

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
«КОМПЛЕКСНЕ НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБҐРУНТУВАННЯ
НАПРЯМІВ РОЗВИТКУ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ МЕТАЛУРГІЇ ЗАЛІЗА В
КОНТЕКСТІ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ»
(період виконання 2025-2026 рр.)

Виконано за рахунок бюджетних коштів, спрямованих на забезпечення проведення державними науковими установами наукових досліджень і науково-технічних (експериментальних) розробок за результатами державної атестації

Посилання для цитування: Презентація до звіту з НДР "Комплексне наукове дослідження обґрунтування напрямів розвитку низьковуглецевої металургії заліза в контексті циркулярної економіки". НДЦ ІПР НАН України. Харків. 2026. 24 с. URL: <https://ndc-ipr.org/researches/>

Науковий керівник НДР
д.е.н., проф. Ірина ГУБАРЄВА

Мета роботи: науково-методичне обґрунтування напрямів розвитку низьковуглецевої металургії заліза в Україні в повоєнний період з урахуванням технологічних та економічних передумов, а також екологічних обмежень.

Об'єкт дослідження: процес модернізації металургії заліза, узгоджений з принципами циркулярної економіки.

Завдання дослідження:

- ▶ оцінка сучасного стану металургії заліза і визначення напрямку її повоєнного розвитку на засадах циркулярної економіки, зокрема дослідження ролі металургійної промисловості у розвитку світової економіки та повоєнному відновленні України та її регіонів, аналіз світових тенденцій розвитку металургії заліза, розроблення методичного підходу до визначення перспективного напрямку розвитку металургії заліза в Україні на засадах циркулярної економіки, аналіз сировинного потенціалу та існуючого стану металургійної промисловості України;
- ▶ розроблення методичного забезпечення розвитку низьковуглецевої металургії заліза, в тому числі: розроблення науково-технічних рекомендацій з побудови низьковуглецевої технологічної схеми виробництва заліза прямого відновлення з використанням вітчизняної сировини, розроблення методики складання теплового і матеріального балансу процесу прямого відновлення заліза за запропонованою технологічною схемою, розроблення методичного підходу до обґрунтування основних техніко-економічних показників виробництва заліза прямого відновлення за запропонованою технологічною схемою;
- ▶ обґрунтування напрямів державної підтримки розвитку низьковуглецевої металургії заліза: узагальнення досвіду ЄС щодо податкового стимулювання розвитку зеленої економіки та можливості його використання на етапі повоєнного відновлення економіки України, розроблення наукового обґрунтування щодо реалізації принципів State Aid и рекомендацій ЄС при формуванні програми державної підтримки розвитку зеленої металургії, розроблення рекомендацій щодо застосування місцевих та регіональних інструментів підтримки розробки і реалізації проєктів зеленої металургії для відновлення регіонів України;
- ▶ обґрунтування пілотного проєкту будівництва підприємства з виробництва заліза прямого відновлення: розроблення принципової блок-схеми технології виробництва заліза прямого відновлення, розроблення методичного підходу до балансування мінімізації рівня викидів діоксиду вуглецю та витрат на електроенергію, оцінка суми інвестицій та розрахунок основних техніко-економічних і фінансових показників запропонованого пілотного проєкту.

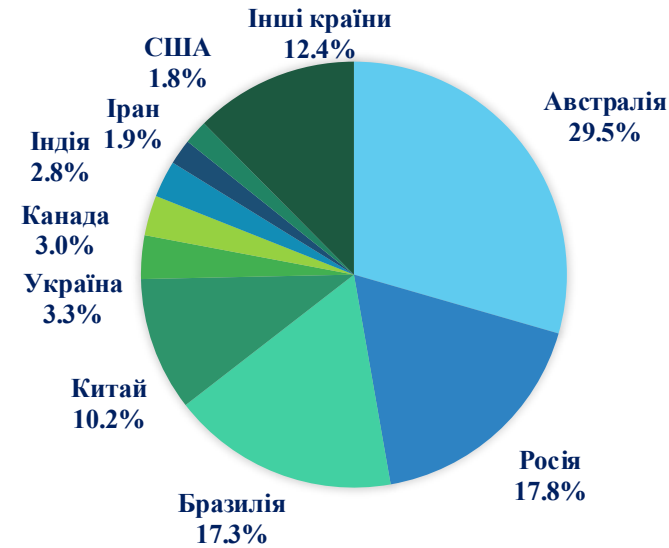
Найважливіші результати дослідження:

- ▶ оцінено сучасний стан металургії заліза і в Україні та світі, проаналізовано сировинний потенціал вітчизняної металургії, на підставі чого розроблено методичний підхід до визначення перспективного напрямку розвитку металургії заліза в Україні на засадах циркулярної економіки;
- ▶ розроблено методичне забезпечення розвитку низьковуглецевої металургії заліза, яке включає науково-технічні рекомендації з побудови низьковуглецевої технологічної схеми виробництва заліза прямого відновлення, методику складання теплового і матеріального балансу за запропонованою технологічною схемою і методичний підхід до обґрунтування основних техніко-економічних показників виробництва за запропонованою технологічною схемою;
- ▶ обґрунтовано напрями державної підтримки розвитку низьковуглецевої металургії; для цього узагальнено досвід ЄС щодо податкового стимулювання розвитку зеленої економіки, розроблено наукове обґрунтування щодо реалізації принципів State Aid и рекомендацій ЄС при формуванні програми державної підтримки розвитку зеленої металургії, розроблено рекомендації щодо застосування місцевих та регіональних інструментів підтримки реалізації проєктів зеленої металургії;
- ▶ обґрунтовано пілотний проєкт будівництва підприємства з виробництва заліза прямого відновлення для чого розроблено принципову блок-схему технології виробництва заліза прямого відновлення, розроблено методичний підхід до балансування мінімізації рівня викидів діоксиду вуглецю та витрат на електроенергію, оцінено суму інвестицій та розраховані основні техніко-економічні і фінансові показники запропонованого пілотного проєкту.

Групування провідних країн світу за обсягами виробництва сталі у 2023-2024 рр.

Групи країн (рівень розвитку металургійного виробництва)	Країна	Виробництво, млн т	
		2023	2024
Лідери	Китай	1028,9	1005,1
	Індія	140,8	149,4
	Японія	87,0	84,0
Сильні індустріальні економіки	США	81,4	79,5
	Росія	76,0	71,0
	Південна Корея	66,7	63,6
Регіональні виробничі центри	Німеччина	35,4	37,2
	Туреччина	33,7	36,9
	Бразилія	32,0	33,8
Нові індустріальні економіки	Іран	30,7	31,4
	В'єтнам	19,2	22,0
	Індонезія	16,8	18,0
Інші значущі виробники	Італія	21,1	20,0
	Тайвань (Китай)	19,1	19,2
	Мексика	16,4	13,8
Країни з трансформаційною економікою	Україна	6,2	7,6
	Польща	6,4	7,1
	Казахстан	3,9	4,2

Структура світових запасів залізної руди в 2024 р.



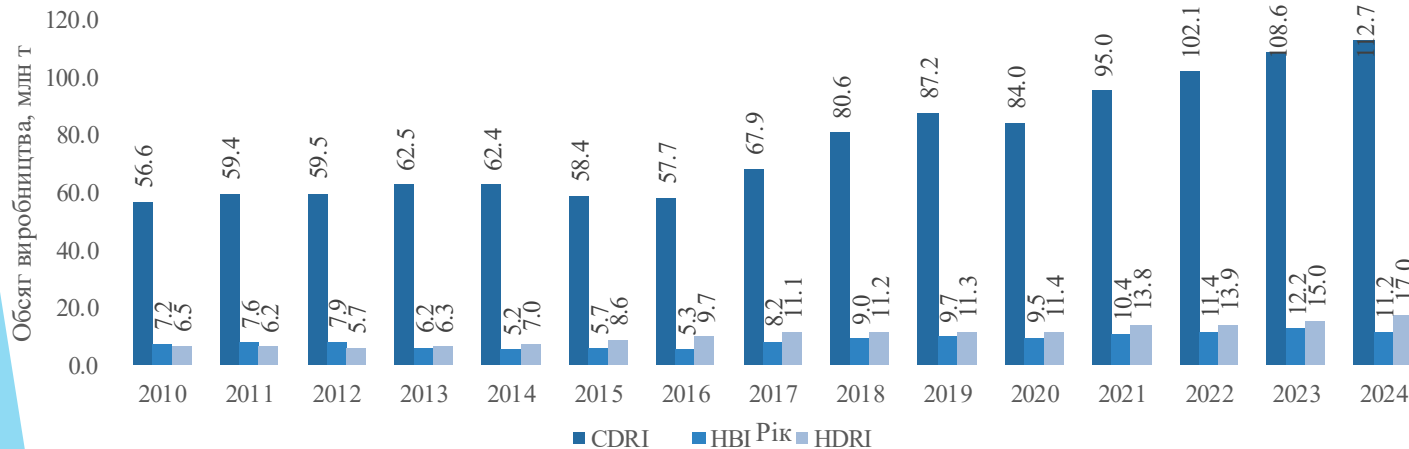
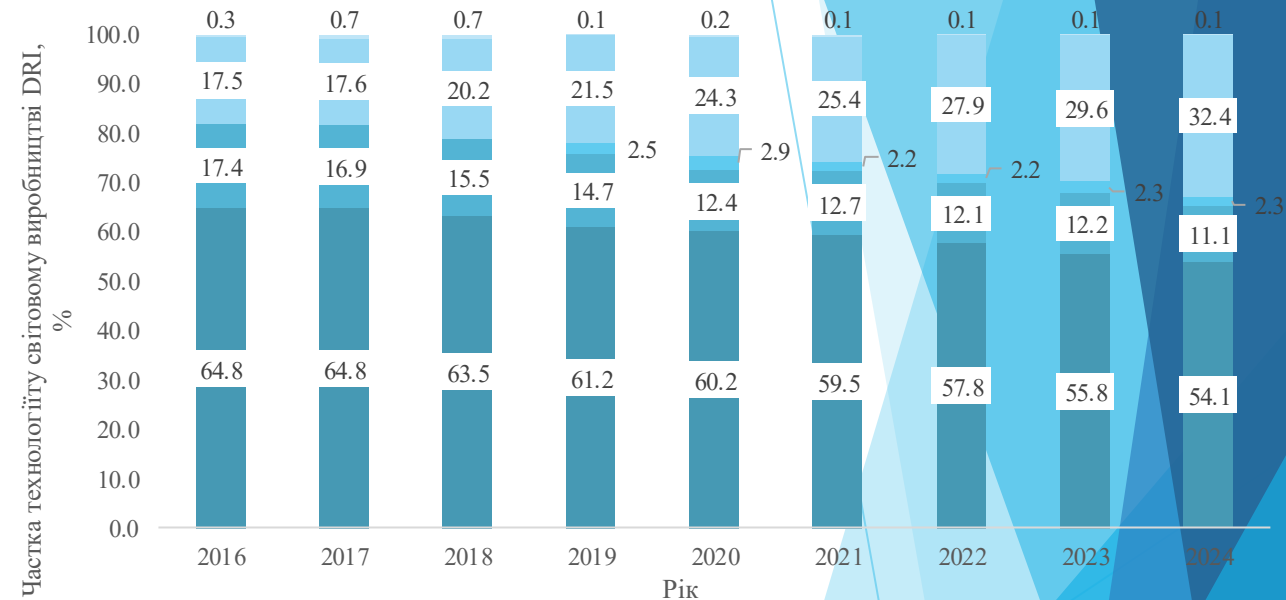
Динаміка виробництва чавуну в світі у 2014-2024 рр., млн т

Регіон	2014	2021	2022	2023	2024	Тренд у 2014-2024 рр.	ТЗ у 2014-2024 рр., %	СТП у 2014-2024 рр., %
Світ	1186,8	1350,1	1300,8	1312,3	1293,5		109,0	0,9
ЄС-27	85,2	79,0	70,9	64,4	65,8		77,2	-2,6
Інша Європа	20,6	18,6	15,8	15,0	16,1		78,2	-2,4
СНД + Східна Європа	79,5	78,3	60,9	63,3	61,2		77,0	-2,6
Північна Америка	41,2	31,1	28,3	29,3	26,9		65,3	-4,2
Південна Америка	30,7	31,6	29,7	28,5	28,8		93,9	-0,6
Африка	5,3	3,2	2,7	3,2	3,0		57,1	-5,4
Близький Схід	2,8	2,7	3,5	3,5	3,6		129,4	2,6
Азія	917,7	1101,1	1084,6	1100,9	1086,1		118,4	1,7
Океанія	4,0	4,4	4,3	4,1	3,4		85,8	-1,5

Динаміка виробництва заліза прямого відновлення в світі у 2014-2024 рр., млн т

Регіон	2021	2022	2023	2024	Тренд 2014-2024 рр.	ТЗ у 2014-2024 рр., %	СТП у 2014-2024 рр., %
ЄС-27	0,6	0,3	0,2	0,1		14,9	-17,3
СНД	7,8	7,7	7,8	8,0		149,5	4,1
Північна Америка	14,1	14,0	14,4	13,2		109,4	0,9
Південна Америка	2,2	2,4	2,2	1,4		40,8	-8,6
Африка	9,7	11,5	14,8	14,8		269,5	10,4
Близький Схід	44,2	47,9	48,8	49,9		173,1	5,6
Азія	39,4	43,3	50,8	56,8		212,7	7,8
Світ	118,0	127,1	138,8	144,1		174,6	5,7

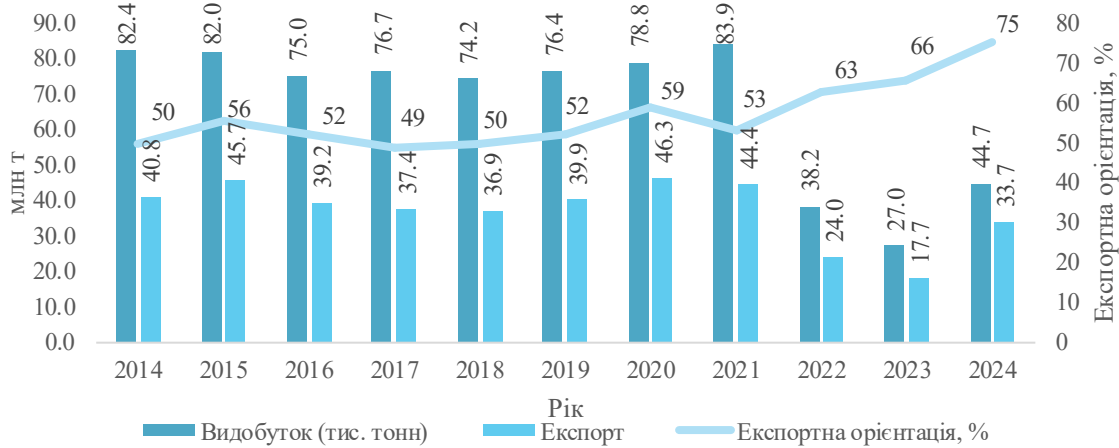
Структура виробництва DRI за технологіями в 2016-2024 рр.



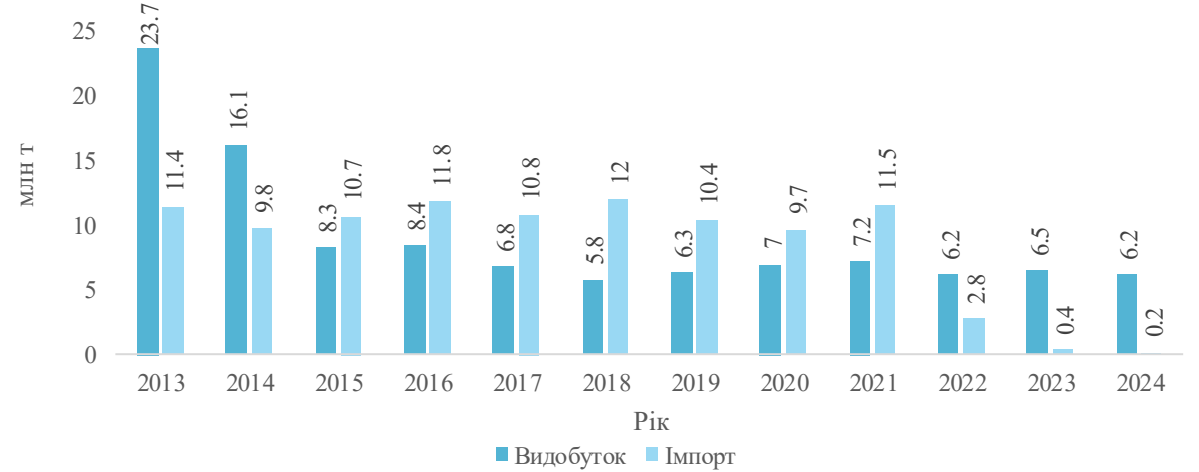
Динаміка виробництва DRI за видами у 2010-2024 рр.

Сировинний потенціал та існуючий стан металургійної промисловості України

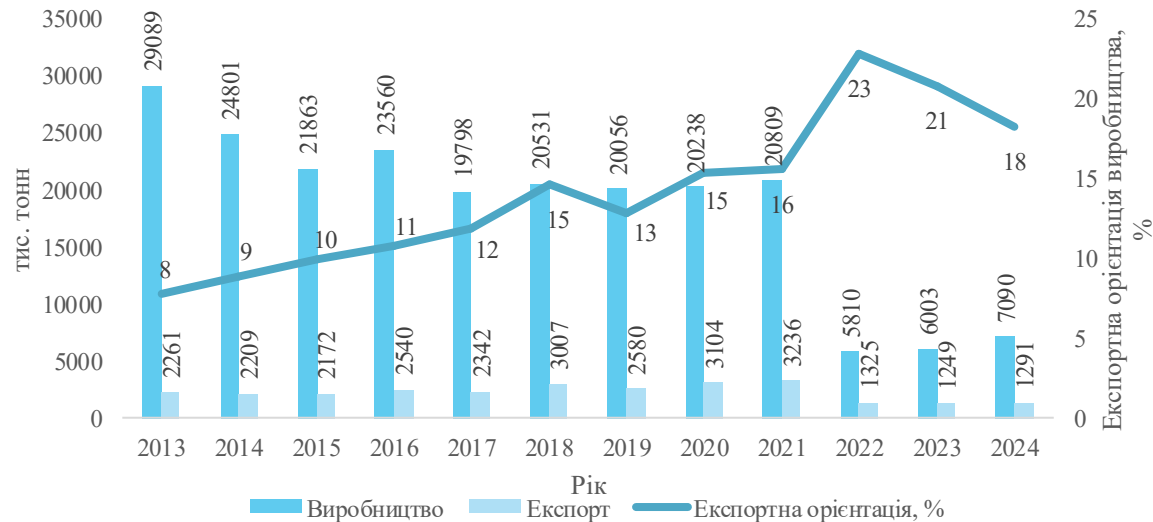
Динаміка видобутку та експорту залізної руди України у 2014-2024 рр.



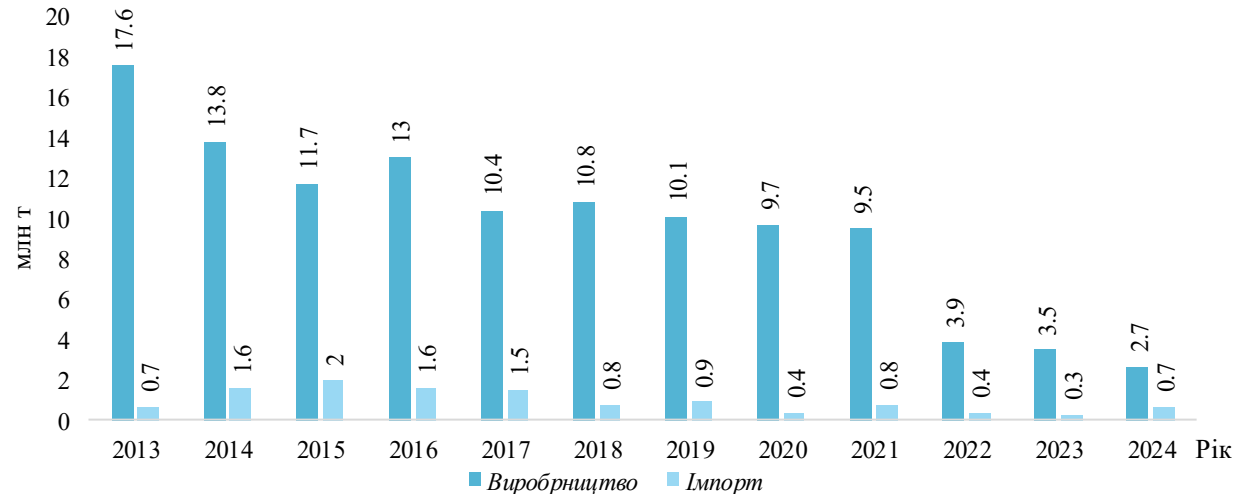
Видобуток та імпорт коксівного вугілля в Україні у 2013-2024 рр.



Динаміка обсягів виробництва та експорту чавуну України в 2013-2024 рр.



Динаміка виробництва та імпорту коксу в Україні в 2013-2024 рр.



Вплив механізму CBAM та структурних змін експорту на металургійну промисловість України

Ключові чинники технологічної трансформації металургійної промисловості в умовах декарбонізації та енергетичного переходу



Аналітичний показник	Характер прояву процесу	Кількісні індикатори (оцінка та динаміка)	Структурні трансформації галузі	Економічні результати та вплив
Впровадження CBAM	Повномасштабне введення механізму з 2026 р.	60-100 дол./т сталі	Відсутність перехідного періоду	Зниження конкурентоспроможності
Ціна вуглецю (CBAM)	Прив'язка до ETS ЄС	75,36 євро/т CO ₂ (Q1 2026)	В Україні <1 євро/т CO ₂	Мінімальний ефект компенсації
Вуглецева інтенсивність	Високий рівень викидів	до 2,3 т CO ₂ /т (Україна) проти ~1,2 т (ЄС)	~88% BF-BOF	Зростання CBAM-витрат
Структура експорту	Концентрація на ринку ЄС	4,76 млн т (2025); >60% (35% у 2021 р.)	Переорієнтація на ЄС	Залежність від одного ринку
Географія експорту	Звуження ринків збуту	Польща, Італія, Болгарія, Румунія, Греція	Втрата Азії та MENA	Обмеження диверсифікації
Напівфабрикати	Скорочення експорту	3,7 млн т → 1,15 млн т (2021-2025)	Втрата ключового сегмента	Зниження валютних надходжень
Чавун	Волатильність експорту	411 тис. т (2025)	Нестабільна динаміка	Коливання доходів

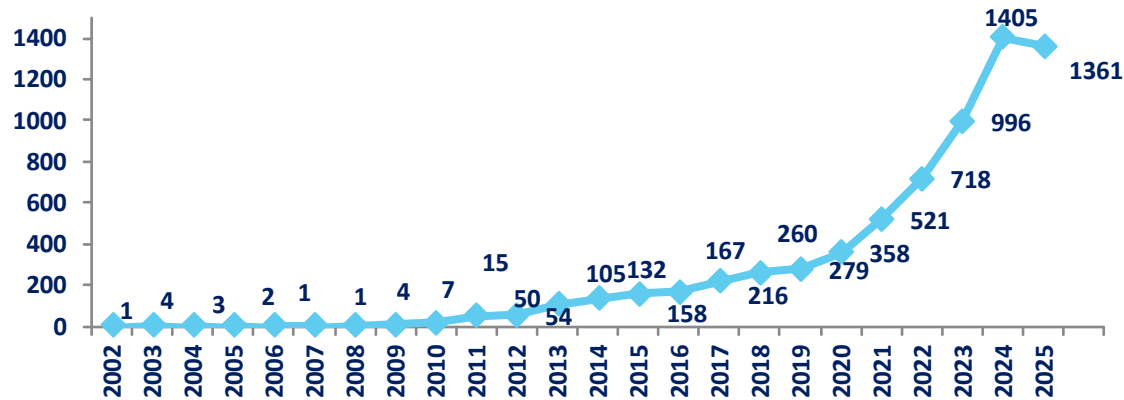
Напрями перспективних перетворень металургії України

Принцип	Україна (традиційний BF/BOF-цикл)	Індія (BF/BOF + вугільний DRI/EAF)	США (Металобрухт+ DRI /EAF)	Саудівська Аравія (шазовий DRI/EAF-цикл)	Трансформації для України
1	2	3	4	5	6
R1 - Refuse (Відмова)	Критична залежність від коксівного вугілля та експорту руди; домінування BF/BOF	Поступова відмова від коксівного вугілля на користь енергетичного для вугільних DRI та газових DRI	Відмова від первинної залізної руди та вугілля на користь металобрухту	Повна відмова від вугілля та доменного виробництва; орієнтація на імпорт високоякісного руд для DRI	Поетапна відмова від фізично зношеного BF/BOF-цикл; припинення експорту залізорудної ренти на користь внутрішнього виробництва власних окатків; відмова від дефіцитного коксу на користь енергетичного вугілля.
R2 - Rethink (Переосмислення)	Металургія як транслятор витрат: руда → кокс → метал → експорт напівфабрикатів	Паралельний розвиток BF/BOF та DRI/EAF для насичення внутрішнього ринку	Металургія - інтеграційний хаб; метал - відновлюваний ресурс у замкненому циклі	Металургія як механізм конвертації газової ренти у промислову вартість: газ → DRI → електросталь	Перетворення металургії на мультиплікатора доходів через розбудову інтегрованих комплексів (газифікація вугілля + електроліз + DRI)
R3 - Reduce (Скорочення)	Висока ресурсо- та енергоємність	Зниження коксозалежності через DRI	Мінімізація використання первинної сировини; ресурсний декамплінг	Мінімізація ресурсного сліду через газовий DRI/ EAF-цикл	Скорочення ресурсо- та енергоємності через впровадження DRI-технологій; зниження мультиплікатора випуску з 3,3 до цільового рівня 2,1-2,3.

	1	2	3	4	5	6
R4 - Reuse (Повторне використання)		Внутрішня циклічність має витратний характер: самопоглинання без створення доданої вартості	Зростання внутрішньої циклічності через інтенсивний оборот DRI/HBI у межах EAF/IF-циклах	Збалансована внутрішня циклічність на основі ефективного обороту металобрухту; високий циркулярний слід	Замикання вторинних потоків у межах газового DRI/ EAF-циклу	Розширення внутрішнього обороту напівфабрикатів (окатків) та повторного використання допоміжних продуктів
R5 - Repair (Відновлення)		Деградація потужностей BF/BOF; висока енергоємність при мінімальному оновленні	Масштабна розбудова DRI- та EAF-потужностей	Модернізація та оновлення EAF-потужностей	Будівництво сучасних DRI/ EAF-циклів	Технологічна модернізація із фокусом на DRI/ EAF як базову платформу: заміна застарілих доменних печей на сучасні реактори прямого відновлення заліза.
Remanufacture (Ремануфактура)		Випуск продукції низьких переділів для експорту без глибокої переробки	Розширення переробки напівфабрикатів	Повноцінний цикл переробки сталі з орієнтацією на преміальні марки для інших виробничих переділів	Нарощування виробництва металу та готових металовиробів для внутрішнього ринку та експорту	Розвиток виробництва готових металевих виробів для потреб повосенного відновлення; перенесення центру ВДВ з видобутку у переробку
R7 - Repurpose (перепрофілювання)		Вузька спеціалізація на напівфабрикатах	Диверсифікація продуктового портфеля	Орієнтація на високотехнологічні застосування	Формування нових індустріальних сегментів для потреб швидко зростаючої економіки	Перепрофілювання виробництва у напрямі продукції з високою доданою вартістю, диверсифікація товарної номенклатури
R8 - Recycle (рециклінг)		Критично низький рівень циркулярності	Початковий розвиток рециклінгу	Домінування рециклінгу (scrap- EAF)	Зростаюча інтеграція вторинних ресурсів	Розвиток системи збору та переробки металобрухту як основи циркулярного циклу
Recover (Відновлення)		Висока енергетична вразливість через коксову залежність.	Відновлення через вугільний DRI.	Відновлення сталі як відновлюваного ресурсу.	Пряме відновлення газом (DRI/EAF).	Впровадження технологій утилізації тепла, газів та побічних продуктів

Розподіл кількості наукових публікацій, присвячених проблематиці державного регулювання розвитку «зеленої» економіки у наукометричній базі Scopus в 2002-2025 рр.

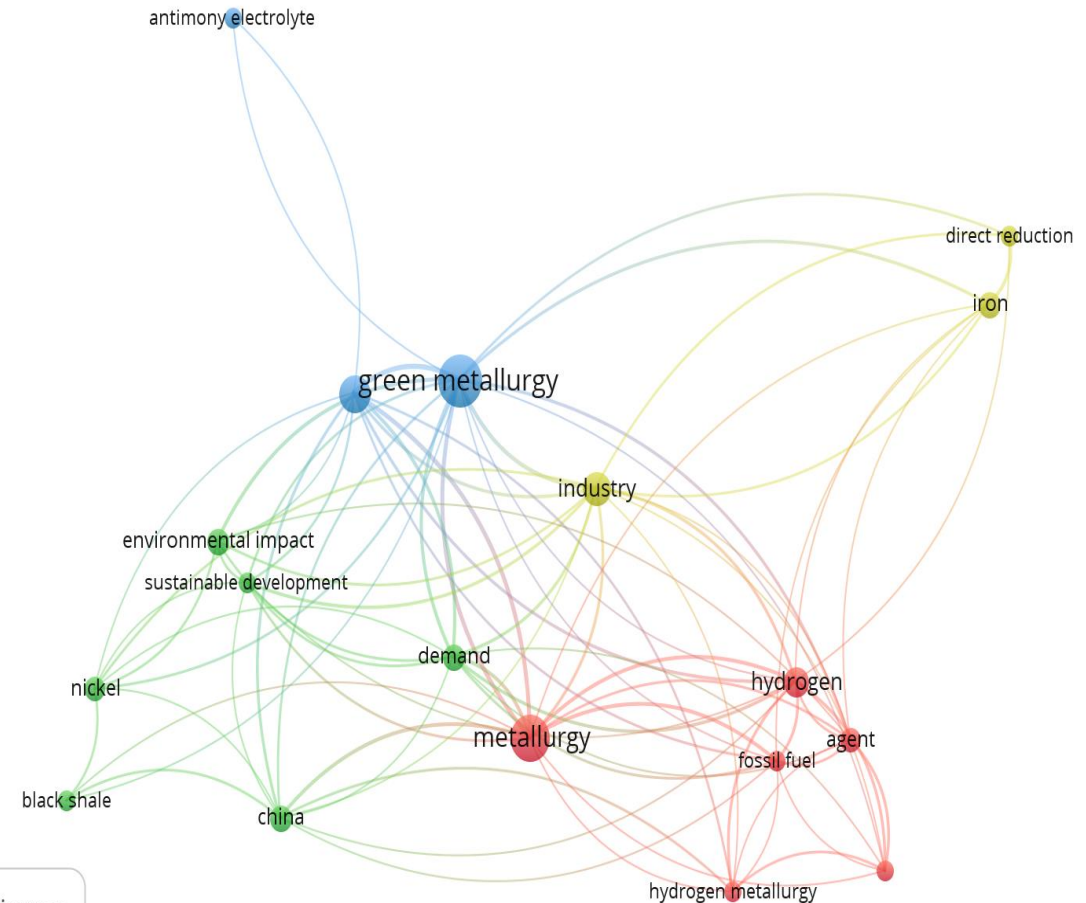
Кількість наукових публікацій, од.



За результатами оцінки взаємозв'язків різних понять виділено 4 кластери. Зелена металургія пов'язується з загальним розвитком, сталим розвитком, впливом на довкілля, забезпеченням попиту та ресурсними можливостями (зелений і синій кластери).

Технологічні аспекти розділені на два кластери: один включає промисловість у цілому та отримання заліза прямого відновлення (будь-якими технологіями), другий включає поняття, пов'язані з використанням водню у металургії.

Граф зв'язків та кластери понять, дотичних до проблеми «зеленої» металургії у публікаціях наукометричної бази Scopus в 2007-2025 рр.

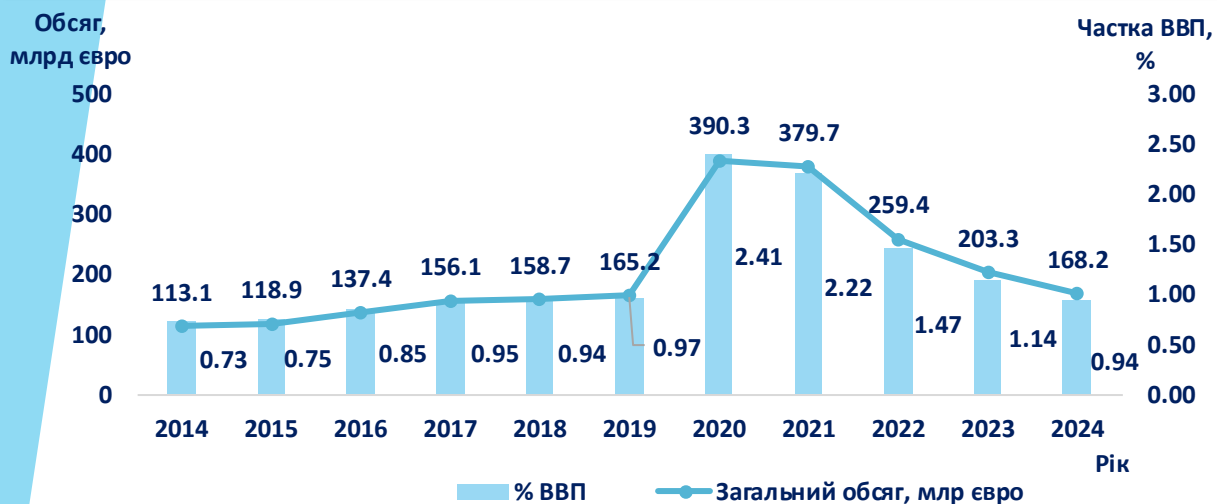


РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНИХ В ЄС ПРАКТИК ПОДАТКОВОГО СТИМУЛЮВАННЯ «ЗЕЛЕНОГО» ПЕРЕХОДУ (2022-2025 рр.)

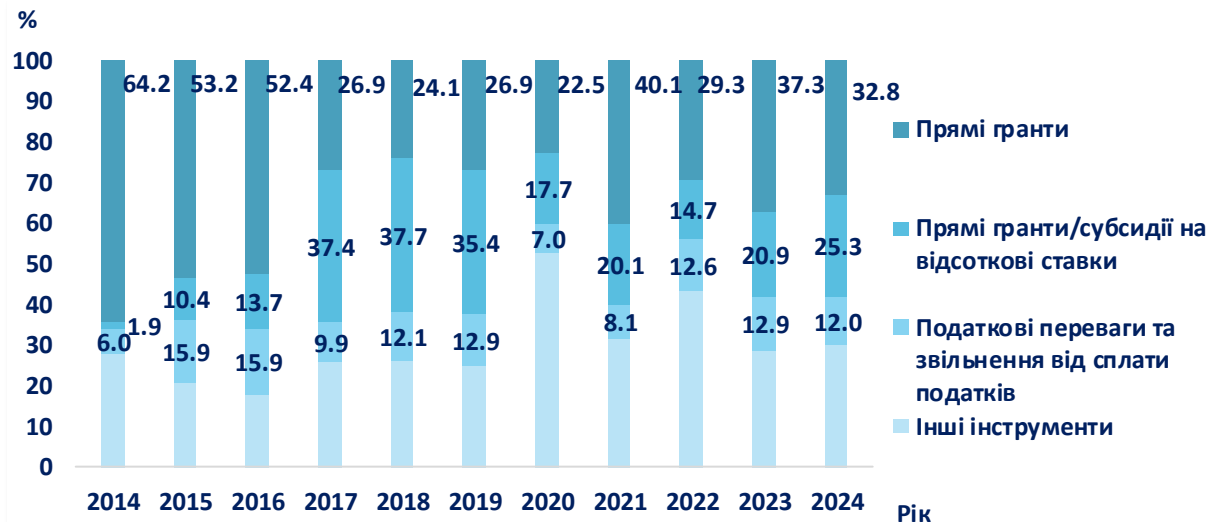
Сектори	Інструментарій, країни ЄС	Цілі впровадження
Зменшення споживання вуглецевого палива	Вуглецеві та енергетичні податки (23 країни Європи: в т.ч. Швеція, Швейцарія, Франція, Нідерланди, Австрія, Польща, Норвегія, Фінляндія)	Підвищення ціни споживання й попиту на викопне паливо
	Внески солідарності (всі країни ЄС, 2022-2024рр)	Вилучення надприбутків в сфері добування викопного палива, стимулювання альтернативних джерел енергії
Виробництво енергії з відновлюваних джерел	Нульова ставка ПДВ (Німеччина, Ірландія)	Стимулювання імпорту, купівлі та встановлення фотоелектричних систем, включаючи системи зберігання електроенергії
	Зменшена ставка ПДВ (Чорногорія, Румунія)	Зменшення вартості постачання та встановлення фотоелектричних панелей, сонячних теплових панелей та високоефективних систем опалення
	Податкові знижки (Німеччина)	Експлуатація фотоелектричних систем
Ресурсо- та енергоекономічні технології, будівлі та обладнання	Повна амортизація (Польща)	Стимулювання інвестицій для суб'єктів малого підприємництва
	Прискорена амортизація (Франція, Нідерланди, Люксембург, Греція)	Стимулювання енергоефективності
	Режим Patent Box (та ін.)	Стимулювання інновацій
	Податкові кредити (Італія)	Стимулювання R&D для стартапів
	Зменшена ставка ПДВ (Румунія)	Стимулювання купівлі економічних та екологічних систем опалювання
Низьковуглецева логістика	Податкова знижка (Словенія, Кіпр)	Енергозбереження та впровадження «зелених технологій»
	Нульова ставка ПДВ (Норвегія)	Стимулювання імпорту автомобілів на чистій енергії
	Прискорена амортизація (Іспанія, Німеччина)	Зменшення витрат на експлуатацію
Інфраструктура для і автомобілів на чистій енергії	Звільнення (зменшення) транспортних податків (Нідерланди, Німеччина, Швейцарія та ін.)	Стимулювання споживання електрокарів
	Податкові кредити (Франція, Іспанія)	Стимулювання прискореного розвитку інфраструктури для автомобілів з низьким споживанням палива і автомобілів на чистій енергії
	Відрахування ПДВ при покупці електромобілів (Литва)	
	Нульова ставка ПДВ (Норвегія)	Стимулювання оновлення інфраструктури для електромобілів
	Прискорена амортизація (Італія, Іспанія)	

ДИНАМІКА ТА СТРУКТУРА ДЕРЖАВНОЇ ДОПОМОГИ (STATE AID) В ЄС

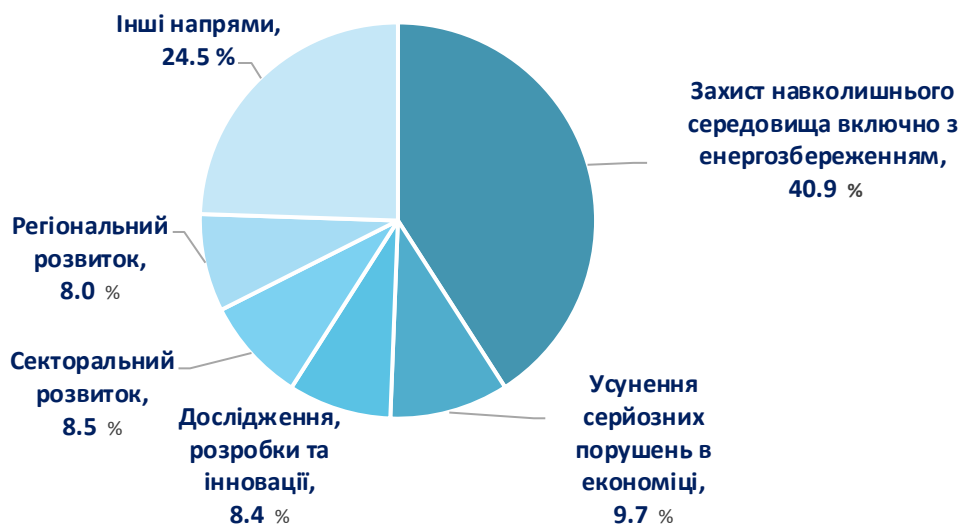
Динаміка обсягів державної допомоги країн-членів ЄС



Структура державної допомоги країн-членів ЄС за інструментами



Структура державної допомоги країн-членів ЄС за напрямками у 2024 р.



Динаміка обсягів державної допомоги країн-членів ЄС, спрямованої на захист навколишнього середовища включно з енергозбереженням



ОСНОВНІ ТА ДОПОВНЮЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПРИДАТНІ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В «ЗЕЛЕНІЙ» МЕТАЛУРГІЇ УКРАЇНИ, ВИЗНАЧЕНІ З УРАХУВАННЯМ РАМКИ ДЕРЖАВНОЇ ДОПОМОГИ CISAF

Основні технології	Доповнюючі технології	Кінцевий продукт з нульовим викидом парникових газів
Енергія Сонця+ системи зберігання електроенергії		
Перетворення енергії сонячного випромінювання безпосередньо на електричну електроенергію (фотоелектричні технології) Сонячні теплові електричні технології (отримання теплової енергії, яка в подальшому перетворюється на електричну)	Технології накопичення і зберігання енергії	Електроенергія
Енергія вітру + системи зберігання електроенергії		
Перетворення кінетичної енергії повітря на електроенергію у вітрових турбінах	Технології накопичення і зберігання енергії	Електроенергія
Океанічна, морська та річкова енергія + системи накопичення і зберігання енергії		
Гідроенергетичні технології (гідроелектростанції)	Гідроакумуючі електростанції	Електроенергія
Технології використання енергії припливних потоків та/або енергії хвиль	Технології накопичення і зберігання енергії	Електроенергія
Водневі технології		
Технології отримання водню шляхом електролізу води (електролізери лужні, з протонно-обмінними або аніонообмінними мембранами, твердооксидні)	Сховища водню Системи транспортування і постачання водню кінцевому споживачу	Водень (за умови, що для електролізу використовується «зелена» електроенергія)
Технології переробки біогазу		
Технології отримання водню з метану, що міститься в біогазі	Технології вловлювання, транспортування і утилізації CO ₂	Водень
Технологія ядерної енергії поділу		
Атомні електростанції		Електроенергія

Примітка: системи накопичення і зберігання енергії передбачають використання технологій електрохімічного накопичення (зберігання енергії окисно-відновного потоку), накопичення енергії тиснених/зріджених газів та інші

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ МІСЦЕВИХ ТА РЕГІОНАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ПІДТРИМКИ РОЗРОБКИ І РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЄКТІВ «ЗЕЛЕНОЇ» МЕТАЛУРГІЇ, ЯКІ СПРЯМОВАНІ НА СТИМУЛЮВАННЯ ІНВЕСТИЦІЙ В НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВУ МЕТАЛУРГІЮ

інституційні та регуляторні

- планування розвитку регіонів і територій, формування планів відновлення;
- механізм спрощеного зонінг-планування;
- муніципальний інвестиційний менеджмент;
- спеціальний режим супроводу інвестицій;
- індустриальні парки «зеленого» типу;
- регіональні угоди про декарбонізацію;

фінансові та економічні

- місцеві податки та податкові пільги;
- регіональні фонди декарбонізації;
- співфінансування техніко-економічних обґрунтувань;
- муніципальні «зелені» облігації;

екологічний моніторинг, публічне партнерство та маркетинг

- система цифровізації моніторингу довкілля;
- академічний інжиніринг;
- регіональний реєстр екологічно відповідальних виробників;
- процес підтримки сертифікації;

ресурсні та інфраструктурні

- системи підтримки локальної генерації ВДЕ;
- території під «енергетичні острови»;
- «енергетичні кооперативи»;
- «водневі хаби»;
- система логістичної оптимізації;
- регіональна стратегія управління брухтом;
- кластери вторинної металургії;

кадрові та науково-освітні

- співфінансування щодо підготовки кадрів;
- регіональне замовлення на «зелені компетенції»;
- центри рекваліфікації;
- регіональні центри трансферу технологій;

державно-приватне партнерство, співробітництво та взаємодія

- використання важелів впливу, авторитету, зв'язків;
- програми міжрегіонального співробітництва;
- створення умов для внутрішньо регіональної взаємодії;

➤ **Досягнення спроможного та сталого життєвого середовища**

Для України, з її значними ресурсними спроможностями (природними, виробничими, людськими, територіальними, екологічними, інфраструктурними, ментальними тощо) можливості від впровадження «зелених» технологій для розвитку «зеленої» металургії можуть розглядатися як вагомий та дієвий аргумент стосовно перспектив досягнення спроможного та сталого життєвого середовища для розвитку індустріальних систем регіонів, територій і громад на етапі повоєнного відновлення і відбудови.

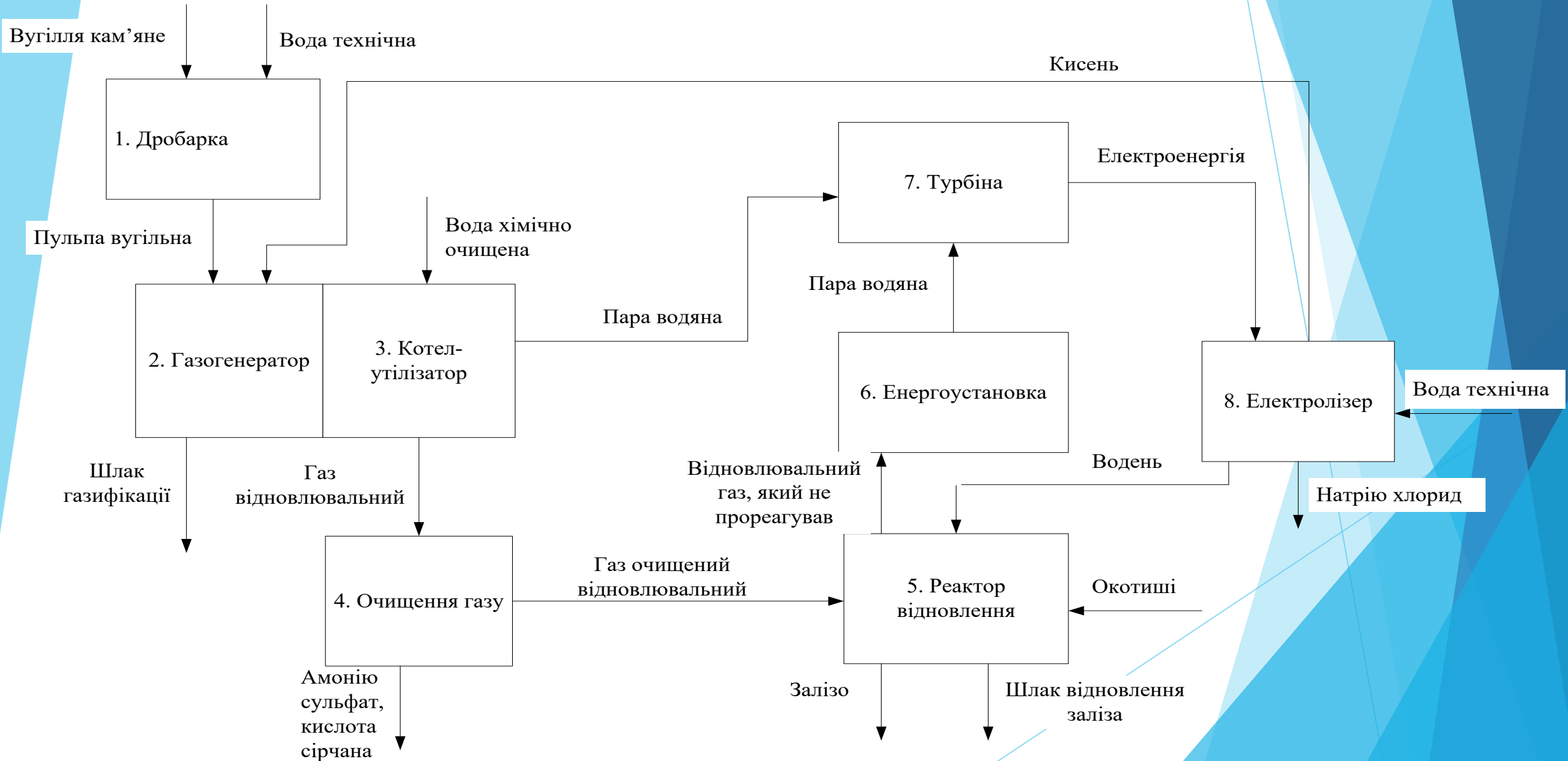
➤ **Можливості інтегрування української економіки в економіку світу та Європейського Союзу**

Розвиток «зеленої» металургії в Україні, як частини «зеленої» економіки, зокрема, в період відновлення і відбудови, коли наша країна отримує шанс побудувати сучасні виробничі потужності за новітніми екологічними стандартами і стати постачальником високоякісної «зеленої» металургійної сировини, створює широкі можливості в процесі інтегрування української економіки в економіку світу та Європейського Союзу.

➤ **Вплив на розвиток інших галузей економіки, синергетичний ефект від якого створює додаткові широкі можливості для просторового соціально-економічного розвитку**

Розвиток «зеленої» металургії слід розглядати не лише з позиції наявних перспектив для розвитку і модернізації самої галузі, а й з позиції її впливу на розвиток інших галузей економіки, на функціонал і життєдіяльність регіонів і територій країни, тобто з урахуванням синергетичного ефекту від такого розвитку, що створює можливості для розвитку територій і громад в Україні, зокрема в умовах воєнного і повоєнного відновлення, враховуючи широкий спектр взаємопов'язаних між собою питань.

Принципова схема матеріальних потоків пілотного проекту виробництва заліза прямого відновлення



Методичний підхід до визначення кількості вугілля, що спрямовується на газифікацію для відновлення заданої кількості окатків

Основні матеріальні потоки запропонованої технології отримання заліза прямого відновлення при переробці 1 млн т окатків на рік



Показник	Значення
Виробництво заліза прямого відновлення	
Кількість окатків, т	1000000
Вміст заліза (заг.) в окатках, %	68,0
Обсяг заліза прямого відновлення, т	652525
Газифікація вугілля	
Кількість вугілля, що спрямовується на газифікацію, т, факт. маси	138000
Кількість вугілля, що спрямовується на газифікацію, т, сухої маси	118411,5
Кількість окремих компонентів сухого синтез-газу:	
Монооксид вуглецю, тис. м ³	104306,8
Водень, тис. м ³	70206,5
Діоксид вуглецю, тис. м ³	26076,7
Усього сухого синтез-газу, тис. м ³	200590
Волога в газі, тис. м ³	42586,2
Кількість вологого генераторного газу, тис. м ³	243176,2
Годинний потік вологого генераторного газу, тис. м ³ /год	27,76
Потреба у водні	
Кількість водню, необхідного для відновлення заліза, тис. м ³	362667,2
Кількість водню, що міститься у синтез-газі, тис. м ³	70218,0
Кількість відновлюваних газів, що не прореагували, усього, тис. м ³	130400,6
У тому числі:	
Монооксид вуглецю, тис. м ³	104306,8
Водень, тис. м ³	26080,1
Годинний потік відновлюваного газу, що не прореагував, тис. м ³ /год	14,886
Кількість водню, що повинно надходити до реактору відновлення, тис. м ³	388747,3
Кількість водню, яку необхідно отримати шляхом електролізу, тис. м ³	318529,3
Потреба в електроенергії	
Для газифікації вугілля, МВт×год	23445,5
Для прямого відновлення заліза, МВт×год	127100
Для отримання електролітичного водню, МВт×год	210397,3
Усього потреба в електроенергії, МВт×год	360942,8
Кількість електроенергії, що виробляється на енергоустановках підприємства	
Потужність енергоустановки, що використовує тепло генераторного газу, МВт	20,8
Потужність енергоустановки, що виробляє електроенергію за рахунок спалювання відновлюваного газу, що не прореагував, МВт	20,1
Кількість електроенергії, що виробляється на енергоустановках підприємства, МВт×год/рік	361086,2

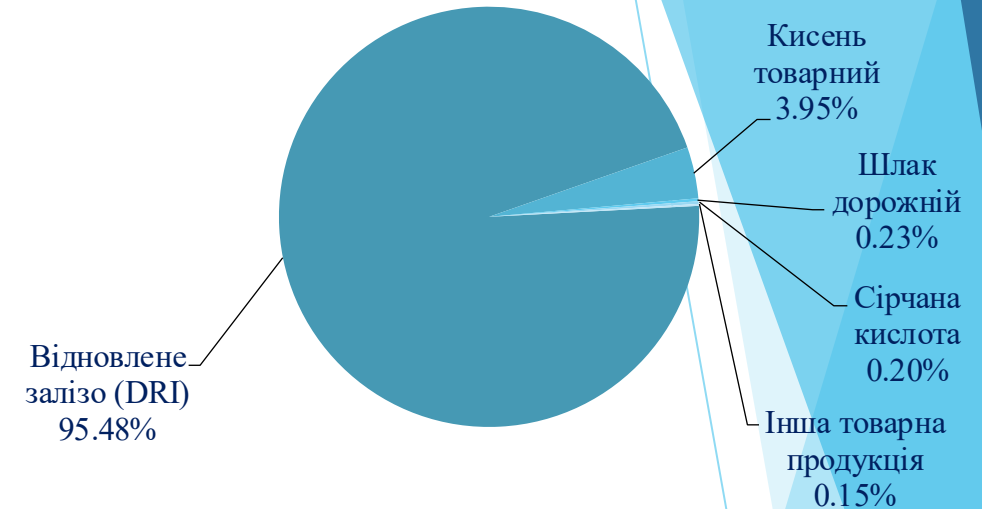
Основна виробнича програма проєкту

Показник	Значення
Виробництво DRI	652,5 тис. т/рік
Сухий синтез-газ	200,6 млн м ³ /рік
Водень	321,3 млн м ³ /рік
Потужність енергоустановки 1	20,8 МВт
Потужність енергоустановки 2	20,1 МВт
Товарний кисень	97,1 млн м ³ /рік
Сульфат амонію	0,9 тис. т/рік
Сірчана кислота	2,2 тис. т/рік
Шлак дорожній	277,4 тис. т/рік

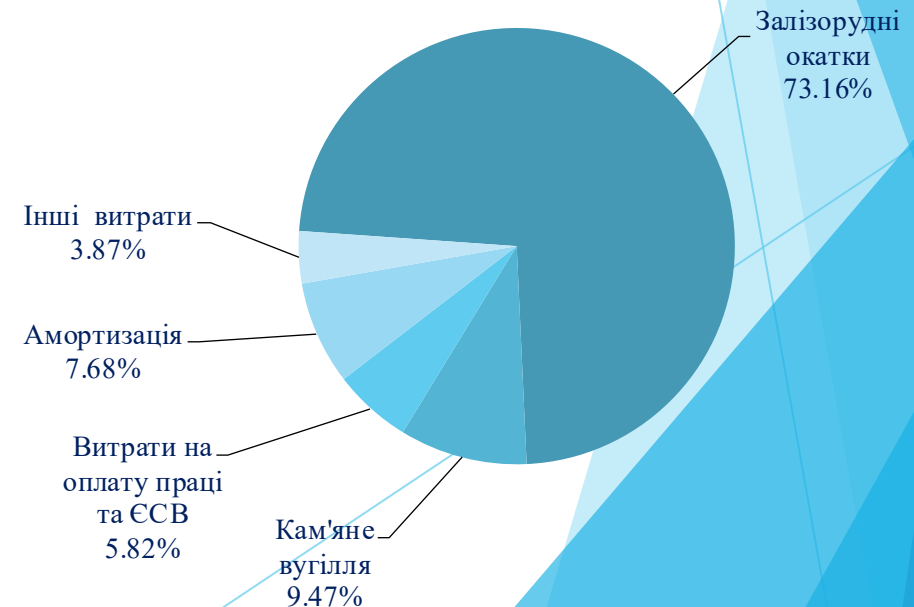
Операційні витрати проєкту за двома варіантами ціни на вугілля, тис. грн

Стаття витрат	93 дол. США/т	160 дол. США/т
Кам'яне вугілля	577814	994088
Залізорудні окатки	6000000	
Флюс	45000	
Інші матеріальні витрати	197021	
Витрати на оплату праці	391560	
ЄСВ	86143	
Амортизація	629710	
Інші операційні витрати	2420	
Екологічний податок	11209	
Витрати на збут	61510	
Усього OPEX	8002387	8418662
Те ж саме, тис. дол. США (курс 45,0 грн/дол.)	177831	187081

Структура товарної продукції проєкту за вартістю



Структура операційних витрат проєкту



Розрахунок доходу від реалізації продукції

Продукт	Сума, тис. грн
DRI	11745450,00
Кисень товарний	485493,06
Сульфат амонію	10343,32
Сірчана кислота	25004,13
Хлорид натрію	7918,79
Шлак дорожній	27734,57
Усього дохід	12301943,87

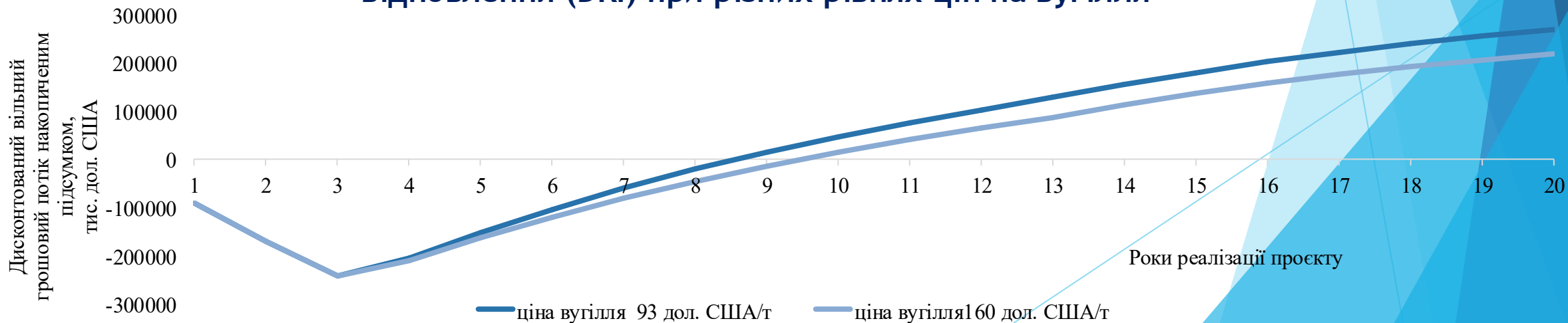
Прибуток і рентабельність проєкту при різних цінах на вугілля, тис. дол. США

Показник	93 дол. США/т	160 дол. США/т
Дохід від реалізації продукції	273377	
Витрати операційної діяльності	177831	187081
Прибуток операційної діяльності	95546	86295
Чистий прибуток	78347	70762
Рентабельність, %	44,1	37,8

Показники інвестиційної ефективності проєкту

Показник	93 дол. США/т	160 дол. США/т
Індекс прибутковості (PI)	2,18	1,97
Внутрішня норма доходності (IRR), %	24	22
Дисконтований термін окупності (DPP), років	6,6	7,4

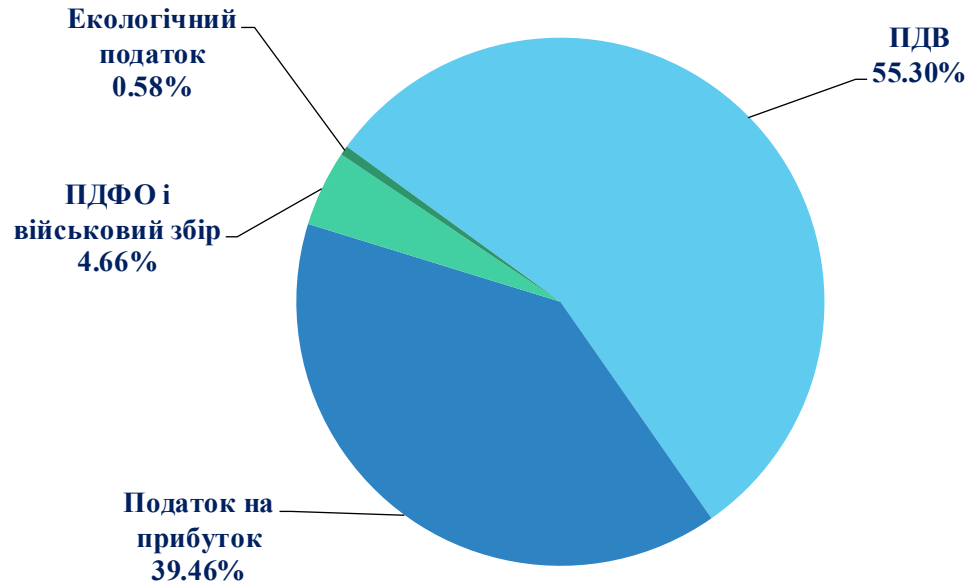
Динаміка чистої приведеної вартості проєкту виробництва заліза прямого відновлення (DRI) при різних рівнях цін на вугілля



Розрахунок суми податкових платежів загальнодержавними податками, тис. грн

Податок	Сума, млн грн
Податок на прибуток	687,8-762,7
Податок на додану вартість	985683-1068938
Податок на доходи фізичних осіб	70,5
Військовий збір	19,6
Екологічний податок на викиди CO ₂	11,2
Усього податкових надходжень, тис. грн	1774,7-1932,9
Теж саме, тис. дол.	39438-42954

Структура податкових надходжень при виробництві заліза прямого відновлення (DRI)



Порівняння екологічних характеристик традиційної та запропонованої технологій

Показник	Традиційне доменне виробництво	Запропонована технологія
Основний відновник	Кокс	H ₂ + синтез-газ
Коксове виробництво	потрібне	не потрібне
Агломерація	переважно потрібна	не потрібна
Викиди CO ₂ , кг/т продукту	близько 2000	372
Відповідність низьковуглецевим орієнтирам	Не відповідає	Відповідає

Основні наукові результати дослідження

На *теоретичному* рівні в роботі одержано такі наукові результати:

- ▶ Розроблено методичне забезпечення розвитку низьковуглецевої металургії заліза, яке включає науково-технічні рекомендації з побудови низьковуглецевої технологічної схеми виробництва заліза прямого відновлення, методику складання теплового і матеріального балансу за запропонованою технологічною схемою і методичний підхід до обґрунтування основних техніко-економічних показників виробництва за запропонованою технологічною схемою;
- ▶ Розроблено методичний підхід до визначення перспективних напрямів розвитку металургії заліза на засадах циркулярної економіки, який, на відміну від існуючих, інтегрує аналіз вхідних і вихідних міжгалузевих зв'язків через систему мультиплікативних ефектів, що дозволяє обґрунтовувати трансформацію металургійного циклу від «транслятора витрат» до моделі «мультиплікатора доходів» на основі R-принципів циркулярної економіки;
- ▶ Вперше розроблено методику розрахунку матеріального і теплового балансів отримання заліза прямого відновлення відновлюваними газами, що отримуються шляхом газифікації вугілля, суміщеного з електролізом води;
- ▶ Розроблено методичний підхід до обґрунтування основних техніко-економічних показників виробництва за запропонованою технологією отримання заліза прямого відновлення. Розробленим підходом вдосконалено методику обґрунтування техніко-економічних показників в комплексних виробництвах;
- ▶ На підставі розроблених науково-технічних рекомендацій запропоновано принципову схему пілотного проєкту підприємства з прямого відновлення заліза синтез-газом, який отримується при газифікації вугілля та електролітичним воднем, який отримується за рахунок електроенергії власного виробництва;
- ▶ Для подальших розрахунків розроблено методичний підхід щодо визначення обсягів переробки сировини за яким досягаються мінімальні викиди парникового газу - діоксиду вуглецю з одночасним повним забезпеченням виробництва власною електроенергією;

Основні наукові результати дослідження

На *емпіричному рівні* в роботі одержано такі наукові результати:

- ▶ Вперше обґрунтовано цілісну аналітичну конструкцію дослідження ролі металургійної промисловості у розвитку світової економіки та повоєнному відновленні України, яка поєднує оцінку глобальної динаміки виробництва сталі, гео економічних зрушень на ринках залізної руди, металобрухту та DRI/HBI, аналіз структурних втрат і трансформацій металургійної промисловості України в умовах війни, а також визначення стратегічних напрямів її модернізації та низьковуглецевої трансформації.
- ▶ Обґрунтовано перспективний напрям розвитку металургії заліза України, що полягає у переході від традиційного BF/BOF-циклу до формування повноцінного циркулярного DRI/EAF-циклу, який дозволяє змінити функціональну роль галузі з «транслятора витрат» на «мультиплікатора доходів» шляхом перенесення центру генерації валової доданої вартості з добувної ланки до переробних переділів на основі використання національної залізорудної та паливно-енергетичної бази, забезпечуючи оптимізацію міжгалузевих зв'язків через зниження мультиплікаторів випуску та одночасне зростання мультиплікатора ВДВ, підвищення циркулярного сліду й мінімізацію сировинної залежності.
- ▶ Запропоновано науково-практичні рекомендації щодо реалізації принципів і рекомендації ЄС з надання державної підтримки розвитку зеленої металургії, які включають пропозиції щодо змін до чинного законодавства та необхідності розробки комплексної стратегії декарбонізації економіки, застосування в програмних документах розвитку металургії отриманого в результаті аналізу CISAF переліку основних та допоміжних технологій зеленої металургії, як пріоритетів державної підтримки розвитку та модернізації галузі, використання світового досвіду розвитку металургійного виробництва у межах екоіндустріальних парків;
- ▶ Запропоновані науково-практичні рекомендації щодо застосування місцевих та регіональних інструментів підтримки розробки і реалізації проєктів «зеленої» металургії, які спрямовані на стимулювання інвестицій в низьковуглецеву металургію. Ці рекомендації, спрямовані на їх використання органами місцевої та регіональної влади, в першу чергу, в процесі формування та реалізації стратегій, програм, проєктів розвитку регіонів, територій, громад, а також для підтримки і стимулювання підприємницької діяльності, створення привабливого і комфортного бізнес середовища тощо;

Практична значимість отриманих результатів полягає в розробці принципової схеми пілотного проєкту підприємства з виробництва заліза прямого відновлення, яке дозволить виробляти нову для українського ринку продукцію з більшою доданою вартістю.

За результатами виконаного дослідження були розроблені наступні аналітичні документи:

- ▶ Аналітична записка щодо обґрунтування напряду побудови сучасної низьковуглецевої металургії, заснованої на використанні наявного в Україні сировинного потенціалу - направлено до ВГО «Український союз промисловців і підприємців» (УСПП);
- ▶ Науково-технічні рекомендації з побудови низьковуглецевої технологічної схеми виробництва заліза прямого відновлення з використанням вітчизняної сировини - направлено до Державного підприємства «Український державний науково-дослідний вуглехімічний інститут» (УХІН) - отримано позитивний відгук;
- ▶ Аналітична записка «Кращі практики податкового стимулювання розвитку зеленої економіки» - направлено до Об'єднання промисловців і підприємців Харківської області - регіонального відділення ВГО УСПП;
- ▶ Техніко-економічне обґрунтування будівництва підприємства з виробництва заліза прямого відновлення - направлено до Української науково-промислової асоціації «Укркокс» та до об'єднання підприємств «Укрметалургпром» - отримано позитивні відгуки.

Об'єкти інтелектуальної власності

- ✓ Подано заявку на отримання патенту України на корисну модель (номер заявки u 2025 05316). Шульга І.В., Котляров Є.І., Кизим М.О., Хаустова В.Є., Салашенко Т.І. «Спосіб прямого відновлення заліза»
- ✓ Подано заявку на реєстрацію авторського прав на твір (номер заявки c202601071) Хаустова В.Є., Кизим М.О., Котляров Є.І., Шульга І.В. «Напрямки розвитку коксової та безкоксової металургії»

Публікація статей у фахових виданнях

1. Хаустова В.Є., Кизим М.О., Котляров Є.І., Шульга І.В. Напрямки розвитку коксової та безкоксової металургії. Вуглехімічний журнал, 2025. - № 4. - С. 3-13. <https://doi.org/10.31081/1681-309X-2025-0-4-3-13>
2. Котляров Є. І., Салашенко Т. І., Шульга І. В., Кизим М. О., Хаустова В. Є. Обґрунтування методичного підходу до розрахунку економічних показників інвестиційного проєкту (на прикладі технології виробництва заліза прямого відновлення). Бізнес Інформ. 2026. №1. С. 144-159. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2026-1-144-159>
3. Кизим М. О., Хаустова В. Є., Котляров Є. І., Шульга І. В., Салашенко Т. І. Сировинний потенціал та існуючі виробничі потужності металургійної промисловості України. Бізнес Інформ. 2026. № 2. С. 149-166. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2026-2-149-166>
4. Іванов Ю., Белікова Н., Полякова О. Проблематика державного регулювання розвитку зеленої економіки у сучасних наукових публікаціях. Бізнес Інформ. № 2. 2026. С. 70-79. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2026-2-70-79>
5. Семигуліна І.Б., Ярошенко І.В. Перспективи публічного управління просторовим розвитком на засадах «зеленої» економіки: місцеві та регіональні інструменти підтримки розробки і реалізації проєктів «зеленої» металургії для відновлення регіонів та територій України. Бізнес Інформ. 2026. № 2. С. 61-69. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2026-2-61-69>.
6. Іванов Ю.Б. Інструментарій податкового стимулювання зеленої економіки: світові тренди та висновки для України. Проблеми економіки. 2026. № 1. С. 13-21. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2026-1-13-21>
7. Шликова В. О., Полякова О. Ю., Котляров Є. І. Державна допомога у розвитку зеленої металургії: принципи і досвід ЄС для України. Проблеми економіки. 2026. №1. С. 122-131. <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2026-1-122-131>
8. Хаустова В. Є., Губарева І. О., Салашенко Т. І., Котляров Є. І., Іляш О.І. Трансформація світової металургії заліза в контексті глобальної декарбонізації та енергетичного переходу. Український журнал прикладної економіки та техніки. 2026. Том 11. № 1. С. 425-435. DOI: [10.36887/2415-8453-2026-1-82](https://doi.org/10.36887/2415-8453-2026-1-82)
9. Шульга І.В., Губарева І.О., Котляров Є.І. Генезис металургії заліза: від криці до зеленої металургії. Вуглехімічний журнал, 2026. - № 1.
10. Іляш О. І., Хаустова В.Є., Губарева І. О., Салашенко Т. І. Глобальні тенденції розвитку металургійної промисловості та технологічна трансформація в умовах декарбонізації: імплікації для повоєнного відновлення України. Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємство». 2026. Випуск № 1 (139).

Тези доповідей на міжнародних конференціях

1. Котляров Є.І., Шульга І.В. Напрямок підвищення конкурентоспроможності вітчизняної металургії заліза в повоєнному періоді. «Конкурентоспроможність та інновації: проблеми науки та практики»: матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 21 листопада 2025 р. Харків: ФОП Лібуркіна Л. М., 2025. С. 249-253.
2. Іванов Ю.Б. Податкове регулювання зеленого переходу: досвід ЄС// Конкурентоспроможність та інновації: проблеми науки та практики: матеріали ХХ Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 21 листопада 2025 р. Харків: ФОП Лібуркіна Л. М., 2025. С. 695-700. URL: https://ndc-ipr.org/media/publications/files/Конференція_Харків_14_11_2019.pdf
3. Котляров Є.І., Шульга І.В. Напрямок розвитку низьковуглецевої сталеливарної промисловості України. International Scientific Conference Innovation and Sustainable Development in the Global Economy: Conference Proceedings (February 6-7, 2026. Leipzig, Germany). Riga, Latvia: Baltija Publishing, 220 pages. P. 34-37. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-650-8-9>
4. Іванов Ю. Б., Шликова В. О. Аналіз тенденцій державної допомоги ЄС в сфері енергозбереження // Управління соціально-економічними трансформаціями господарських процесів: реалії і виклики: збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції (10 квітня 2026 р., м. Мукачево) / ред. кол.: Л.І. Капітан (гол. ред.) та ін. - Мукачево: МДУ, 2026. С. 11-13. URL: <https://msu.edu.ua/wp-content/uploads/2026/04/%D0%97%D0%91%D0%86%D0%A0%D0%9D%D0%98%D0%9A-%D0%A2%D0%95%D0%97-%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97-%D0%9C%D0%A3%D0%95%D0%9F%D1%82%D0%B0%D0%A2-%D0%BD%D0%B0-%D1%81%D0%B0%D0%B9%D1%82.pdf>.
5. Полякова О.Ю. Екоіндустріальні парки: світовий досвід для зеленої індустріалізації України // Управління соціально-економічними трансформаціями господарських процесів: реалії і виклики: збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Мукачево, 10 квітня 2026 р.). /ред. кол.: Л.І. Капітан (гол. ред.) та ін. - Мукачево: МДУ, 2026. С.35-38. URL: <https://msu.edu.ua/wp-content/uploads/2026/04/%D0%97%D0%91%D0%86%D0%A0%D0%9D%D0%98%D0%9A-%D0%A2%D0%95%D0%97-%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97-%D0%9C%D0%A3%D0%95%D0%9F%D1%82%D0%B0%D0%A2-%D0%BD%D0%B0-%D1%81%D0%B0%D0%B9%D1%82.pdf>.
6. Шульга І.В., Котляров Є.І. Удосконалена технологія прямого відновлення заліза вугільним генераторним газом. Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні технології переробки горючих копалин», Харків, НТУ «ХПІ», 15-16 квітня 2026 р.
7. Семигуліна І.Б., Ярошенко І.В. Тенденції «зеленої» економіки та перспективи формування системи управління підтримкою проєктів «зеленої» металургії для відновлення регіонів і територій України \ Бізнес-аналітика в управлінні зовнішньоекономічною діяльністю: матеріали ХІІІ Міжнародної науково-практичної конференції. Київ: Інтерсервіс, 2026. С.459-462. URL: <https://irb.nasoa.edu.ua/server/api/core/bitstreams/701f3b80-eeab-41b8-9ebf-8256f499cb12/content>
8. Іляш О. І., Хаустова В. Є.Губарева І. О., Салашенко Т. І. Роль металургійної промисловості у формуванні індустріального потенціалу та повоєнному відновленні економіки України
9. Котляров Є.І., Шульга І.В., Салашенко Т.І. Поліпшення екологічних характеристик та зменшення вуглецевого сліду металургійного виробництва за безкоксого відновлення заліза. Київ, Харків, 26-28 травня 2026 р. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Литво. Металургія. 2026»
10. Шульга І.В., Котляров Є.І. Поліпшення екологічних характеристик та зменшення вуглецевого сліду металургійного виробництва за безкоксого відновлення заліза. Київ, Харків, 26-28 травня 2026 р. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Литво. Металургія. 2026»
11. Іляш О. І., Хаустова В.Є., Губарева І. О., Салашенко Т. І. Роль металургійної промисловості у формуванні індустріального потенціалу та повоєнному відновленні економіки України. Матеріали ХVІІ Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні підходи до креативного управління економічними процесами» (16-17 квітня 2026 року, Київ)