P. Barriers to circularity in the metals industry: An analytical framework and evidence from steel, aluminum and copper. Mineral Economics. 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s13563-025-00540-8

299. Greenhouse Gas Protocol. Corporate Accounting and Reporting Standard. URL: https://ghgprotocol.org/corporate-standard

300. Griffiths S., Sovacool B. K., Kim J., Bazilian M., Uratani J. M. Industrial decarbonization via hydrogen: A critical and systematic review of developments, socio-

technical systems and policy options. Energy Research & Social Science. 2021. Vol. 80. Article 102208. DOI: https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102208

301. Grubler A. Energy transitions research: Insights and cautionary tales. Energy Policy. 2012. Vol. 50. P. 8-16. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.070

302. Harasymchuk I. et al. Navigating challenges and opportunities in Ukraine's steel industry. Mineral Economics. 2025. DOI: https://doi.org/10.1080/1943815X.2025.2489958

303. Hasanbeigi A., Arens M., Price L. Alternative emerging ironmaking technologies for energy-efficiency and carbon dioxide emissions reduction: A technical review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. Vol. 33. P. 645-658. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.031

304. Hasanbeigi A., Price L., Arens M. Emerging energy-efficiency and CO_2 emission-reduction technologies for the iron and steel industry. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012. Vol. 16(8). P. 6220-6238. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.07.019

305. Hasanbeigi A., Price L., Arens M. Emerging energy-efficiency and CO_2 emissions-reduction technologies for the iron and steel industry. DOI: https://doi.org/10.2172/1172118

306. ICMA. Climate Transition Finance Handbook. URL: https://www.icmagroup.org/sustainable-finance/the-principles-guidelines-and-handbooks/climate-transition-finance-handbook/

307. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III, Chapter 11: Industry. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/chapter/chapter-11/

308. International Energy Agency. Definitions for Near-Zero and Low-Emissions Steel and Cement and Underlying Emissions Measurement Methodologies. 2024. URL: https://www.iea.org/reports/definitions-for-near-zero-and-low-emissions-steel-and-cement-and-underlying-emissions-measurement-methodologies

309. International Energy Agency. Driving Energy Efficiency in Heavy Industries. URL: https://www.iea.org/articles/driving-energy-efficiency-in-heavy-industries

310. International Energy Agency. Executive Summary: Definitions for Near-Zero and Low-Emissions Steel and Cement. 2024. URL: https://www.iea.org/reports/definitions-for-near-zero-and-low-emissions-steel-and-cement-and-underlying-emissions-measurement-methodologies/executive-summary

311. International Energy Agency, IRENA, UN Climate Change High-Level Champions. Breakthrough Agenda Report 2025: Steel. URL: https://www.iea.org/reports/breakthrough-agenda-report-2025/steel

312. International Energy Agency. Iron and Steel Technology Roadmap. Paris: IEA, 2020. URL: https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap

313. International Energy Agency. Iron & steel: technology and sector tracking. URL: https://www.iea.org/energy-system/industry/iron-and-steel

314. International Energy Agency. Levelised cost breakdown for hydrogen-direct reduced iron route and conventional steel production in Ukraine. 2025. URL: https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/levelised-cost-breakdown-for-hydrogen-direct-reduced-iron-route-and-conventional-steel-production-in-ukraine

315. International Energy Agency. Net Zero by 2050. URL: https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050

316. International Energy Agency. Steel and aluminium: Net Zero Emissions Guide. URL: https://www.iea.org/reports/steel-and-aluminium

317. International Energy Agency. Steel: Tracking Clean Energy Progress. URL: https://www.iea.org/energy-system/industry/steel

318. International Energy Agency. Transforming Industry through CCUS. URL: https://www.iea.org/reports/transforming-industry-through-ccus

319. International Energy Agency. Unlocking Ukraine’s Hydrogen Opportunity: A Roadmap. Paris: IEA, 2025. URL: https://www.iea.org/reports/unlocking-ukraines-hydrogen-opportunity-a-roadmap

320. International Labour Organization. Guidelines for a just transition towards environmentally sustainable economies and societies for all. Geneva: ILO, 2015. URL: https://www.ilo.org/publications/guidelines-just-transition-towards-environmentally-sustainable-economies

321. International Labour Organization. Just Transition Policy Gateway. URL: https://www.ilo.org/resource/news/ilo-launches-global-just-transition-policy-gateway

322. International Labour Organization. Just Transition towards Environmentally Sustainable Economies and Societies. URL: https://www.ilo.org/topics-and-sectors/just-transition-towards-environmentally-sustainable-economies-and-societies

323. International Renewable Energy Agency. Green Hydrogen for Industry: A Guide to Policy Making. Abu Dhabi: IRENA, 2022. URL: https://www.irena.org/Publications/2022/Mar/Green-Hydrogen-for-Industry

324. IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3: Industrial Processes and Product Use. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol3.html

325. IPCC. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html

326. ISO 14064-1:2018. Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting. URL: https://www.iso.org/standard/66453.html

327. ISO 14067:2018. Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification. URL: https://www.iso.org/standard/71206.html

328. Kemp R., Loorbach D., Rotmans J. Transition management as a model for managing processes of co-evolution towards sustainable development. International Journal of Sustainable Development & World Ecology. 2007. Vol. 14, No. 1. P. 78-91. URL: https://doi.org/10.1080/13504500709469709

329. Levchenko N., Shyshkanova G., Zelenin Yu., Prykhodko V., Kovalskyi M. Global trend of decarbonization as a determining factor of development of external economic activity of metallurgical enterprises. Rural Sustainability Research. 2022. Vol. 47 (342). P. 61-75. URL: https://doi.org/10.2478/plua-2022-0008

330. Loorbach D. Transition Management for Sustainable Development: A Prescriptive, Complexity-Based Governance Framework. Governance. 2010. Vol. 23, No. 1. P. 161-183. URL: https://doi.org/10.1111/j.1468-0491.2009.01471.x

331. Loorbach D., Wijsman K. Business transition management: exploring a new role for business in sustainability transitions. Journal of Cleaner Production. 2013. Vol. 45. P. 20-28. URL: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.002

332. Markard J., Raven R., Truffer B. Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. Research Policy. 2012. Vol. 41, No. 6. P. 955-967. URL: https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.02.013

333. Martin R., Muûls M., Wagner U. J. The Impact of the European Union Emissions Trading Scheme on Regulated Firms: What Is the Evidence after Ten Years? Review of Environmental Economics and Policy. 2016. Vol. 10, No. 1. P. 129-148. URL: https://doi.org/10.1093/reep/rev016

334. Metelenko N., Voronkova V., Nikitenko V., Tubolets I., Zelenin Yu., Marchenko O., Babko N., Podakov E., Salnikova M. Integration of Environmental Technologies into Industrial Management as a Tool for Ensuring Sustainable Development. Pakistan Journal of Life and Social Sciences. 2025. Vol. 23, No. 1. P. 230-237. URL: https://doi.org/10.57239/PJLSS-2025-23.1.0020

335. Metinvest. Annual Report 2021. URL: https://metinvestholding.com/Content/Entities/Report/32/en/Metinvest_AR2021.pdf

336. Metinvest. Annual Report 2022. URL: https://metinvestholding.com/Content/Entities/Report/34/en/Metinvest_AR2022.pdf

337. Metinvest. Annual Report 2023. URL: https://metinvestholding.com/ar2023/pdf/en/MetinvestAnnualReport2023.pdf

338. Metinvest. Annual Report 2024. URL: https://metinvestholding.com/Content/Entities/Report/37/en/metinvest-annual-report-2024.pdf

339. Metinvest. Annual Report 2025. URL: https://metinvestholding.com/ar2025/

340. Ministry of Economy of Ukraine. Ukraine Plan under the Ukraine Facility. URL: https://www.ukrainefacility.me.gov.ua/en/

341. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. Ukraine's Greenhouse Gas Inventory 1990-2024. National Inventory Document 2026. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Ukraine_NID_2026.pdf

342. Mission Possible Partnership. Making net-zero steel possible. URL: https://worldsteel.org/wp-content/uploads/2b.-Pathway-to-Paris-Mission-Possible-Partnership-net-zero-steel-sector-transition-strategy.pdf

343. National Energy and Climate Plan of Ukraine until 2030 / Кабінет Міністрів України, 2024. URL: https://www.kmu.gov.ua/

344. OECD. Carbon Border Adjustments: The potential effects of the EU CBAM along the supply chain. URL: https://www.oecd.org/en/publications/carbon-border-adjustments_7a6c4f24-en.html

345. OECD. Circular economy policies for steel decarbonisation. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 169. Paris: OECD Publishing, 2024. URL: https://doi.org/10.1787/4cfb485d-en

346. OECD. Steel: policy analysis and international co-operation. URL: https://www.oecd.org/en/topics/steel.html

347. OECD. Unlocking potential in the global scrap steel market: Opportunities and challenges. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers. 2024. URL: https://doi.org/10.1787/d7557242-en

348. PJSC ArcelorMittal Kryvyi Rih. Production Results for 2024. URL: https://ukraine.arcelormittal.com/en/media/news/arselormittal-kryvyy-rih-povidomliaie-vyrobnychi-rezultaty-za-2024-rik-2

349. Porter M. E., van der Linde C. Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. Journal of Economic Perspectives. 1995. Vol. 9, No. 4. P. 97-118. URL: https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97

350. Regulation (EU) 2020/852 on the establishment of a framework to facilitate sustainable investment. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj/eng

351. Regulation (EU) 2021/1119 establishing the framework for achieving climate neutrality (European Climate Law), consolidated version. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02021R1119-20260407

352. Regulation (EU) 2023/956 establishing a carbon border adjustment mechanism, current consolidated version. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023R0956

353. Regulation (EU) 2024/1735 of the European Parliament and of the Council on establishing a framework of measures for strengthening Europe's net-zero technology manufacturing ecosystem. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1735/oj/eng

354. Regulation (EU) 2024/792 establishing the Ukraine Facility. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/792/oj/eng

355. Rissman J. et al. Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070. Applied Energy. 2020. Vol. 266. Article 114848. URL: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114848

356. Schwartz P. The Art of the Long View: Planning for the Future in an Uncertain World. New York: Doubleday, 1991. URL: https://www.penguinrandomhouse.com/books/162919/the-art-of-the-long-view-by-peter-schwartz/

357. Sovacool B. K. How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions. Energy Research & Social Science. 2016. Vol. 13. P. 202-215. URL: https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.020

358. Ukraine. 2025 National Inventory Document. UNFCCC submission. URL: https://unfccc.int/documents/646259

359. Ukraine Facility. План України на 2024-2027 роки. URL: https://www.ukrainefacility.me.gov.ua/

360. UNIDO. The Industrial Deep Decarbonization Initiative: Factsheet. URL: https://decarbonization.unido.org/resources/factsheet-the-industrial-deep-decarbonization-initiative/

361. United Nations Industrial Development Organization. Industrial Deep Decarbonisation Initiative. URL: https://www.unido.org/IDDI

362. United Nations Industrial Development Organization. Industrial Development Report 2026: Looking at the future of industrialization. URL: https://www.unido.org/idr/idr2026

363. United Nations. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1. URL: https://sdgs.un.org/2030agenda

364. Vogl V., Åhman M., Nilsson L. J. Assessment of hydrogen direct reduction for fossil-free steelmaking. Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 203. P. 736-745. URL: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.279

365. Voronkova V., Nikitenko V., Sobol Y., Oleksenko R., Zelenin Yu., Kravchenko O., Levchenko L., Yukhymenko N. The Digital Transformation of the Most Dynamic Region in the World (China, Malaysia, India) as a Key Factor in Economic Development within the Context of Industry 5G: Trends, Challenges, and Strategies. Pakistan Journal of Life and Social Sciences. 2024. Vol. 22. № 1. DOI: https://doi.org/10.57239/PJLSS-2024-22.1.00105

366. World Bank. Environmental and Social Standard 10: Stakeholder Engagement and Information Disclosure. URL: https://www.worldbank.org/en/projects-operations/environmental-and-social-framework/brief/environmental-and-social-standards

367. World Bank. ESS10 Guidance Note: Stakeholder Engagement and Information Disclosure. URL: https://documents1.worldbank.org/curated/en/476161530217390609/ESF-Guidance-Note-10-Stakeholder-Engagement-and-Information-Disclosure-English.pdf

368. World Bank, Government of Ukraine, European Commission, United Nations. Fourth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4). 2025. URL: https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2025/02/25/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment-released

369. World Bank, Government of Ukraine, European Union, United Nations. Fifth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA5). 2026. URL: https://documents1.worldbank.org/curated/en/099022026094036395/pdf/P514499-22f93f3a-4278-42bc-b907-db9553d12069.pdf

370. World Bank. State and Trends of Carbon Pricing 2025. Washington, DC: World Bank, 2025. URL: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/43277

371. World Commission on Environment and Development. Our Common Future. Report A/42/427. United Nations, 1987. URL: https://digitallibrary.un.org/record/139811?ln=en&v=pdf

372. World Steel Association. ArcelorMittal roadmap and project examples. URL: https://worldsteel.org/wp-content/uploads/3a.-Implementation-and-activities-ArcelorMittal.pdf

373. World Steel Association. Climate Action Data Collection. URL: https://worldsteel.org/climate-action/climate-action-data-collection/

374. World Steel Association. Climate change and the production of iron and steel. Policy paper. URL: https://worldsteel.org/climate-action/climate-change-and-the-production-of-iron-and-steel/

375. World Steel Association. December 2025 crude steel production and 2025 global crude steel production totals. 23 January 2026. URL: https://worldsteel.org/media/press-releases/2026/december-2025-crude-steel-production-2025-global-crude-steel-production/

376. World Steel Association. Facilitating steel companies' transition to low-carbon steel. URL: https://worldsteel.org/wp-content/uploads/3a.-Climate-Policy_Facilitating-steel-companies-transistion-to-low-carbon-steel_Michele-RIMINI_OECD_vFINAL.pdf

377. World Steel Association. Steel Statistical Yearbook and World Steel in Figures. URL: https://worldsteel.org/steel-topics/statistics/

378. World Steel Association. Sustainability Indicators 2025. URL: https://worldsteel.org/media/publications/sustainability-indicators-2025/

379. World Steel Association. Total production of crude steel: annual production data 2021-2025. URL: https://worldsteel.org/data/annual-production-steel-data/

380. World Steel Association. World Steel in Figures 2022. URL: https://worldsteel.org/wp-content/uploads/World-Steel-in-Figures-2022-1.pdf

381. World Steel Association. World Steel in Figures 2023. URL: https://worldsteel.org/wp-content/uploads/World-Steel-in-Figures-2023.pdf

382. World Steel Association. World Steel in Figures 2024. URL: https://worldsteel.org/wp-content/uploads/World-Steel-in-Figures-2024.pdf

383. World Steel Association. World Steel in Figures 2025. URL: https://worldsteel.org/wp-content/uploads/World-Steel-in-Figures-2025-1.pdf

384. World Steel Association. World Steel in Figures 2026. URL: https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2026/

385. Zaporizhstal. Production Results in December and for 2024. URL: https://zaporizhstal.com/en-us/news/zaporizhstal-pidsumki-virobnitstva-u-grudni-ta-za-2024-rik

386. Zelenin Yu. Levels of carbon intensity regulation within the organizational and economic mechanism of metallurgy development. Central European Journal of Science and Research. 2026. Vol. 1. № 1. P. 120-131. DOI: https://doi.org/10.65237/2336-3630-2026-1(1)-8

387. Zelenin Yu. Sustainable development of metallurgy: resource aspect. GCI 2024: Global Challenges and Innovations: Interdisciplinary Approaches to Modern Scientific Issues. De La Salle Araneta University, Philippines. 2024. P. 80-84. URL: Google Scholar

ДОДАТКИ

Додаток А

Інформаційно-аналітична база та правила відтворення сценарних розрахунків

Методологічною основою є сценарне планування Пітера Шварца, адаптоване до технологічних маршрутів IEA і World Steel Association. Середньогалузевий CIt обчислюється як сума добутків частки кожного маршруту на його маршрутну вуглецеємність. Вихідні й контрольні значення мають статуси F, O, E або S відповідно до методики підрозділу 2.3.

Таблиця А.1

Статуси аналітичних і сценарних даних у розрахункових додатках

Статус	Зміст	Правило використання
F — фактичні	Фактично зафіксовані значення випуску або первинних даних	2025 р.; замінюються після появи нового факту
O — офіційні	Офіційна статистика, нормативні та міжнародні дані	Використовуються без зміни меж обліку
E — авторські оцінки	Гармонізація або калібрування неповних відкритих даних	Мають алгоритм, вихідні дані та перевірку
S — сценарні	Умовні контрольні значення альтернативної траєкторії	Не є офіційним прогнозом; щорічно уточнюються

Джерело: складено автором відповідно до методики підрозділу 2.3 з використанням моделі OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця А.2

Вихідні фактичні, оцінні та сценарні параметри нормативно-сценарної моделі

Параметр	Значення	Статус	Джерело	Функція
Випуск сталі 2025 р., млн т	7,41	F	підрозділ 3.1	база абсолютних викидів
CIt 2025 р., т CO_2-екв./т	2,021	E	підрозділ 3.2	базова вуглецеємність
ІПм, т CO_2-екв./т	1,343	E	підрозділи 2.2–2.3	мотиваційна межа
ІПо, т CO_2-екв./т	1,460	E	підрозділи 2.2–2.3	обмежувальна межа
Структура 2025 р., %	BF–BOF 50,0; EAF 6,6; інші 43,4	O	worldsteel; підрозділ 3.1	вихідні ваги маршрутів
MRV-охоплення 2025 р., %	56,6	E	підрозділи 3.1–3.3	контроль доказовості
Маршрутні CIt 2030/2035 рр.	табл. А.4	S	IEA, worldsteel; авторська адаптація	розрахунок CIt
Обсяги випуску та частки маршрутів	табл. А.5	S	сценарний підхід П. Шварца	контрольні точки

Джерело: складено автором за результатами підрозділів 2.2–4.1. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Для відтворення щорічної технічної розгортки між контрольними роками застосовано лінійний перехід окремо для інтервалів 2025–2030 і 2030–2035 рр.:

$X_t = X_a + (X_\beta - X_a) \times (t - a) / (b - a)$,

де X_t — проміжне значення параметра; X_a і X_β — значення у сусідніх контрольних роках; a і b — відповідно 2025 та 2030 рр. або 2030 та 2035 рр. Це правило використано лише для арифметичної перевірки траєкторії.

Внесок маршруту до середньогалузевого показника визначено як $d_{it} \times CI_{it}$, середньогалузевий CIt — як сума маршрутних внесків, абсолютні викиди — як $Q_t \times CIt$, а умовно уникнені викиди — як $Q_t \times (2{,}021 - CIt)$.

Таблиця А.3

Калібрування маршрутних значень CIt у базовому 2025 р.

Маршрут	Частка, %	Маршрутний CIt, т CO_2-екв./т	Внесок до CIt	Метод визначення
BF–BOF	50,00	2,3000	1,1500	гармонізована авторська оцінка за міжнародними маршрутними межами
scrap-EAF	6,60	0,7000	0,0462	гармонізована авторська оцінка за міжнародними маршрутними межами
DRI–EAF	0,00	1,1000	0,0000	довідкове Е-значення; частка маршруту у 2025 р. дорівнює нулю
H_2-DRI	0,00	0,5000	0,0000	довідкове Е-значення; частка маршруту у 2025 р. дорівнює нулю
Інші процеси	43,40	1,9005	0,8248	розраховано залишковим методом для точного відтворення CIt = 2,021
Разом / середнє	100,00	—	2,0210	точно відповідає базовому CIt 2025 р.

Джерело: розраховано автором за базовими значеннями 2025 р.; значення для «інших процесів» становить 1,9005 т CO_2-екв./т. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця А.4

Щорічна технічна розгортка маршрутної вуглецеємності у 2025–2035 рр., т CO_2-екв./т

Рік	BF–BOF	scrap-EAF	DRI–EAF	H_2-DRI	Інші процеси
2025	2,3000	0,7000	1,1000	0,5000	1,9005
2026	2,2400	0,6800	1,0700	0,4800	1,9404
2027	2,1800	0,6600	1,0400	0,4600	1,9803
2028	2,1200	0,6400	1,0100	0,4400	2,0202
2029	2,0600	0,6200	0,9800	0,4200	2,0601
2030	2,0000	0,6000	0,9500	0,4000	2,1000
2031	1,9700	0,5800	0,9000	0,3800	2,0800
2032	1,9400	0,5600	0,8500	0,3600	2,0600
2033	1,9100	0,5400	0,8000	0,3400	2,0400
2034	1,8800	0,5200	0,7500	0,3200	2,0200
2035	1,8500	0,5000	0,7000	0,3000	2,0000

Джерело: розраховано автором за контрольними маршрутними значеннями 2025, 2030 і 2035 рр. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Примітка: значення 2026–2029 та 2031–2034 рр. є технічною інтерполяцією для перевірки арифметики, а не самостійним прогнозом.

Таблиця А.5

Контрольні сценарні параметри випуску та MRV-охоплення

Сценарій	Рік	Випуск сталі, млн т	MRV-охоплення, %
Інерційний	2025	7,41	56,6
Інерційний	2030	8,20	75,0
Інерційний	2035	9,00	85,0
Адаптаційний	2025	7,41	56,6
Адаптаційний	2030	10,00	85,0
Адаптаційний	2035	12,50	95,0
Трансформаційний	2025	7,41	56,6
Трансформаційний	2030	11,00	95,0
Трансформаційний	2035	15,00	100,0

Джерело: сформовано автором за табл. 4.4 підрозділу 4.1. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця А.6

Контрольні сценарні параметри технологічної структури випуску

Сценарій	Рік	BF–BOF, %	scrap-EAF, %	DRI–EAF, %	H_2-DRI, %	Інші процеси, %
Інерційний	2025	50,00	6,60	0,00	0,00	43,40
Інерційний	2030	50,00	8,00	2,00	0,00	40,00
Інерційний	2035	48,00	10,00	5,00	0,00	37,00
Адаптаційний	2025	50,00	6,60	0,00	0,00	43,40
Адаптаційний	2030	42,00	18,00	12,00	0,00	28,00
Адаптаційний	2035	40,00	25,00	20,00	5,00	10,00
Трансформаційний	2025	50,00	6,60	0,00	0,00	43,40
Трансформаційний	2030	35,00	25,00	20,00	5,00	15,00
Трансформаційний	2035	25,00	30,00	30,00	10,00	5,00

Джерело: сформовано автором за табл. 4.4 підрозділу 4.1; сума часток у кожному сценарії дорівнює 100%. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Додаток Б

Проміжні розрахунки за сценарієм «інерційний» у 2025–2035 рр.

Таблиця Б.1а

Щорічна розгортка випуску, MRV та високовуглецевих маршрутів за інерційний сценарієм

Рік	Випуск сталі, млн т	MRV, %	BF–BOF, %	Інші процеси, %
2025	7,410	56,60	50,00	43,40
2026	7,568	60,28	50,00	42,72
2027	7,726	63,96	50,00	42,04
2028	7,884	67,64	50,00	41,36
2029	8,042	71,32	50,00	40,68
2030	8,200	75,00	50,00	40,00
2031	8,360	77,00	49,60	39,40
2032	8,520	79,00	49,20	38,80
2033	8,680	81,00	48,80	38,20
2034	8,840	83,00	48,40	37,60
2035	9,000	85,00	48,00	37,00

Джерело: розраховано автором шляхом технічної розгортки між контрольними точками табл. А.5–А.6. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Б.1б

Щорічна розгортка низьковуглецевих маршрутів за інерційний сценарієм

Рік	scrap-EAF, %	DRI–EAF, %	H_2-DRI, %	Разом низьковуглецеві маршрути, %
2025	6,60	0,00	0,00	6,60
2026	6,88	0,40	0,00	7,28
2027	7,16	0,80	0,00	7,96
2028	7,44	1,20	0,00	8,64
2029	7,72	1,60	0,00	9,32
2030	8,00	2,00	0,00	10,00
2031	8,40	2,60	0,00	11,00
2032	8,80	3,20	0,00	12,00
2033	9,20	3,80	0,00	13,00
2034	9,60	4,40	0,00	14,00
2035	10,00	5,00	0,00	15,00

Джерело: розраховано автором; підсумкова частка дорівнює сумі scrap-EAF, DRI–EAF і H_2-DRI. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Б.2а

Внесок високовуглецевих маршрутів до CIt за інерційний сценарієм

Рік	Внесок BF–BOF	Внесок інших процесів	Сума високовуглецевих внесків
2025	1,1500	0,8248	1,9748
2026	1,1200	0,8289	1,9489
2027	1,0900	0,8325	1,9225
2028	1,0600	0,8355	1,8955
2029	1,0300	0,8380	1,8680
2030	1,0000	0,8400	1,8400
2031	0,9771	0,8195	1,7966
2032	0,9545	0,7993	1,7538
2033	0,9321	0,7793	1,7114
2034	0,9099	0,7595	1,6694
2035	0,8880	0,7400	1,6280

Джерело: розраховано автором як добуток частки маршруту на його маршрутний CIt. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Б.2б

Внесок низьковуглецевих маршрутів та підсумковий CIt за інерційний сценарієм

Рік	scrap-EAF: d×CI	DRI–EAF: d×CI	H_2-DRI: d×CI	Сума низьковуглецевих внесків	CIt, т CO_2-екв./т
2025	0,0462	0,0000	0,0000	0,0462	2,0210
2026	0,0468	0,0043	0,0000	0,0511	2,0000
2027	0,0473	0,0083	0,0000	0,0556	1,9781
2028	0,0476	0,0121	0,0000	0,0597	1,9553
2029	0,0479	0,0157	0,0000	0,0635	1,9316
2030	0,0480	0,0190	0,0000	0,0670	1,9070
2031	0,0487	0,0234	0,0000	0,0721	1,8688
2032	0,0493	0,0272	0,0000	0,0765	1,8302
2033	0,0497	0,0304	0,0000	0,0801	1,7914
2034	0,0499	0,0330	0,0000	0,0829	1,7524
2035	0,0500	0,0350	0,0000	0,0850	1,7130

Джерело: розраховано автором; CIt дорівнює сумі високовуглецевих і низьковуглецевих внесків. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Б.3а

Проміжні показники випуску, CIt та викидів за інерційний сценарієм

Рік	Випуск сталі, млн т	CIt, т CO_2-екв./т	Абсолютні викиди, млн т CO_2-екв.	Умовно уникнені викиди, млн т CO_2-екв.
2025	7,410	2,0210	14,9756	0,0000
2026	7,568	2,0000	15,1359	0,1590
2027	7,726	1,9781	15,2827	0,3316
2028	7,884	1,9553	15,4155	0,5181
2029	8,042	1,9316	15,5338	0,7190
2030	8,200	1,9070	15,6374	0,9348
2031	8,360	1,8688	15,6228	1,2727
2032	8,520	1,8302	15,5936	1,6253
2033	8,680	1,7914	15,5497	1,9926
2034	8,840	1,7524	15,4909	2,3748
2035	9,000	1,7130	15,4170	2,7720

Джерело: розраховано автором; базою уникнених викидів є CIt 2025 р. = 2,021 т CO_2-екв./т за того самого сценарного обсягу випуску. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Б.3б

Відхилення від ІПм/ІПо та структурні індикатори за інерційний сценарієм

Рік	Відхилення CIt від ІПо, т CO_2-екв./т	Відхилення CIt від ІПм, т CO_2-екв./т	Низьковуглецеві маршрути, %	MRV-охоплення, %
2025	0,5610	0,6780	6,60	56,60
2026	0,5400	0,6570	7,28	60,28
2027	0,5181	0,6351	7,96	63,96
2028	0,4953	0,6123	8,64	67,64
2029	0,4716	0,5886	9,32	71,32
2030	0,4470	0,5640	10,00	75,00
2031	0,4088	0,5258	11,00	77,00
2032	0,3702	0,4872	12,00	79,00
2033	0,3314	0,4484	13,00	81,00
2034	0,2924	0,4094	14,00	83,00
2035	0,2530	0,3700	15,00	85,00

Джерело: розраховано автором за ІПо = 1,460 та ІПм = 1,343 т CO_2-екв./т. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Додаток В

Проміжні розрахунки за сценарієм «адаптаційний» у 2025–2035 рр.

Таблиця В.1а

Щорічна розгортка випуску, MRV та високовуглецевих маршрутів за адаптаційний сценарієм

Рік	Випуск сталі, млн т	MRV, %	BF–BOF, %	Інші процеси, %
2025	7,410	56,60	50,00	43,40
2026	7,928	62,28	48,40	40,32
2027	8,446	67,96	46,80	37,24
2028	8,964	73,64	45,20	34,16
2029	9,482	79,32	43,60	31,08
2030	10,000	85,00	42,00	28,00
2031	10,500	87,00	41,60	24,40
2032	11,000	89,00	41,20	20,80
2033	11,500	91,00	40,80	17,20
2034	12,000	93,00	40,40	13,60
2035	12,500	95,00	40,00	10,00

Джерело: розраховано автором шляхом технічної розгортки між контрольними точками табл. А.5–А.6. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця В.1б

Щорічна розгортка низьковуглецевих маршрутів за адаптаційний сценарієм

Рік	scrap-EAF, %	DRI–EAF, %	H_2-DRI, %	Разом низьковуглецеві маршрути, %
2025	6,60	0,00	0,00	6,60
2026	8,88	2,40	0,00	11,28
2027	11,16	4,80	0,00	15,96
2028	13,44	7,20	0,00	20,64
2029	15,72	9,60	0,00	25,32
2030	18,00	12,00	0,00	30,00
2031	19,40	13,60	1,00	34,00
2032	20,80	15,20	2,00	38,00
2033	22,20	16,80	3,00	42,00
2034	23,60	18,40	4,00	46,00
2035	25,00	20,00	5,00	50,00

Джерело: розраховано автором; підсумкова частка дорівнює сумі scrap-EAF, DRI–EAF і H_2-DRI. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця В.2а

Внесок високовуглецевих маршрутів до CIt за адаптаційний сценарієм

Рік	Внесок BF–BOF	Внесок інших процесів	Сума високовуглецевих внесків
2025	1,1500	0,8248	1,9748
2026	1,0842	0,7824	1,8665
2027	1,0202	0,7375	1,7577
2028	0,9582	0,6901	1,6483
2029	0,8982	0,6403	1,5384
2030	0,8400	0,5880	1,4280
2031	0,8195	0,5075	1,3270
2032	0,7993	0,4285	1,2278
2033	0,7793	0,3509	1,1302
2034	0,7595	0,2747	1,0342
2035	0,7400	0,2000	0,9400

Джерело: розраховано автором як добуток частки маршруту на його маршрутний CIt. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця В.2б

Внесок низьковуглецевих маршрутів та підсумковий CIt за адаптаційний сценарієм

Рік	scrap-EAF: d×CI	DRI–EAF: d×CI	H_2-DRI: d×CI	Сума низьковуглецевих внесків	CIt, т CO_2-екв./т
2025	0,0462	0,0000	0,0000	0,0462	2,0210
2026	0,0604	0,0257	0,0000	0,0861	1,9526
2027	0,0737	0,0499	0,0000	0,1236	1,8813
2028	0,0860	0,0727	0,0000	0,1587	1,8071
2029	0,0975	0,0941	0,0000	0,1915	1,7300
2030	0,1080	0,1140	0,0000	0,2220	1,6500
2031	0,1125	0,1224	0,0038	0,2387	1,5658
2032	0,1165	0,1292	0,0072	0,2529	1,4806
2033	0,1199	0,1344	0,0102	0,2645	1,3946
2034	0,1227	0,1380	0,0128	0,2735	1,3078
2035	0,1250	0,1400	0,0150	0,2800	1,2200

Джерело: розраховано автором; CIt дорівнює сумі високовуглецевих і низьковуглецевих внесків. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця В.3а

Проміжні показники випуску, CIt та викидів за адаптаційний сценарієм

Рік	Випуск сталі, млн т	CIt, т CO_2-екв./т	Абсолютні викиди, млн т CO_2-екв.	Умовно уникнені викиди, млн т CO_2-екв.
2025	7,410	2,0210	14,9756	0,0000
2026	7,928	1,9526	15,4801	0,5424
2027	8,446	1,8813	15,8892	1,1802
2028	8,964	1,8071	16,1986	1,9177
2029	9,482	1,7300	16,4037	2,7594
2030	10,000	1,6500	16,5000	3,7100
2031	10,500	1,5658	16,4405	4,7800
2032	11,000	1,4806	16,2870	5,9440
2033	11,500	1,3946	16,0384	7,2031
2034	12,000	1,3078	15,6931	8,5589
2035	12,500	1,2200	15,2500	10,0125

Джерело: розраховано автором; базою уникнених викидів є CIt 2025 р. = 2,021 т CO_2-екв./т за того самого сценарного обсягу випуску. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця В.3б

Відхилення від ІПм/ІПо та структурні індикатори за адаптаційний сценарієм

Рік	Відхилення CIt від ІПо, т CO_2-екв./т	Відхилення CIt від ІПм, т CO_2-екв./т	Низьковуглецеві маршрути, %	MRV-охоплення, %
2025	0,5610	0,6780	6,60	56,60
2026	0,4926	0,6096	11,28	62,28
2027	0,4213	0,5383	15,96	67,96
2028	0,3471	0,4641	20,64	73,64
2029	0,2700	0,3870	25,32	79,32
2030	0,1900	0,3070	30,00	85,00
2031	0,1058	0,2228	34,00	87,00
2032	0,0206	0,1376	38,00	89,00
2033	-0,0654	0,0516	42,00	91,00
2034	-0,1522	-0,0352	46,00	93,00
2035	-0,2400	-0,1230	50,00	95,00

Джерело: розраховано автором за ІПо = 1,460 та ІПм = 1,343 т CO_2-екв./т. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Додаток Г

Проміжні розрахунки за сценарієм «трансформаційний» у 2025–2035 рр.

Таблиця Г.1а

Щорічна розгортка випуску, MRV та високовуглецевих маршрутів за трансформаційний сценарієм

Рік	Випуск сталі, млн т	MRV, %	BF–BOF, %	Інші процеси, %
2025	7,410	56,60	50,00	43,40
2026	8,128	64,28	47,00	37,72
2027	8,846	71,96	44,00	32,04
2028	9,564	79,64	41,00	26,36
2029	10,282	87,32	38,00	20,68
2030	11,000	95,00	35,00	15,00
2031	11,800	96,00	33,00	13,00
2032	12,600	97,00	31,00	11,00
2033	13,400	98,00	29,00	9,00
2034	14,200	99,00	27,00	7,00
2035	15,000	100,00	25,00	5,00

Джерело: розраховано автором шляхом технічної розгортки між контрольними точками табл. А.5–А.6. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Г.1б

Щорічна розгортка низьковуглецевих маршрутів за трансформаційний сценарієм

Рік	scrap-EAF, %	DRI–EAF, %	H_2-DRI, %	Разом низьковуглецеві маршрути, %
2025	6,60	0,00	0,00	6,60
2026	10,28	4,00	1,00	15,28
2027	13,96	8,00	2,00	23,96
2028	17,64	12,00	3,00	32,64
2029	21,32	16,00	4,00	41,32
2030	25,00	20,00	5,00	50,00
2031	26,00	22,00	6,00	54,00
2032	27,00	24,00	7,00	58,00
2033	28,00	26,00	8,00	62,00
2034	29,00	28,00	9,00	66,00
2035	30,00	30,00	10,00	70,00

Джерело: розраховано автором; підсумкова частка дорівнює сумі scrap-EAF, DRI–EAF і H_2-DRI. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Г.2а

Внесок високовуглецевих маршрутів до CIt за трансформаційний сценарієм

Рік	Внесок BF–BOF	Внесок інших процесів	Сума високовуглецевих внесків
2025	1,1500	0,8248	1,9748
2026	1,0528	0,7319	1,7847
2027	0,9592	0,6345	1,5937
2028	0,8692	0,5325	1,4017
2029	0,7828	0,4260	1,2088
2030	0,7000	0,3150	1,0150
2031	0,6501	0,2704	0,9205
2032	0,6014	0,2266	0,8280
2033	0,5539	0,1836	0,7375
2034	0,5076	0,1414	0,6490
2035	0,4625	0,1000	0,5625

Джерело: розраховано автором як добуток частки маршруту на його маршрутний CIt. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Г.2б

Внесок низьковуглецевих маршрутів та підсумковий CIt за трансформаційний сценарієм

Рік	scrap-EAF: d×CI	DRI–EAF: d×CI	H_2-DRI: d×CI	Сума низьковуглецевих внесків	CIt, т CO_2-екв./т
2025	0,0462	0,0000	0,0000	0,0462	2,0210
2026	0,0699	0,0428	0,0048	0,1175	1,9022
2027	0,0921	0,0832	0,0092	0,1845	1,7782
2028	0,1129	0,1212	0,0132	0,2473	1,6490
2029	0,1322	0,1568	0,0168	0,3058	1,5146
2030	0,1500	0,1900	0,0200	0,3600	1,3750
2031	0,1508	0,1980	0,0228	0,3716	1,2921
2032	0,1512	0,2040	0,0252	0,3804	1,2084
2033	0,1512	0,2080	0,0272	0,3864	1,1239
2034	0,1508	0,2100	0,0288	0,3896	1,0386
2035	0,1500	0,2100	0,0300	0,3900	0,9525

Джерело: розраховано автором; CIt дорівнює сумі високовуглецевих і низьковуглецевих внесків. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Г.3а

Проміжні показники випуску, CIt та викидів за трансформаційний сценарієм

Рік	Випуск сталі, млн т	CIt, т CO_2-екв./т	Абсолютні викиди, млн т CO_2-екв.	Умовно уникнені викиди, млн т CO_2-екв.
2025	7,410	2,0210	14,9756	0,0000
2026	8,128	1,9022	15,4612	0,9655
2027	8,846	1,7782	15,7301	2,1477
2028	9,564	1,6490	15,7712	3,5576
2029	10,282	1,5146	15,5732	5,2067
2030	11,000	1,3750	15,1250	7,1060
2031	11,800	1,2921	15,2468	8,6010
2032	12,600	1,2084	15,2258	10,2388
2033	13,400	1,1239	15,0603	12,0211
2034	14,200	1,0386	14,7481	13,9501
2035	15,000	0,9525	14,2875	16,0275

Джерело: розраховано автором; базою уникнених викидів є CIt 2025 р. = 2,021 т CO_2-екв./т за того самого сценарного обсягу випуску. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Г.3б

Відхилення від ІПм/ІПо та структурні індикатори за трансформаційний сценарієм

Рік	Відхилення CIt від ІПо, т CO_2-екв./т	Відхилення CIt від ІПм, т CO_2-екв./т	Низьковуглецеві маршрути, %	MRV-охоплення, %
2025	0,5610	0,6780	6,60	56,60
2026	0,4422	0,5592	15,28	64,28
2027	0,3182	0,4352	23,96	71,96
2028	0,1890	0,3060	32,64	79,64
2029	0,0546	0,1716	41,32	87,32
2030	-0,0850	0,0320	50,00	95,00
2031	-0,1679	-0,0509	54,00	96,00
2032	-0,2516	-0,1346	58,00	97,00
2033	-0,3361	-0,2191	62,00	98,00
2034	-0,4214	-0,3044	66,00	99,00
2035	-0,5075	-0,3905	70,00	100,00

Джерело: розраховано автором за ІПо = 1,460 та ІПм = 1,343 т CO_2-екв./т. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Додаток Д

Контрольна перевірка фінальних сценарних результатів 2030 та 2035 рр.

Таблиця Д.1

Покомпонентна перевірка середньогалузевого CIt за сценаріями на 2030 р.

Сценарій	Маршрут	Частка, %	Частка одиниці	Маршрутний CIt	Внесок до CIt
Інерційний	BF–BOF	50,00	0,5000	2,0000	1,0000
Інерційний	scrap-EAF	8,00	0,0800	0,6000	0,0480
Інерційний	DRI–EAF	2,00	0,0200	0,9500	0,0190
Інерційний	H_2-DRI	0,00	0,0000	0,4000	0,0000
Інерційний	Інші процеси	40,00	0,4000	2,1000	0,8400
Інерційний	Разом / CIt	100,00	1,0000	—	1,9070
Адаптаційний	BF–BOF	42,00	0,4200	2,0000	0,8400
Адаптаційний	scrap-EAF	18,00	0,1800	0,6000	0,1080
Адаптаційний	DRI–EAF	12,00	0,1200	0,9500	0,1140
Адаптаційний	H_2-DRI	0,00	0,0000	0,4000	0,0000
Адаптаційний	Інші процеси	28,00	0,2800	2,1000	0,5880
Адаптаційний	Разом / CIt	100,00	1,0000	—	1,6500
Трансформаційний	BF–BOF	35,00	0,3500	2,0000	0,7000
Трансформаційний	scrap-EAF	25,00	0,2500	0,6000	0,1500
Трансформаційний	DRI–EAF	20,00	0,2000	0,9500	0,1900
Трансформаційний	H_2-DRI	5,00	0,0500	0,4000	0,0200
Трансформаційний	Інші процеси	15,00	0,1500	2,1000	0,3150
Трансформаційний	Разом / CIt	100,00	1,0000	—	1,3750

Джерело: розраховано автором за формулою (4.1) та таблицями А.4–А.5; сума внесків дорівнює CIt 2030 р. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Д.2

Покомпонентна перевірка середньогалузевого CIt за сценаріями на 2035 р.

Сценарій	Маршрут	Частка, %	Частка одиниці	Маршрутний CIt	Внесок до CIt
Інерційний	BF–BOF	48,00	0,4800	1,8500	0,8880
Інерційний	scrap-EAF	10,00	0,1000	0,5000	0,0500
Інерційний	DRI–EAF	5,00	0,0500	0,7000	0,0350
Інерційний	H_2-DRI	0,00	0,0000	0,3000	0,0000
Інерційний	Інші процеси	37,00	0,3700	2,0000	0,7400
Інерційний	Разом / CIt	100,00	1,0000	—	1,7130
Адаптаційний	BF–BOF	40,00	0,4000	1,8500	0,7400
Адаптаційний	scrap-EAF	25,00	0,2500	0,5000	0,1250
Адаптаційний	DRI–EAF	20,00	0,2000	0,7000	0,1400
Адаптаційний	H_2-DRI	5,00	0,0500	0,3000	0,0150
Адаптаційний	Інші процеси	10,00	0,1000	2,0000	0,2000
Адаптаційний	Разом / CIt	100,00	1,0000	—	1,2200
Трансформаційний	BF–BOF	25,00	0,2500	1,8500	0,4625
Трансформаційний	scrap-EAF	30,00	0,3000	0,5000	0,1500
Трансформаційний	DRI–EAF	30,00	0,3000	0,7000	0,2100
Трансформаційний	H_2-DRI	10,00	0,1000	0,3000	0,0300
Трансформаційний	Інші процеси	5,00	0,0500	2,0000	0,1000
Трансформаційний	Разом / CIt	100,00	1,0000	—	0,9525

Джерело: розраховано автором за формулою (4.1) та таблицями А.4–А.5; сума внесків дорівнює CIt 2035 р. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Д.3а

Перевірка абсолютних викидів у контрольних роках

Рік	Сценарій	Q, млн т	CIt, т CO_2-екв./т	Q × CIt, млн т CO_2-екв.
2030	Інерційний	8,200	1,9070	15,6374
2030	Адаптаційний	10,000	1,6500	16,5000
2030	Трансформаційний	11,000	1,3750	15,1250
2035	Інерційний	9,000	1,7130	15,4170
2035	Адаптаційний	12,500	1,2200	15,2500
2035	Трансформаційний	15,000	0,9525	14,2875

Джерело: розраховано автором як добуток сценарного випуску на середньогалузевий CIt. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Д.3б

Перевірка умовно уникнених викидів у контрольних роках

Рік	Сценарій	Викиди за CIt 2025 р., млн т CO_2-екв.	Сценарні викиди, млн т CO_2-екв.	Умовно уникнені викиди, млн т CO_2-екв.
2030	Інерційний	16,5722	15,6374	0,9348
2030	Адаптаційний	20,2100	16,5000	3,7100
2030	Трансформаційний	22,2310	15,1250	7,1060
2035	Інерційний	18,1890	15,4170	2,7720
2035	Адаптаційний	25,2625	15,2500	10,0125
2035	Трансформаційний	30,3150	14,2875	16,0275

Джерело: розраховано автором; уникнені викиди дорівнюють різниці між викидами за CIt 2025 р. та сценарними викидами. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Д.4а

Абсолютні відхилення трансформаційного сценарію від базового 2025 р.

Рік	Показник	2025 р.	Сценарне значення	Абсолютне відхилення
2030	Випуск сталі, млн т	7,4100	11,0000	3,5900
2030	CIt, т CO_2-екв./т	2,0210	1,3750	-0,6460
2030	Абсолютні викиди, млн т CO_2-екв.	14,9756	15,1250	0,1494
2030	Частка низьковуглецевих маршрутів, %	6,6000	50,0000	43,4000
2030	MRV-охоплення, %	56,6000	95,0000	38,4000
2035	Випуск сталі, млн т	7,4100	15,0000	7,5900
2035	CIt, т CO_2-екв./т	2,0210	0,9525	-1,0685
2035	Абсолютні викиди, млн т CO_2-екв.	14,9756	14,2875	-0,6881
2035	Частка низьковуглецевих маршрутів, %	6,6000	70,0000	63,4000
2035	MRV-охоплення, %	56,6000	100,0000	43,4000

Джерело: розраховано автором як різницю між сценарним значенням і значенням 2025 р. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Д.4б

Відносні відхилення та індекси трансформаційного сценарію до 2025 р.

Рік	Показник	Відносне відхилення, %	Індекс до 2025 р., %
2030	Випуск сталі, млн т	48,45	148,45
2030	CIt, т CO_2-екв./т	-31,96	68,04
2030	Абсолютні викиди, млн т CO_2-екв.	1,00	101,00
2030	Частка низьковуглецевих маршрутів, %	657,58	757,58
2030	MRV-охоплення, %	67,84	167,84
2035	Випуск сталі, млн т	102,43	202,43
2035	CIt, т CO_2-екв./т	-52,87	47,13
2035	Абсолютні викиди, млн т CO_2-екв.	-4,59	95,41
2035	Частка низьковуглецевих маршрутів, %	960,61	1060,61
2035	MRV-охоплення, %	76,68	176,68

Джерело: розраховано автором. Відносне відхилення = (сценарне значення – значення 2025 р.) / значення 2025 р. × 100%; індекс = сценарне значення / значення 2025 р. × 100%. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Примітка: таблиця розмежовує відносне відхилення та індекс. У результативних таблицях основного тексту назви процентних колонок мають відповідати фактично наведеному типу показника.

Таблиця Д.5

Баланс технологічних часток і контроль арифметичної узгодженості сценаріїв

Сценарій	Рік	Сума часток, %	Відхилення від 100%, в.п.	Результат контролю
Інерційний	2025	100,0000	0,0000	узгоджено
Інерційний	2026	100,0000	0,0000	узгоджено
Інерційний	2027	100,0000	0,0000	узгоджено
Інерційний	2028	100,0000	0,0000	узгоджено
Інерційний	2029	100,0000	0,0000	узгоджено
Інерційний	2030	100,0000	0,0000	узгоджено
Інерційний	2031	100,0000	0,0000	узгоджено
Інерційний	2032	100,0000	0,0000	узгоджено
Інерційний	2033	100,0000	0,0000	узгоджено
Інерційний	2034	100,0000	0,0000	узгоджено
Інерційний	2035	100,0000	0,0000	узгоджено
Адаптаційний	2025	100,0000	0,0000	узгоджено
Адаптаційний	2026	100,0000	0,0000	узгоджено

Сценарій	Рік	Сума часток, %	Відхилення від 100%, в.п.	Результат контролю
Адаптаційний	2027	100,0000	0,0000	узгоджено
Адаптаційний	2028	100,0000	0,0000	узгоджено
Адаптаційний	2029	100,0000	0,0000	узгоджено
Адаптаційний	2030	100,0000	0,0000	узгоджено
Адаптаційний	2031	100,0000	0,0000	узгоджено
Адаптаційний	2032	100,0000	0,0000	узгоджено
Адаптаційний	2033	100,0000	0,0000	узгоджено
Адаптаційний	2034	100,0000	0,0000	узгоджено
Адаптаційний	2035	100,0000	0,0000	узгоджено
Трансформаційний	2025	100,0000	0,0000	узгоджено
Трансформаційний	2026	100,0000	0,0000	узгоджено
Трансформаційний	2027	100,0000	0,0000	узгоджено
Трансформаційний	2028	100,0000	0,0000	узгоджено
Трансформаційний	2029	100,0000	0,0000	узгоджено
Трансформаційний	2030	100,0000	0,0000	узгоджено
Трансформаційний	2031	100,0000	0,0000	узгоджено
Трансформаційний	2032	100,0000	0,0000	узгоджено
Трансформаційний	2033	100,0000	0,0000	узгоджено
Трансформаційний	2034	100,0000	0,0000	узгоджено
Трансформаційний	2035	100,0000	0,0000	узгоджено

Джерело: розраховано автором; у всіх сценаріях сума маршрутних часток дорівнює 100%. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Додаток Е

Джерела, припущення та порядок щорічного оновлення розрахункової бази

Таблиця Е.1

Реєстр ключових джерел для відтворення нормативно-сценарної моделі

Блок	Джерело та використання	Посилання
Сценарний метод	Schwartz P. The Art of the Long View; формування альтернативних внутрішньо узгоджених сценаріїв	https://www.penguinrandomhouse.com/books/162919/the-art-of-the-long-view-by-peter-schwartz/
Технологічні маршрути	IEA. Iron and Steel Technology Roadmap; маршрути, передумови та траєкторії декарбонізації сталі	https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap
Near-zero визначення	IEA. Definitions for Near-Zero and Low-Emissions Steel and Cement; межі обліку й понятійна база низькоемісійної сталі	https://www.iea.org/reports/definitions-for-near-zero-and-low-emissions-steel-and-cement-and-underlying-emissions-measurement-methodologies
Маршрутне агрегування	World Steel Association. Climate Action Data Collection; підхід до збирання та агрегування маршрутних даних	https://worldsteel.org/climate-action/climate-action-data-collection/
Галузеві показники	World Steel Association. Sustainability Indicators; міжнародні галузеві індикатори	https://worldsteel.org/wider-sustainability/sustainability-indicators/
Циркулярність	OECD. Circular economy policies for steel decarbonisation; роль брухту, якості та простежуваності вторинних ресурсів	https://www.oecd.org/en/publications/circular-economy-policies-for-steel-decarbonisation_4cfb485d-en.html

Джерело: систематизовано автором за джерелами, наведеними у загальному списку використаних джерел. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Е.2

Контрольні параметри щорічного оновлення проміжних і фінальних розрахунків

Параметр	Періодичність	Джерело оновлення	Дія у моделі
Випуск сталі	щороку	офіційна та галузева статистика	заміна сценарного Q фактичним значенням
Частки маршрутів	щороку	worldsteel, виробники, галузевий реєстр	перерахунок маршрутних ваг
Маршрутні CIt	щороку	MRV, продуктові дані, верифікація	заміна S/E значень фактичними F
Вуглецевий фактор електроенергії	щороку	оператор системи, постачальники, PPA	уточнення EAF та DRI–EAF
Брухт і DRI-сировина	щороку	статистика торгівлі та операторів	коригування доступних технологічних часток
MRV-охоплення	щороку	національна система МЗВ та CBAM-дані	перевірка доказовості сценарного ефекту
CAPEX, WACC і гарантії	за кожним проєктним раундом	банки, МФО, проєктні дані	перевірка реалізованості, без зміни фізичного CIt

Джерело: розроблено автором відповідно до правил табл. 4.7. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Висновок щодо відтворюваності розрахунків

Наведені таблиці дають змогу перевірити кожний фінальний результат 2030 і 2035 рр. у чотири послідовні кроки: 1) встановити сценарні частки маршрутів і випуск; 2) перевірити маршрутні CIt; 3) перемножити частку кожного маршруту на його CIt і підсумувати внески; 4) помножити середньогалузевий CIt на сценарний випуск та порівняти результат із базовою вуглецеємністю 2025 р. Усі проміжні значення мають визначений статус, правило розрахунку та джерело оновлення.

Додаток Ж

Вихідна інформаційна база та сценарні параметри фінансово-інвестиційних розрахунків

Таблиця Ж.1

Статуси даних, використані у фінансово-інвестиційних розрахунках

Статус	Зміст	Правило використання
F — фактичні дані	Офіційні або корпоративні фактичні значення, які можуть бути документально підтверджені	Використовуються без сценарної зміни після перевірки меж і періоду
O — офіційні параметри	Нормативні ставки, офіційні програми, правила і міжнародні методичні орієнтири	Актуалізуються на дату практичного застосування
E — розрахункова оцінка	Результат арифметичної обробки F/O-даних	Має містити формулу та відтворюваний розрахунок
S — сценарне припущення	Коефіцієнт CAPEX, частка фінансування, ставка, графік або технологічний параметр майбутнього періоду	Підлягає аналізу чутливості та заміні даними ТЕО/фінансової установи

Джерело: систематизовано автором відповідно до методики підрозділу 2.3. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Ж.2

Реєстр основних джерел вихідних параметрів із повними URL-адресами

Код	Джерело	URL
265	European Commission. The Ukraine Facility.	https://commission.europa.eu/topics/eu-solidarity-ukraine/eu-assistance-ukraine/ukraine-facility_en
266	European Commission. Ukraine Investment Framework.	https://enlargement.ec.europa.eu/countries/ukraine/ukraine-investment-framework_en
222	EBRD. Ukraine: focus areas and investments.	https://www.ebrd.com/home/what-we-do/where-we-invest/ukraine.html
229	EIB. The EIB stands with Ukraine.	https://www.eib.org/en/projects/topics/eib-solidarity-ukraine
312	International Energy Agency. Iron and Steel Technology Roadmap.	https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap
315	International Energy Agency. Net Zero by 2050.	https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050
374	World Steel Association. Climate change and the production of iron and steel.	https://worldsteel.org/climate-action/climate-change-and-the-production-of-iron-and-steel/
342	Mission Possible Partnership. Making net-zero steel possible.	https://worldsteel.org/wp-content/uploads/2b.-Pathway-to-Paris-Mission-Possible-Partnership-net-zero-steel-sector-transition-strategy.pdf

Код	Джерело	URL
376	World Steel Association. Facilitating steel companies' transition to low-carbon steel.	https://worldsteel.org/wp-content/uploads/3a.-Climate-Policy_Facilitating-steel-companies-transistion-to-low-carbon-steel_Michele-RIMINI_OECD_vFINAL.pdf
372	World Steel Association. ArcelorMittal roadmap and project examples.	https://worldsteel.org/wp-content/uploads/3a.-Implementation-and-activities-ArcelorMittal.pdf
102	Податковий кодекс України.	https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17
306	ICMA. Climate Transition Finance Handbook.	https://www.icmagroup.org/sustainable-finance/the-principles-guidelines-and-handbooks/climate-transition-finance-handbook/

Джерело: складено автором за джерелами та розрахунками підрозділу 5.2. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Ж.3

Вихідні параметри сценарно-модульного розрахунку

Показник	2025 р.	2030 р.	2035 р.	Статус	Розрахункова функція
Випуск сталі, млн т	7,410	11,000	15,000	F/S	База 2025 р. та трансформаційний сценарій 4.1
BF–BOF після НДТМ, %	—	35,0	25,0	S	Частка випуску × загальний випуск
scrap-EAF, %	—	25,0	30,0	S	Для CAPEX враховується приріст до бази 0,489 млн т
DRI–EAF / H_2-ready, %	—	20,0	30,0	S	Нова цільова потужність
H_2-DRI / near-zero, %	—	5,0	10,0	S	Нова цільова потужність
Інші процеси, %	—	15,0	5,0	S	Модернізація, маршрутне розкриття і підготовка до заміщення
База scrap-EAF 2025 р., млн т	0,489	0,489	0,489	E	Віднімається від цільової scrap-EAF-потужності
Спільна інфраструктура, % технологічного CAPEX	—	15,0	15,0	S	Центральний рівень; діапазон 12–20%
Податок на прибуток, %	18,0	18,0	18,0	O	Застосовується для податкового щита боргу
Грант / equity / МФО / гарантований борг / облігації, %	—	10 / 20 / 30 / 25 / 15	10 / 20 / 30 / 25 / 15	S	Сценарна структура blended finance

Джерело: складено автором за результатами підрозділів 3.1, 4.1 і 5.2. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Ж.4

Сценарні коефіцієнти CAPEX

Модуль	Одиниця	Нижній рівень	Центральний рівень	Верхній рівень	База застосування
BF–BOF після НДТМ	млрд євро на 1 млн т	0,08	0,10	0,13	Потужність, що зберігається
scrap-EAF	млрд євро на 1 млн т	0,20	0,25	0,32	Приріст до бази 2025 р.
DRI–EAF / H_2-ready	млрд євро на 1 млн т	0,65	0,80	1,00	Нова / модернізована потужність
H_2-DRI / near-zero	млрд євро на 1 млн т	0,95	1,20	1,50	Нова / модернізована потужність
Інші процеси	млрд євро на 1 млн т	0,06	0,08	0,10	Нова / модернізована потужність
Спільна інфраструктура	% технологічного CAPEX	12,0	15,0	20,0	Мережі, енергія, сировина, MRV, кадри, підготовка

Джерело: сформовано автором як сценарні коефіцієнти за [312; 315; 342; 372; 374; 376]; значення мають статус S. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Додаток И

Проміжні розрахунки технологічних потужностей та CAPEX до 2030 і 2035 років

Потужність технологічного маршруту визначається як добуток загального випуску сталі на його сценарну частку. Для scrap-EAF у CAPEX включається лише приріст до оціненої базової потужності 2025 р. — 0,489 млн т. Для інших маршрутів використовується цільова потужність, що модернізується або створюється. Сукупний CAPEX дорівнює сумі добутків потужності на модульний коефіцієнт із додаванням спільної інфраструктури.

Таблиця И.1

Формування розрахункових потужностей трансформаційного сценарію на 2030 р.

Маршрут	Частка, %	Цільова потужність, млн т	База 2025 р., млн т	Потужність для CAPEX, млн т	Перевірка
BF–BOF після НДТМ	35,0	3,850	0,000	3,850	11,000 × 35,0%
scrap-EAF	25,0	2,750	0,489	2,261	11,000 × 25,0% − 0,489
DRI–EAF / H_2-ready	20,0	2,200	0,000	2,200	11,000 × 20,0%
H_2-DRI / near-zero	5,0	0,550	0,000	0,550	11,000 × 5,0%
Інші процеси	15,0	1,650	0,000	1,650	11,000 × 15,0%

Джерело: розраховано автором за сценарними параметрами табл. Ж.3. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця И.2

Покомпонентний розрахунок CAPEX на 2030 р. за трьома рівнями вартості

Рівень	Модуль	Потужність, млн т	Коефіцієнт, млрд євро/млн т	CAPEX, млрд євро
Нижній	BF–BOF після НДТМ	3,850	0,08	0,308
Нижній	scrap-EAF	2,261	0,20	0,452
Нижній	DRI–EAF / H_2-ready	2,200	0,65	1,430
Нижній	H_2-DRI / near-zero	0,550	0,95	0,522
Нижній	Інші процеси	1,650	0,06	0,099
Нижній	Технологічний CAPEX	—	—	2,812
Нижній	Спільна інфраструктура, 12%	—	—	0,337
Нижній	Сукупний CAPEX	—	—	3,149

Рівень	Модуль	Потужність, млн т	Коефіцієнт, млрд євро/млн т	CAPEX, млрд євро
Центральний	BF–BOF після НДТМ	3,850	0,10	0,385
Центральний	scrap-EAF	2,261	0,25	0,565
Центральний	DRI–EAF / H_2-ready	2,200	0,80	1,760
Центральний	H_2-DRI / near-zero	0,550	1,20	0,660
Центральний	Інші процеси	1,650	0,08	0,132
Центральний	Технологічний CAPEX	—	—	3,502
Центральний	Спільна інфраструктура, 15%	—	—	0,525
Центральний	Сукупний CAPEX	—	—	4,028
Верхній	BF–BOF після НДТМ	3,850	0,13	0,500
Верхній	scrap-EAF	2,261	0,32	0,724
Верхній	DRI–EAF / H_2-ready	2,200	1,00	2,200
Верхній	H_2-DRI / near-zero	0,550	1,50	0,825
Верхній	Інші процеси	1,650	0,10	0,165
Верхній	Технологічний CAPEX	—	—	4,414
Верхній	Спільна інфраструктура, 20%	—	—	0,883
Верхній	Сукупний CAPEX	—	—	5,297

Джерело: розраховано автором за формулою (5.1), табл. Ж.4 та И.1. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця И.3

Формування розрахункових потужностей трансформаційного сценарію на 2035 р.

Маршрут	Частка, %	Цільова потужність, млн т	База 2025 р., млн т	Потужність для CAPEX, млн т	Перевірка
BF–BOF після НДТМ	25,0	3,750	0,000	3,750	15,000 × 25,0%
scrap-EAF	30,0	4,500	0,489	4,011	15,000 × 30,0% − 0,489
DRI–EAF / H_2-ready	30,0	4,500	0,000	4,500	15,000 × 30,0%
H_2-DRI / near-zero	10,0	1,500	0,000	1,500	15,000 × 10,0%
Інші процеси	5,0	0,750	0,000	0,750	15,000 × 5,0%

Джерело: розраховано автором за сценарними параметрами табл. Ж.3. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця И.4

Покомпонентний розрахунок кумулятивного CAPEX на 2035 р. за трьома рівнями вартості

Рівень	Модуль	Потужність, млн т	Коефіцієнт, млрд євро/млн т	CAPEX, млрд євро
Нижній	BF–BOF після НДТМ	3,750	0,08	0,300
Нижній	scrap-EAF	4,011	0,20	0,802
Нижній	DRI–EAF / H₂-ready	4,500	0,65	2,925
Нижній	H₂-DRI / near-zero	1,500	0,95	1,425
Нижній	Інші процеси	0,750	0,06	0,045
Нижній	Технологічний CAPEX	—	—	5,497
Нижній	Спільна інфраструктура, 12%	—	—	0,660
Нижній	Сукупний CAPEX	—	—	6,157
Центральний	BF–BOF після НДТМ	3,750	0,10	0,375
Центральний	scrap-EAF	4,011	0,25	1,003
Центральний	DRI–EAF / H₂-ready	4,500	0,80	3,600
Центральний	H₂-DRI / near-zero	1,500	1,20	1,800
Центральний	Інші процеси	0,750	0,08	0,060
Центральний	Технологічний CAPEX	—	—	6,838
Центральний	Спільна інфраструктура, 15%	—	—	1,026
Центральний	Сукупний CAPEX	—	—	7,863
Верхній	BF–BOF після НДТМ	3,750	0,13	0,488
Верхній	scrap-EAF	4,011	0,32	1,284
Верхній	DRI–EAF / H₂-ready	4,500	1,00	4,500
Верхній	H₂-DRI / near-zero	1,500	1,50	2,250
Верхній	Інші процеси	0,750	0,10	0,075
Верхній	Технологічний CAPEX	—	—	8,596
Верхній	Спільна інфраструктура, 20%	—	—	1,719
Верхній	Сукупний CAPEX	—	—	10,315

Джерело: розраховано автором за формулою (5.1), табл. Ж.4 та И.3. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця И.5

Місток між центральними оцінками CAPEX 2030 та 2035 рр.

Компонент	2030 р., млрд євро	2035 р., млрд євро	Зміна, млрд євро	Інтерпретація
BF–BOF після НДТМ	0,385	0,375	-0,010	Зменшення частки маршруту у структурі 2035 р.; не є поверненням уже здійснених витрат
scrap-EAF	0,565	1,003	0,438	Додаткова низьковуглецева потужність
DRI–EAF / H_2-ready	1,760	3,600	1,840	Додаткова низьковуглецева потужність
H_2-DRI / near-zero	0,660	1,800	1,140	Додаткова низьковуглецева потужність
Інші процеси	0,132	0,060	-0,072	Зменшення частки маршруту у структурі 2035 р.; не є поверненням уже здійснених витрат
Спільна інфраструктура	0,525	1,026	0,500	Зміна інфраструктурної потреби
Сукупний CAPEX	4,028	7,863	3,836	Додаткова кумулятивна потреба 2031–2035 рр.

Джерело: розраховано автором до округлення за табл. И.2 та И.4. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Додаток К

Розрахунок структури blended finance, вартості капіталу та фінансової економії

Таблиця К.1

Розподіл центрального CAPEX за джерелами blended finance

Джерело	Частка, %	2030 р., млрд євро	2035 р., млрд євро	Статус
Гранти і технічна допомога	10,0	0,403	0,786	S
Власний капітал підприємств / партнерів	20,0	0,806	1,573	S
Пільгові кредити МФО	30,0	1,208	2,359	S
Кредити з гарантіями	25,0	1,007	1,966	S
Transition-облігації / довгий ринковий борг	15,0	0,604	1,180	S
Разом	100,0	4,028	7,863	E

Джерело: розраховано автором як добуток центрального CAPEX на сценарну частку джерела. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця К.2

Проміжний розрахунок базової ефективної вартості фінансування

Компонент	Частка, %	Вартість, %	Податковий щит	Формула	Внесок, в.п.
Власний капітал	30,0	18,0	Ні	30,0% × 18,0%	5,400
Комерційний борг	70,0	14,0	Так	70,0% × 14,0% × (1 − 18%)	8,036
Базова ефективна вартість фінансування	100,0	—	—	Σ внесків	13,436

Джерело: розраховано автором за формулою (5.2), T = 18%. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця К.3

Проміжний розрахунок ефективної вартості blended finance

Компонент	Частка, %	Вартість, %	Податковий щит	Формула	Внесок, в.п.
Грант	10,0	0,0	Ні	10,0% × 0,0%	0,000
Власний капітал	20,0	18,0	Ні	20,0% × 18,0%	3,600
Пільговий кредит МФО	30,0	6,0	Так	30,0% × 6,0% × (1 − 18%)	1,476
Кредит з гарантією	25,0	8,0	Так	25,0% × 8,0% × (1 − 18%)	1,640
Transition-облігації	15,0	9,0	Так	15,0% × 9,0% × (1 − 18%)	1,107
Ефективна вартість blended finance	100,0	—	—	Σ внесків	7,823
Зниження відносно бази	—	—	—	13,436 − 7,823	5,613

Джерело: розраховано автором за формулою (5.2), T = 18%; усі ставки мають статус S. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця К.4

Чутливість річної економії на вартості фінансування

Портфель	Обсяг, млрд євро	Зниження на 2,0 в.п., млн євро/рік	Зниження на 4,0 в.п., млн євро/рік	Зниження на 5,613 в.п., млн євро/рік
Нормований модуль	1,000	20,0	40,0	56,1
Центральний портфель 2030 р.	4,028	80,6	161,1	226,1
Центральний портфель 2035 р.	7,863	157,3	314,5	441,4

Джерело: розраховано автором як добуток портфеля на зміну C_CAPEX; показник є річним еквівалентом, а не бюджетною економією. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця К.5

Структура мобілізованого та каталітичного ресурсу

Група	Склад	Частка, %	2030 р., млрд євро	2035 р., млрд євро
Приватний і комерційно мобілізований ресурс	Власний капітал + гарантовані кредити + transition-облігації	60,0	2,417	4,718
Каталітичний ресурс	Гранти + пільгові кредити МФО	40,0	1,611	3,145
Разом	—	100,0	4,028	7,863

Джерело: розраховано автором за структурою табл. К.1; гарантія не прирівнюється до фактичних бюджетних витрат. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Додаток Л

Технічний графік мобілізації коштів у 2026–2035 роках та контроль підсумкових результатів

Щорічний графік є технічною розгорткою контрольних точок 2030 і 2035 рр. Він має статус S і використовується лише для перевірки арифметики та оцінювання послідовності фінансової мобілізації. Для 2026–2030 рр. центральний CAPEX 2030 р. розподілено за вагами 5, 10, 20, 30 і 35%; додаткову потребу 2031–2035 рр. — за вагами 15, 20, 25, 25 і 15%. Фактичний графік має формуватися за календарями конкретних проєктів.

Таблиця Л.1

Технічний щорічний графік вибірки CAPEX

Рік	База розподілу	Частка бази, %	Річна вибірка, млрд євро	Кумулятивний CAPEX, млрд євро
2026	CAPEX до 2030 р.	5,0	0,201	0,201
2027	CAPEX до 2030 р.	10,0	0,403	0,604
2028	CAPEX до 2030 р.	20,0	0,806	1,410
2029	CAPEX до 2030 р.	30,0	1,208	2,618
2030	CAPEX до 2030 р.	35,0	1,410	4,028
2031	Додаткова потреба 2031–2035 рр.	15,0	0,575	4,603
2032	Додаткова потреба 2031–2035 рр.	20,0	0,767	5,370
2033	Додаткова потреба 2031–2035 рр.	25,0	0,959	6,329
2034	Додаткова потреба 2031–2035 рр.	25,0	0,959	7,288
2035	Додаткова потреба 2031–2035 рр.	15,0	0,575	7,863
Контроль	—	—	7,863	7,863

Джерело: розраховано автором; графік має статус S і не є календарем державних видатків. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Л.2

Розподіл щорічної вибірки за джерелами blended finance

Рік	CAPEX	Гранти	Власний капітал	Кредити МФО	Гарантовані кредити	Transition-облігації
2026	0,201	0,020	0,040	0,060	0,050	0,030
2027	0,403	0,040	0,081	0,121	0,101	0,060
2028	0,806	0,081	0,161	0,242	0,201	0,121
2029	1,208	0,121	0,242	0,362	0,302	0,181
2030	1,410	0,141	0,282	0,423	0,352	0,211
2031	0,575	0,058	0,115	0,173	0,144	0,086
2032	0,767	0,077	0,153	0,230	0,192	0,115
2033	0,959	0,096	0,192	0,288	0,240	0,144
2034	0,959	0,096	0,192	0,288	0,240	0,144
2035	0,575	0,058	0,115	0,173	0,144	0,086
Разом	7,863	0,786	1,573	2,359	1,966	1,180

Джерело: розраховано автором за незмінною сценарною структурою 10/20/30/25/15%; млрд євро. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Л.3

Річний еквівалент економії на вартості фінансування за кумулятивним портфелем

Рік	Кумулятивний портфель, млрд євро	Базова C_CAPEX, %	Blended C_CAPEX, %	Різниця, в.п.	Річний еквівалент, млн євро
2026	0,201	13,436	7,823	5,613	11,3
2027	0,604	13,436	7,823	5,613	33,9
2028	1,410	13,436	7,823	5,613	79,1
2029	2,618	13,436	7,823	5,613	146,9
2030	4,028	13,436	7,823	5,613	226,1
2031	4,603	13,436	7,823	5,613	258,4
2032	5,370	13,436	7,823	5,613	301,4
2033	6,329	13,436	7,823	5,613	355,3
2034	7,288	13,436	7,823	5,613	409,1
2035	7,863	13,436	7,823	5,613	441,4

Джерело: розраховано автором без урахування амортизації боргу; значення характеризують повний річний еквівалент на кінець відповідного року. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Л.4

Контрольна перевірка підсумкових показників підрозділу 5.2

Контрольний показник	Арифметична перевірка	Результат	Статус
Сума часток технологічних маршрутів 2030 р.	35 + 25 + 20 + 5 + 15	100,0%	Виконано
Сума часток технологічних маршрутів 2035 р.	25 + 30 + 30 + 10 + 5	100,0%	Виконано
Центральний CAPEX 2030 р.	3,502 технологічний + 0,525 інфраструктура	4,028 млрд євро	Виконано
Центральний CAPEX 2035 р.	6,838 технологічний + 1,026 інфраструктура	7,863 млрд євро	Виконано
Додаткова потреба 2031–2035 рр.	7,863 − 4,028	3,836 млрд євро	Виконано
Сума джерел blended finance	10 + 20 + 30 + 25 + 15	100,0%	Виконано
Базова C_CAPEX	5,400 + 8,036	13,436%	Виконано
Blended C_CAPEX	3,600 + 1,476 + 1,640 + 1,107	7,823%	Виконано
Зниження C_CAPEX	13,436 − 7,823	5,613 в.п.	Виконано
Річний еквівалент для портфеля 2035 р.	7,863 × 5,613%	441,4 млн євро	Виконано

Джерело: розраховано автором до округлення проміжних значень. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Наведені додатки забезпечують повну арифметичну простежуваність центральних результатів підрозділу 5.2. Для практичного фінансового структурування сценарні коефіцієнти повинні бути замінені кошторисами ТЕО, а технічний графік — календарями будівництва, вибірки і погашення коштів. Зміна будь-якого параметра має супроводжуватися повторним розрахунком таблиць И.2, И.4, К.1–К.4 та Л.1–Л.4.

Додаток М

Паспорт вихідних даних і розмежування розрахункових контурів

Таблиця М.1

Паспорт основних вихідних даних

Показник	Значення	Рік	Одиниця	Джерело	Статус	Місце використання	Обмеження
Випуск сталі	7,410	2025	млн т	Підрозділи 3.1, 4.1	F	База порівняння	Фактичний тоннаж; не є сценарієм
CIt	2,0210	2025	т CO_2-екв./т	Підрозділи 3.2, 4.1	E	Базова інтенсивність	Підлягає заміні після офіційного інвентарю
Випуск сталі	11,000	2030	млн т	Фінальна редакція 4.1	S	Основний трансформаційний сценарій	Не змішувати з контуром незмінного випуску
CIt	1,3750	2030	т CO_2-екв./т	Фінальна редакція 4.1	S	Основний трансформаційний сценарій	Нижче IПо, але вище IПм на 0,0320
Абсолютні викиди	15,1250	2030	млн т CO_2-екв.	Фінальна редакція 4.1	E/S	Зведений результат	Q × CIt
MRV-охоплення	95,0	2030	%	Фінальна редакція 4.1	S	KPI портфеля	Не дорівнює продуктовій верифікації 100% експорту
Випуск сталі	15,000	2035	млн т	Фінальна редакція 4.1	S	Основний трансформаційний сценарій	Контрольна точка
CIt	0,9525	2035	т CO_2-екв./т	Фінальна редакція 4.1	S	Основний трансформаційний сценарій	Нижче IПм та IПо
Абсолютні викиди	14,2875	2035	млн т CO_2-екв.	Фінальна редакція 4.1	E/S	Зведений результат	Q × CIt
MRV-охоплення	100,0	2035	%	Фінальна редакція 4.1	S	KPI портфеля	Потребує фактичної верифікації
Центральний CAPEX	4,028	2030	млрд євро	Підрозділ 5.2, табл. И.2–И.5	S/E	Фінансування	Не є кошторисом конкретного підприємства
Центральний кумулятивний CAPEX	7,863	2035	млрд євро	Підрозділ 5.2, табл. И.4–И.5	S/E	Фінансування	Округлення 0,001 млрд євро можливе
Базова C_CAPEX	13,436	2026–2035	%	Підрозділ 5.2, табл. К.2	S/E	Фінансовий ефект	Сценарна структура 30/70

Показник	Значення	Рік	Одиниця	Джерело	Статус	Місце використання	Обмеження
Портфельна C_CAPEX	7,823	2026–2035	%	Підрозділ 5.2, табл. К.3	S/E	Фінансовий ефект	Залежить від фактичних ставок і податкового щита
Різниця C_CAPEX	5,613	2026–2035	в.п.	13,436 − 7,823	E	Річний еквівалент	Не є NPV
CBAM-фактор фінансового введення	48,5	2030	%	Підрозділ 3.3, табл. 3.19	O	CBAM-чутливість	Нормативний графік
CBAM-фактор фінансового введення	100,0	2035	%	Підрозділ 3.3, табл. 3.19	O	CBAM-чутливість	Повне введення з 2034 р.
Максимальна вартість ваучера	33 280	2026	грн/особу	Підрозділ 5.1; ДСЗ	O	Соціальні модулі	Підлягає актуалізації за роком програми

Джерело: систематизовано автором за остаточними редакціями підрозділів 3.1–5.2. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця М.2

Розмежування основного і контрфактичного екологічних контурів

Контур	Випуск, млн т	CIt, т CO_2-екв./т	Викиди, млн т CO_2-екв.	Різниця, млн т CO_2-екв.	Правило
Основний сценарій 2030	11,000	1,3750	15,1250	—	Фактичний сценарний добуток Q × CIt
Контрфактичний 2030 за CIt 2025 р.	11,000	2,0210	22,2310	7,1060	Використовується лише для умовно уникнених викидів
Основний сценарій 2035	15,000	0,9525	14,2875	—	Фактичний сценарний добуток Q × CIt
Контрфактичний 2035 за CIt 2025 р.	15,000	2,0210	30,3150	16,0275	Не є прогнозом фактичних викидів

Джерело: розраховано автором: E = Q × CIt; умовно уникнені викиди = Q × (2,0210 − CIt). Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця М.3

Реєстр основних зовнішніх джерел із повними URL-адресами

Код / контур	Джерело	URL
CBAM Regulation	Regulation (EU) 2023/956, consolidated text	https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/956/2025-10-20/eng
CBAM methodology	Commission Implementing Regulation (EU) 2025/2547	https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2025/2547/oj/eng
EU ETS schedule	Directive 2003/87/EC, consolidated text	https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02003L0087-20240301
Ukraine Facility	European Commission. The Ukraine Facility	https://commission.europa.eu/topics/eu-solidarity-ukraine/eu-assistance-ukraine/ukraine-facility_en
Ukraine Investment Framework	European Commission. Ukraine Investment Framework	https://enlargement.ec.europa.eu/countries/ukraine/ukraine-investment-framework_en
Transition finance	ICMA. Climate Transition Finance Handbook	https://www.icmagroup.org/sustainable-finance/the-principles-guidelines-and-handbooks/climate-transition-finance-handbook/
Steel roadmap	International Energy Agency. Iron and Steel Technology Roadmap	https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap
MRV Ukraine	Закон України № 377-IX	https://zakon.rada.gov.ua/go/377-20
Industrial emissions	Закон України № 3855-IX	https://zakon.rada.gov.ua/go/3855-20
Training voucher	Державна служба зайнятості	https://www.dcz.gov.ua/profnavch/voucher

Джерело: укладено автором за списками джерел підрозділів 3.3, 4.2–4.3 та 5.1–5.2. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Додаток Н

Розрахунок структури партнерського фінансування

Розрахунок виконується за формулою $F_{i,t} = CAPEX_t \times s_i$, де s_i — сценарна частка джерела. Контроль: $\Sigma s_i = 100\%$, $\Sigma F_{i,t} = CAPEX_t$.

Таблиця Н.1

Покомпонентний розрахунок структури фінансування у 2030 і 2035 рр.

Джерело	Частка, %	Розрахунок 2030	2030 р., млрд євро	Розрахунок 2035	2035 р., млрд євро
Гранти і технічна допомога	10,0	4,028 × 0,10	0,4028	7,863 × 0,10	0,7863
Власний капітал підприємств / партнерів	20,0	4,028 × 0,20	0,8056	7,863 × 0,20	1,5726
Пільгові кредити МФО	30,0	4,028 × 0,30	1,2084	7,863 × 0,30	2,3589
Кредити з гарантіями	25,0	4,028 × 0,25	1,0070	7,863 × 0,25	1,9658
Transition-облігації / довгий ринковий борг	15,0	4,028 × 0,15	0,6042	7,863 × 0,15	1,1795
Разом	100,0	—	4,0280	—	7,8630

Джерело: розраховано автором за структурою blended finance підрозділу 5.2; підсумки до округлення дорівнюють CAPEX. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Н.2

Поворотний і неповоротний компоненти партнерського фінансування

Група	Склад	Частка, %	2030 р., млрд євро	2035 р., млрд євро
Неповоротний ресурс	Гранти і технічна допомога	10,0	0,4028	0,7863
Поворотний капітал	Власний капітал + кредити МФО + гарантовані кредити + transition-облігації	90,0	3,6252	7,0767
Разом	—	100,0	4,0280	7,8630

Джерело: розраховано автором; власний капітал є поворотним для інвестора через майбутні грошові потоки, але не є боргом. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Н.3

Контроль суми часток і округлення

Перевірка	Арифметична дія	Результат	Висновок
Сума часток	10 + 20 + 30 + 25 + 15	100,0%	Виконано
Сума джерел 2030 до округлення	0,4028 + 0,8056 + 1,2084 + 1,0070 + 0,6042	4,0280 млрд євро	Виконано
Сума джерел 2035 до округлення	0,7863 + 1,5726 + 2,3589 + 1,96575 + 1,17945	7,8630 млрд євро	Виконано
Сума опублікованих значень 2035, округлених до 0,001	0,786 + 1,573 + 2,359 + 1,966 + 1,180	7,864 млрд євро	Різниця 0,001 через округлення; контроль ведеться до округлення

Джерело: контрольні розрахунки автора; для підсумків використовуються неокруглені значення. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Додаток П

Розрахунок коефіцієнтів мобілізації

Таблиця П.1

Розрахунок структурних коефіцієнтів мобілізації

Коефіцієнт	Розрахунок	Значення, євро/євро	Інтерпретація
Загальний CAPEX / грант	100% / 10%	10,000	На 1 євро гранту припадає 10 євро загального фінансування
Поворотний капітал / грант	90% / 10%	9,000	На 1 євро гранту припадає 9 євро поворотного ресурсу
Приватний і ринковий капітал / грант	60% / 10%	6,000	Власний капітал + гарантовані кредити + transition-облігації
Загальний CAPEX / публічна підтримка	100% / 40%	2,500	Публічна підтримка = гранти + пільгові кредити МФО
Приватний і ринковий капітал / публічна підтримка	60% / 40%	1,500	Структурне співвідношення 1,5:1

Джерело: розраховано автором за сценарною структурою фінансування; коефіцієнти однакові для 2030 і 2035 рр. за незмінних часток. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця П.2

Абсолютна база коефіцієнтів мобілізації

Рік	CAPEX, млрд євро	Грант, млрд євро	Поворотний капітал, млрд євро	Приватний і ринковий капітал, млрд євро	Публічна підтримка, млрд євро	Контроль коефіцієнтів
2030	4,0280	0,4028	3,6252	2,4168	1,6112	10,000 / 9,000 / 6,000 / 2,500 / 1,500
2035	7,8630	0,7863	7,0767	4,7178	3,1452	10,000 / 9,000 / 6,000 / 2,500 / 1,500

Джерело: розраховано автором; публічна підтримка у цій таблиці не включає номінал гарантованих кредитів як бюджетну витрату. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця П.3

Методичні обмеження інтерпретації мобілізації

Елемент	Обмеження	Правило
Гарантія	Номінал гарантованого кредиту не дорівнює очікуваній бюджетній виплаті	Не називати 25% портфеля прямими державними видатками
Кредит МФО	Є поворотним ресурсом, хоча може мати пільгову ставку і публічну природу	Не прирівнювати до гранту
Власний капітал	Може бути внесений пов’язаними сторонами або стратегічним партнером	Підтверджувати джерело і додатковість
Transition-облігації	Ринковий борг залежить від рамки переходу, розкриття та верифікації	Не вважати гарантованим до розміщення
Коефіцієнт	Відображає структуру, а не причинно доведену додаткову мобілізацію	Для звітності розкривати базу і фактичні потоки

Джерело: сформульовано автором з урахуванням принципів blended finance і додатковості. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Додаток Р

Розрахунок потенційного скорочення CBAM-експозиції

Розрахункова залежність: $\Delta CBAM^{P}_{t} = Q^{EU}_{t} \times (CI_{2025} - CI_{t}) \times P_{t} \times S_{t}$. Результат має статус S/E і не є юридичним розрахунком сертифікатів, гарантованою економією або прогнозом платежу.

Таблиця Р.1

Вихідні параметри розрахунку CBAM-чутливості

Параметр	Значення	Рік	Одиниця	Статус	Джерело / розрахунок
Базова CIt	2,0210	2025	т CO_2-екв./т	E	Підрозділи 3.2, 4.1
Сценарна CIt	1,3750	2030	т CO_2-екв./т	S	Фінальна редакція 4.1
Зменшення CIt	0,6460	2030	т CO_2-екв./т	E/S	2,0210 − 1,3750
Коефіцієнт CBAM	0,485	2030	частка одиниці	O	Нормативний графік 3.3
Сценарна CIt	0,9525	2035	т CO_2-екв./т	S	Фінальна редакція 4.1
Зменшення CIt	1,0685	2035	т CO_2-екв./т	E/S	2,0210 − 0,9525
Коефіцієнт CBAM	1,000	2035	частка одиниці	O	Повне введення з 2034 р.
EU-експонований обсяг	2,0; 3,0; 4,0	2030/2035	млн т	S	Діапазон чутливості 3.3
Ціна CO_2	60; 80; 100	2030/2035	євро/т CO_2	S	Діапазон чутливості

Джерело: систематизовано автором за підрозділами 3.3 і 4.1. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Р.2

Чутливість потенційного скорочення CBAM-експозиції у 2030 р., млн євро

EU-експонований обсяг, млн т	Зменшення вуглецевої маси, млн т CO_2-екв.	Коефіцієнт CBAM, %	60 євро/т	80 євро/т	100 євро/т
2,0	1,2920	48,5	37,597	50,130	62,662
3,0	1,9380	48,5	56,396	75,194	93,993
4,0	2,5840	48,5	75,194	100,259	125,324

Джерело: розраховано автором за ΔCI = 0,6460 т CO_2-екв,/т і S = 48,5%; результат не є гарантованою економією, Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Р.3

Чутливість потенційного скорочення CBAM-експозиції у 2035 р., млн євро

EU-експонований обсяг, млн т	Зменшення вуглецевої маси, млн т CO_2-екв.	Коефіцієнт CBAM, %	60 євро/т	80 євро/т	100 євро/т
2,0	2,1370	100,0	128,220	170,960	213,700
3,0	3,2055	100,0	192,330	256,440	320,550
4,0	4,2740	100,0	256,440	341,920	427,400

Джерело: розраховано автором за $\Delta CI = 1{,}0685$ т CO_2-екв,/т і $S = 100{,}0\%$; результат не є гарантованою економією, Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Р.4

Покомпонентна перевірка центральної CBAM-чутливості

Рік	Підстановка	Результат	Одиниця	Застереження
2030	$3{,}0 \times (2{,}0210 - 1{,}3750) \times 80 \times 0{,}485$	75,194	млн євро	Сценарна експозиція; не платіж
2035	$3{,}0 \times (2{,}0210 - 0{,}9525) \times 80 \times 1{,}000$	256,440	млн євро	Сценарна експозиція; не платіж

Джерело: контрольний розрахунок автора. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Додаток С

Розрахунок фінансового ефекту зменшення C_CAPEX

Таблиця С.1

Базовий розрахунок річного еквівалента зменшення C_CAPEX

Рік	Базова ставка, %	Портфельна ставка, %	Різниця, в.п.	CAPEX, млрд євро	Розрахунок	Річний еквівалент, млн євро
2030	13,436	7,823	5,613	4,028	4,028 × 0,05613 × 1000	226,092 ≈ 226,1
2035	13,436	7,823	5,613	7,863	7,863 × 0,05613 × 1000	441,350 ≈ 441,4

Джерело: розраховано автором за значеннями підрозділу 5.2. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця С.2

Чутливість річного еквівалента до частки вибраного портфеля

Частка вибраного портфеля, %	Обсяг 2030, млрд євро	Ефект 2030, млн євро/рік	Обсяг 2035, млрд євро	Ефект 2035, млн євро/рік
25	1,007	56,5	1,966	110,3
50	2,014	113,0	3,932	220,7
75	3,021	169,6	5,897	331,0
100	4,028	226,1	7,863	441,4

Джерело: розраховано автором; частка означає середній одночасно вибраний обсяг, а не виконання фізичних робіт. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця С.3

Застереження щодо фактичного фінансового результату

Фактор	Вплив	Правило фактичного розрахунку
Графік вибірки	Кошти залучаються не одночасно	Застосовувати середній фактичний залишок
Погашення	Основна сума зменшується	Не множити кумулятивний CAPEX на ставку після погашення
Структура капіталу	Грант, капітал і борг мають різну вартість	Оновлювати ваги за фактичними договорами
Комісії і хеджування	Не повністю відображені в номінальній ставці	Додавати фактичні fees і вартість валютного захисту
Ковенанти	Порушення може підвищити ставку або зупинити вибірку	Враховувати step-up / waiver
Податки	Податковий щит залежить від чинних правил і прибутковості	Перераховувати після зміни ставки або бази

Джерело: сформульовано автором; річний еквівалент не є гарантією або оцінкою NPV. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Додаток Т

Соціально-регіональні розрахункові модулі

Таблиця Т.1

Розрахунок мінімальної ваучерної потреби

Працівники, осіб	Ваучер, грн/особу	Розрахунок	Ваучерна потреба, млн грн	Статус	Обмеження
500	33 280	500 × 33 280	16,640	O/E	Нижня межа; без доплат та інших заходів
1000	33 280	1000 × 33 280	33,280	O/E	Нижня межа; без доплат та інших заходів
2000	33 280	2000 × 33 280	66,560	O/E	Нижня межа; без доплат та інших заходів

Джерело: розраховано автором за максимальною вартістю ваучера 33 280 грн у 2026 р.; актуалізується на дату програми. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Т.2

Повна структура соціально-регіональної потреби за модулями

Показник	Модуль 500	Модуль 1 000	Модуль 2 000	Необхідне джерело	Статус
Працівники, охоплені навчанням, осіб	500	1 000	2 000	Кадровий план проєкту	F/S
Ваучерна потреба, млн грн	16,640	33,280	66,560	Кількість × 33 280 грн	E
Доплата понад ваучер, млн грн	н/д	н/д	н/д	Кошторис закладу та програми	F/E
Підтримка доходу, млн грн	н/д	н/д	н/д	Реєстр учасників, тривалість, норматив компенсації	O/F
Компенсації за працевлаштування, млн грн	н/д	н/д	н/д	Категорії одержувачів і чинний порядок	O/F
Професійна та територіальна мобільність, млн грн	н/д	н/д	н/д	Проїзд, житло, сертифікація, релокація	F/E
Адміністрування і супровід, млн грн	н/д	н/д	н/д	Фактичний штат, закупівлі послуг, інформаційна система	F/E
Працевлаштовані після навчання, осіб / %	н/д	н/д	н/д	Реєстр випускників і трудових переходів	F
Проєкти диверсифікації та інфраструктури, млн грн	н/д	н/д	н/д	Окремі ТЕО; не пропорційно кількості працівників	S/F
Мінімальна підтверджена потреба, млн грн	16,640	33,280	66,560	Лише ваучерна компонента	E

Джерело: сформовано автором за підрозділом 5.1; «н/д» означає відсутність нормативно або фактично підтвердженої суми. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Додаток У

Щорічна розгортка партнерського портфеля у 2026–2035 рр.

Таблиця У.1

Щорічна мобілізація CAPEX і джерел фінансування, млрд євро

Рік	Річний CAPEX	Кумулятивний CAPEX	Гранти	Власний капітал	Кредити МФО	Гарантовані кредити	Transition-облігації
2026	0,201	0,201	0,020	0,040	0,060	0,050	0,030
2027	0,403	0,604	0,040	0,081	0,121	0,101	0,060
2028	0,806	1,410	0,081	0,161	0,242	0,202	0,121
2029	1,208	2,618	0,121	0,242	0,362	0,302	0,181
2030	1,410	4,028	0,141	0,282	0,423	0,352	0,211
2031	0,575	4,603	0,057	0,115	0,172	0,144	0,086
2032	0,767	5,370	0,077	0,153	0,230	0,192	0,115
2033	0,959	6,329	0,096	0,192	0,288	0,240	0,144
2034	0,959	7,288	0,096	0,192	0,288	0,240	0,144
2035	0,575	7,863	0,057	0,115	0,172	0,144	0,086
Разом	7,863	7,863	0,786	1,573	2,359	1,966	1,180

Джерело: розраховано автором за технічною розгорткою підрозділу 5.2; суми за роками округлені. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця У.2

Щорічні технологічні, екологічні та інформаційні параметри

Рік	Випуск, млн т	CIt, т CO_2-екв./т	Абсолютні викиди, млн т CO_2-екв.	Низьковуглецеві маршрути, %	MRV-охоплення, %	Контрольна подія
2026	8,128	1,9022	15,4612	15,28	64,28	Правила портфеля; старт TEO і MRV
2027	8,846	1,7782	15,7301	23,96	71,96	Перші фінансові закриття; верифікація бази
2028	9,564	1,6490	15,7712	32,64	79,64	Введення ранніх EAF / інфраструктурних модулів
2029	10,282	1,5146	15,5732	41,32	87,32	Масштабування; підготовка до 48,5% CBAM
2030	11,000	1,3750	15,1250	50,00	95,00	Контрольна точка: CIt нижче IIIo
2031	11,800	1,2921	15,2468	54,00	96,00	Розширення DRI–EAF; рефінансування

Рік	Випуск, млн т	CIt, т CO_2-екв./т	Абсолютні викиди, млн т CO_2-екв.	Низьковуглецеві маршрути, %	MRV-охоплення, %	Контрольна подія
2032	12,600	1,2084	15,2258	58,00	97,00	CIt нижче ІПм; поглиблення MRV
2033	13,400	1,1239	15,0603	62,00	98,00	Висока частка CBAM; H_2-ready
2034	14,200	1,0386	14,7481	66,00	99,00	Повне фінансове введення CBAM
2035	15,000	0,9525	14,2875	70,00	100,00	Контрольна точка трансформації

Джерело: складено автором за щорічною технічною розгорткою фінального трансформаційного сценарію 4.1. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця У.3

Щорічні соціальні та партнерські дії

Рік	Соціальні заходи	Партнерська контрольна подія
2026	Картування працівників і територій; раннє повідомлення	Типова угода; реєстр проєктів; базові паспорти
2027	Перші модулі навчання; консультації; механізм скарг	Погоджені соціальні умови фінансування
2028	Навчання під підтверджені вакансії; мобільність	Синхронізація програм з введенням ранніх потужностей
2029	Масштабування навчання; робота з підрядниками	Перевірка готовності до контрольної точки 2030
2030	Оцінка працевлаштування; перегляд територіальних планів	Портфельний огляд 2030 і рішення про другий етап
2031	Оновлення компетентностей під DRI–EAF	Нові угоди і рефінансування зрілих модулів
2032	Розширення міжрегіональної мобільності	Коригування портфеля після досягнення ІПм
2033	Підготовка H_2-ready компетентностей	Аудит концентрації ризиків і залежностей
2034	Повна CBAM-готовність продуктових даних	Перегляд оффтейк і transition finance рамок
2035	Підсумкова оцінка переходів і диверсифікації	Рішення про наступний цикл після 2035 р.

Джерело: розроблено автором на основі дорожніх карт 5.1–5.3. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Додаток Ф

Контрольна матриця звірки і недопущення подвійного рахунку

Таблиця Ф.1

Контрольна матриця формул і результатів

Показник	Формула	Вихідні дані	Джерело	Проміжний результат	Кінцевий результат	Таблиця у 5.3	Таблиця додатка	Можливий перетин	Правило
CAPEX 2030	ΣF_i	4,028; частки 10/20/30/25/15	5.2; Н.1	4,028	4,028	5.24–5.25	Н.1–Н.3	C_CAPEX	CAPEX є базою, не ефектом
CAPEX 2035	ΣF_i	7,863; частки 10/20/30/25/15	5.2; Н.1	7,863	7,863	5.24–5.25	Н.1–Н.3	C_CAPEX	Не додавати до річного ефекту
Річний ефект 2030	CAPEX × ΔC	4,028 × 5,613%	5.2; С.1	0,226092 млрд	226,1 млн	5.24–5.25	С.1–С.2	CBAM	Окремий фінансовий канал
Річний ефект 2035	CAPEX × ΔC	7,863 × 5,613%	5.2; С.1	0,441350 млрд	441,4 млн	5.24–5.25	С.1–С.2	CBAM	Не підсумовувати з CBAM
CBAM 2030 центр	Q × ΔCI × P × S	3 × 0,6460 × 80 × 0,485	3.3; 4.1; Р.4	75,194	75,194 млн	5.25	Р.2, Р.4	CIt, C_CAPEX	Регуляторна експозиція, не економія
CBAM 2035 центр	Q × ΔCI × P × S	3 × 1,0685 × 80 × 1,0	3.3; 4.1; Р.4	256,440	256,440 млн	5.25	Р.3, Р.4	CIt, C_CAPEX	Не є рахунком CBAM
CIt 2030	$\Sigma d_i \times CI_i$	Маршрутні частки і CIt	4.1, додаток Д	1,3750	1,3750	5.25	М.1, У.2	Абсолютні викиди	Не додавати до викидів
Викиди 2030	Q × CIt	11 × 1,3750	4.1	15,1250	15,1250	5.25	М.2, У.2	Умовно уникнені	У 2030 р. +0,1494 до 2025
Умовно уникнені 2030	Q × (CI_{2025} − CIt)	11 × 0,6460	4.1	7,1060	7,1060	5.25	М.2	Абсолютні викиди, CBAM	Контрфактичний контур
Ваучер 1000	N × 33 280	1000 × 33 280	5.1; Т.1	33 280 000 грн	33,280 млн грн	5.25	Т.1–Т.2	Інші соціальні витрати	Не підміняє повну потребу

Джерело: контрольна звірка автора; графа «Таблиця у 5.3» містить номер таблиці підрозділу 5.3. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Таблиця Ф.2

Контрольні арифметичні рівності

Контроль	Арифметична дія	Результат	Статус
Випуск × CIt 2030	11,000 × 1,3750	15,1250 млн т CO_2-екв.	Виконано
Випуск × CIt 2035	15,000 × 0,9525	14,2875 млн т CO_2-екв.	Виконано
Умовно уникнені 2030	11,000 × (2,0210 − 1,3750)	7,1060 млн т CO_2-екв.	Виконано
Умовно уникнені 2035	15,000 × (2,0210 − 0,9525)	16,0275 млн т CO_2-екв.	Виконано
CAPEX 2030 × 5,613%	4,028 × 0,05613 × 1000	226,092 млн євро	Округлено до 226,1
CAPEX 2035 × 5,613%	7,863 × 0,05613 × 1000	441,350 млн євро	Округлено до 441,4
Фінансування 2030	0,4028 + 0,8056 + 1,2084 + 1,0070 + 0,6042	4,0280 млрд євро	Виконано
Фінансування 2035	0,7863 + 1,5726 + 2,3589 + 1,96575 + 1,17945	7,8630 млрд євро	Виконано до округлення
Соціальний модуль 2000	2000 × 33 280	66,560 млн грн	Виконано

Джерело: перевірено автором на неокруглених значеннях. Використано модель OpenAI GPT-5.6 Sol у частині технічної підготовки розрахунків. Статистичні значення перевірено за наведеними першоджерелами.

Висновок контрольної звірки: технологічні, фінансові, регуляторні та соціальні показники мають різні одиниці, причинні канали й часові правила. Вони використовуються спільно для прийняття рішення, але не агрегуються у штучну суму або інтегральний індекс без статистично обґрунтованих ваг.

Додаток Х

СКАНОВАНІ ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Додаток Х.1

МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ
(Мінекономіки)
вул. М. Грушевського 12/2, м. Київ, 01008, тел. (044)200-47-53, факс (044)253-63-71
E-mail: meconomy@me.gov.ua, http://www.me.gov.ua, код ЄДРПОУ 37508596

Міністерство економіки України розглянуло результати наукових досліджень Зеленіна Юрія Миколайовича щодо управління сталим розвитком металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації національної економіки та повідомляє.

Питання підвищення ефективності державної промислової, інвестиційної та кліматичної політики у металургійній галузі є актуальним з огляду на необхідність післявоєнного відновлення промислового потенціалу, адаптації до CBAM, розвитку MRV/ESG-прозорості та збереження експортної стійкості України.

Розроблені Зеленіним Ю.М. науково-практичні рекомендації, які мають теоретичне і прикладне значення, а саме:

- систему індикативних показників питомих викидів парникових газів у металургійній галузі, яка дає змогу кількісно визначати мотиваційну та обмежувальну межі бенчмаркінгу;
- організаційно-економічний механізм регулювання вуглецеємності металургії, що інтегрує MRV, НДТМ, CBAM, ESG-звітність, інтегровані довкільні дозволи та фінансово-інвестиційні стимули;
- методичний підхід до діагностики CBAM-вразливості металургійної галузі, придатний для обгрунтування державної підтримки, інвестиційної пріоритезації та адаптації до європейських кліматичних вимог;
- фінансово-інвестиційний інструментарій низьковуглецевого розвитку металургії на основі blended finance, зниження WACC, гарантійних механізмів, зелених та transition-інструментів фінансування;
- модель партнерства держави, бізнесу, громад і міжнародних інституцій для забезпечення кліматичної стійкості металургійної галузі та справедливого переходу промислових регіонів.

будуть використані при підготовці аналітичних матеріалів, стратегічних документів, механізмів державної підтримки промислової модернізації, адаптації національної економіки до європейських кліматичних стандартів та забезпеченні сталого розвитку металургійної галузі в умовах післявоєнної відбудови

Генеральний директор
Директорату промислової політики **Мороз М.А.**

ДОКУМЕНТ СЕД Мінекономіки АСКОД
Підписувач **Мороз Микола Анатолійович**
Сертифікат 58E2P9E7E900307B04000000700E2E004P309E00
Дійсний з 20.04.2023 10:44:22 по 20.04.2025 10:44:22

Мінекономіки
4693-88/76320-09 від 09.04.2025 13:53

Додаток Х.2

УКРАЇНА
ХАРКІВСЬКА ОБЛАСНА РАДА

вул. Сумська 64, Харків 61002, тел. (057)700-40-57, тел./факс (057)700-53-35
E-mail: info@oblrada-kharkiv.gov.ua Сайт: www.oblrada-kharkiv.gov.ua. Код ЄДРПОУ 24283333

13 листопада 2025 р. № 04-67/151

Довідка про впровадження результатів наукових досліджень Зеленіна Юрія Миколайовича за темою «Управління сталим розвитком металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації національної економіки»

Наукові положення та прикладні напрацювання, отримані Зеленіним Ю.М. за результатами дисертаційного дослідження, розглянуто та схвалено до використання профільними структурними підрозділами Харківської обласної ради при підготовці регіональних програм промислового розвитку, інвестиційної підтримки та післявоєнного відновлення, зокрема в частині:

- адаптації механізмів управління сталим розвитком металургійної галузі до потреб промислових територій, що дозволяє підвищити передбачуваність відновлення виробництв, інвестиційного планування та зайнятості;
- впровадження інструментів «зеленого» комплаєнсу, MRV/ESG-звітності та бенчмаркінгу питомих викидів у діяльність промислових підприємств області;
- оцінювання CBAM-вразливості металургійної продукції та визначення заходів для збереження експортної стійкості підприємств, пов'язаних із металургійними ланцюгами створення вартості;
- розвитку партнерської моделі взаємодії органів влади, бізнесу, громад, працівників та міжнародних інституцій для підтримки справедливого переходу промислових регіонів;
- формування пропозицій щодо залучення фінансово-інвестиційних інструментів низьковуглецевої модернізації, включаючи гарантії, гранти, пільгове кредитування та зелені/transition-облігації.

000361

Зазначені напрацювання мають прикладне значення для підвищення кліматичної, інвестиційної та соціально-економічної стійкості промислових територій Харківської області, розвитку низьковуглецевої модернізації та збереження виробничого потенціалу регіону.

Заступник голови обласної ради **Валерія МУРАЄВА**

Додаток Х.3

УКРАЇНА
КИЇВСЬКА МІСЬКА ВІЙСЬКОВА АДМІНІСТРАЦІЯ
вул. Хрещатик,36, м. Київ, 01044, тел. (044) 202 74 22, 202 71 17, 202 71 29, e-mail:kmda@kma.gov.ua
Офіційний портал Києва https://kyivcity.gov.ua
E-mail для електронних звернень громадян: zvernen@kma.gov.ua Код ЄДРПОУ 00022527

11 березня 2026 р. № 261/03-24

ДОВІДКА
про впровадження результатів наукових досліджень Зеленіна Юрія Миколайовича
за темою «Управління сталим розвитком металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації національної економіки»

Результати дисертаційного дослідження Зеленіна Ю.М. використано Департаментом економіки та інвестицій Київської міської військової адміністрації при підготовці аналітичних матеріалів і пропозицій до міських цільових програм економічного розвитку, інвестиційного залучення та промислової модернізації, зокрема:

- методичний підхід до оцінювання вуглецеємності та CBAM-вразливості промислових виробництв;
- систему індикативних показників питомих викидів парникових газів для бенчмаркінгу та відбору проєктів підтримки;
- організаційно-економічний механізм регулювання вуглецеємності на основі MRV, ESG-звітності та інвестиційних стимулів;
- партнерську модель взаємодії держави, бізнесу, громад та міжнародних інституцій у забезпеченні кліматичної стійкості промисловості.

Зазначені напрацювання сприяють підвищенню стійкості, інвестиційної привабливості та екологічної результативності промислового сектору в умовах воєнного стану, післявоєнного відновлення та євроінтеграційних кліматичних викликів.

Заступник голови Марина ХОНДА

002556

Додаток Х.4

Громадська організація
«Асоціація науковців України»
03113, Україна, м. Київ, пер. Артилерійський 7а, тел. (044) 46(

22 вересня 2025 р. № 83/8-09

Довідка про впровадження
результатів наукових досліджень Зеленіна Юрія Миколайовича
за темою «Управління сталим розвитком металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації національної економіки»

Результати дисертаційного дослідження Зеленіна Ю.М. мають важливе теоретичне та практичне значення для удосконалення організаційно-економічних засад управління сталим розвитком металургійної галузі, підвищення її кліматичної, інвестиційної, експортної та соціальної стійкості.

На основі представлених у дисертації наукових положень ГО «Асоціація науковців України» рекомендує:

- запровадити у практику центральних та місцевих органів виконавчої влади авторський підхід до управління сталим розвитком металургійної галузі на основі поєднання показників CIt, IIм та IIо;
- використовувати національну галузеву систему бенчмаркінгу питомих викидів парникових газів для визначення зон підтримки, адаптації та регуляторного впливу;
- інтегрувати в управлінську практику організаційно-економічний механізм регулювання вуглецеємності металургійної галузі, що поєднує MRV, НДТМ, CBAM, ESG-звітність та інвестиційні стимули;
- застосовувати методику діагностики CBAM-вразливості металургійної галузі для оцінювання експортних ризиків, технологічно-вуглецевого розриву та готовності до верифікації даних;
- використовувати сценарний підхід до формування траєкторій низьковуглецевого розвитку металургії на коротко-, середньо- та довгострокових часових горизонтах;
- сприяти впровадженню фінансово-інвестиційного інструментарію blended finance та партнерської моделі взаємодії держави, бізнесу, громад і міжнародних інституцій.

Отримані результати свідчать про високий науковий рівень дослідження та доцільність їх практичного використання при розробці промислової, кліматичної, інвестиційної, енергетичної та регіональної політики України.

Заступник
Голови

Україна * Громадська організація «Асоціація науковців України» * м. Київ
АНУ
код ЄДРПОУ 42392288

Д.А. Миколаєць

Додаток Х.5

ICC Ukraine

TO WHOM IT MAY CONCERN

11.02.2026 р. № 376-11/89

ДОВІДКА
про впровадження результатів наукових досліджень Зеленіна Юрія Миколайовича за темою «Управління сталим розвитком металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації національної економіки»

Науково-методичні розробки та практичні рекомендації, отримані за результатами дисертаційного дослідження Зеленіна Ю.М., спрямовані на підвищення конкурентоспроможності, інвестиційної привабливості та зовнішньоекономічної стійкості металургійної галузі України в умовах європейського кліматичного регулювання, CBAM та глобальної низьковуглецевої трансформації.

Український національний комітет Міжнародної торгової палати (ICC Ukraine) засвідчує практичну цінність та доцільність використання таких наукових результатів дисертанта: методичного підходу до оцінювання CBAM-вразливості металургійної галузі та визначення ризиків втрати експортної конкурентоспроможності на ринку ЄС; організаційно-економічного механізму регулювання вуглецеємності металургії, що поєднує індикативні показники CIt, IПм, IПо, MRV/ESG-прозорість і фінансові стимули; сценарної моделі низьковуглецевого розвитку металургійної галузі з оцінюванням уникнених вуглецевих витрат та інвестиційної потреби; фінансово-інвестиційного інструментарію формування низьковуглецевої моделі розвитку галузі на основі гарантій, пільгового кредитування, грантів, зелених/transition-облігацій і контрактів попиту.

Зазначені результати можуть бути використані при підготовці рекомендацій для експортоорієнтованих промислових підприємств, формуванні позицій бізнесу щодо CBAM, залученні міжнародного фінансування та розробленні проєктів низьковуглецевої модернізації металургійного виробництва.

Regards

President
member of Ukrainian CM Government Committee
member of the ICC World Council
doctor of Economics, Professor

Volodymyr SHCHELKUNOV

Додаток Х.6

847794

Приватне акціонерне товариство
«Вищий навчальний заклад
«МІЖРЕГІОНАЛЬНА
АКАДЕМІЯ УПРАВЛІННЯ
ПЕРСОНАЛОМ»

Україна, 03039, Київ-39, вул. Фрометівська, 2,
Тел. +38 (044) 490-95-00, maup.com.ua
e-mail: iapm@iapm.edu.ua

МАУП

The Private Joint-Stock Company
«Higher Education Institution
«Interregional
Academy
of Personnel Management»

2, Frometivs`ka Str., 03039 Kyiv, Ukraine,
Tel. +38 (044) 490-95-00, maup.com.ua
e-mail: iapm@iapm.edu.ua

«11» вересня 2026 № 3222

ДОВІДКА
про впровадження результатів дисертаційного дослідження Зеленіна Юрія Миколайовича на тему «Управління сталим розвитком металургійної галузі в умовах низьковуглецевої трансформації національної економіки»

Окремі теоретичні, методологічні та науково-практичні положення дисертаційної роботи Зеленіна Юрія Миколайовича впроваджено в освітній процес ПрАТ «ВНЗ «Міжрегіональна Академія управління персоналом».

Результати дослідження використано під час розроблення та оновлення науково-методичного забезпечення, а також викладання освітніх компонентів магістерського рівня: «Діагностика та моделювання економічних процесів», «Корпоративна соціальна відповідальність бізнесу», ««Економіка та управління корпораціями». У навчальному процесі використано теоретико-методичні положення щодо сутності та принципів сталого розвитку, системного підходу до управління економічними процесами, оцінювання факторів і тенденцій розвитку, формування управлінських рішень та застосування методів аналізу і моделювання соціально-економічних систем.

Використання зазначених положень сприяло актуалізації змісту лекційних і практичних занять, удосконаленню навчально-методичних матеріалів та формуванню у здобувачів вищої освіти системного розуміння сучасних підходів до управління розвитком, взаємозв'язку економічних, організаційних та інституційних чинників, а також навичок аналізу, оцінювання та обґрунтування управлінських рішень.

Ректор **К.В. Муравйов**

МАУП