

РОЗДІЛ 4

МІЖНАРОДНІ ТА ВІТЧИЗНЯНІ ПРАКТИКИ УПРАВЛІННЯ «ЗЕЛЕНОЮ» МЕТАЛУРГІЄЮ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ



*(д.т.н., проф. Белоконь Ю. О., к.т.н., доц. Кириченко О. Г.,
к.т.н., доц. Воденнікова О. С., д.ф.н., проф. Воронкова В. Г.,
д.ф.н., проф. Нікітенко В. О.)*

- 4.1 Цифрові технології в процесах декарбонізації металургійного виробництва.
- 4.1.1 Декарбонізація промисловості.
- 4.1.2 Цифрові технології у контексті сталого розвитку металургійного виробництва.
- 4.2 Енергоефективність і ресурсозбереження в стратегіях «зеленої» металургії.
- 4.3 Зарубіжний досвід енергоефективності і ресурсозбереження в стратегіях «зеленої» металургії.
- 4.4 Вплив цифрової економіки на модернізацію екологічного менеджменту в металургії.
- 4.5 Впровадження принципів циркулярної економіки в металургійний сектор.
- 4.6 Міжнародний досвід сталого розвитку у сфері «зеленої» металургії: стратегії, практики та інновації
- 4.7 Проекти цифрової трансформації виробництва металургійних підприємств в Україні.
- 4.7.1 Українська промислова компанія «ІНТЕРПАЙП» – сучасний впровадjuвач «зелених» технологій та цифрових інструментів для модернізації виробництва.
- 4.7.1.1 Впровадження ERP-системи IT-Enterprise.
- 4.7.1.2 Інструмент для ефективної трансформації промислового холдингу «ІНТЕРПАЙП» SMART FACTORY від IT-Enterprise.
- 4.7.1.2 Інструмент для ефективної трансформації промислового холдингу «ІНТЕРПАЙП» SMART FACTORY від IT-Enterprise.
- 4.7.1.3 Єдине казначейство холдингу «ІНТЕРПАЙП» базується на ERP-рішенні IT-Enterprise.
- 4.7.2 Група «Метінвест» як впровадjuвач цифрових технологій.
- 4.7.3 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» як впровадjuвач проєктів автоматизації та цифровізації виробництва.

4.7.4 Фергехро як впроваджувач принципів Індустрії 4.0.

4.8 Екологічна модернізація агломераційного виробництва як шлях до впровадження «зелених» технологій у металургійну промисловість.

4.8.1 Огляд заходів з екологічної модернізації аглодоменного виробництва в Україні.

4.8.2 Модернізація спікального відділення агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».

4.8.3 Удосконалення процесу газоочищення технологічних газів й аспірації основних вузлів пиловидалення в умовах агломераційної фабрики № 2 ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».

Висновки

Список використаних джерел

4.1 ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОЦЕСАХ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

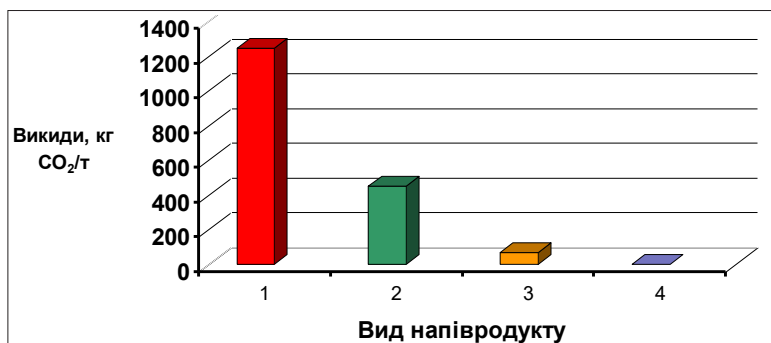
4.1.1 Декарбонізація промисловості

Декарбонізація планети – одна з цілей, яку країни по всьому світу поставили на 2050 рік. Для досягнення цього, декарбонізація виробництва такого елемента, як зелений водень, є одним із ключових факторів. Європейський Союз планує розширити масштаби проєктів з відновлюваного водню та інвестувати в них мільярди євро.

Декарбонізація металургійної галузі є ключовим фактором для досягнення глобальних цілей щодо нульових викидів CO₂. Основними факторами, які сприятимуть інвестиціям в галузь та збільшенню споживання екологічно чистої сталі, є правове регулювання в поєднанні з ціновими стимулами.

Так переробка 1 тонни металевого брухту скорочує 1,5 тонни викидів CO₂, а для брухту нержавіючої сталі цей показник зростає до 4 тонн, тобто щороку тільки європейська сталеливарна промисловість скорочує 132 мільйони тонн CO₂. Таким чином, Європейська сталеливарна промисловість перебуває на шляху до скорочення викидів вуглецю на 55 % до 2030 р. і досягнення кліматичної нейтральності до 2050 р. відповідно до кліматичних цілей ЄС (Green Deal). При цьому з 2026 р. передбачається запровадження спеціального «вуглецевого податку» на імпортовану продукцію в розмірі близько €50 на тону емісії CO₂ з подальшим його зростанням до 2030 р. до €80–90, включаючи вихідні матеріали та енергоносії. Це складає в середньому 8–10 % собівартості виплавки 1 т якісної сталі.

Так згідно даним компанії Primetals Technologies рівень викидів вуглекислого газу при виплавці 1 тони переробного чавуну досягає 1250 кг CO₂/т (рис. 4.1) [4].



1 – чавун; 2 – DRI (на основі CH₄); 3 – DRI (на основі H₂); 4 – металобрухт

Рисунок 4.1 – Рівень викидів вуглекислого газу при отриманні напівпродукту

В металургійному секторі рух з декарбонізації дуже помітний: найбільші інжинірингові організації та інститути включилися у розробку альтернативних методів виплавки та прокатування металів та сплавів, а деякі провідні виробники сталі (SSAB, Tata Steel, ArcelorMittal та інші) навіть розпочали випуск «зеленої сталі» на своїх активах.

Розповсюджені проекти зі створення підприємств, що працюють на металізованій сировині, виробленій прямим відновленням оксидів заліза воднем, отриманим за допомогою відновлюваних джерел енергії (вітру, сонцю, води та ін.). Безпосередньо на підприємствах SSAB, Nippon Steel, Thyssen Krupp, Voestalpine, Posco, Arcelor Mittal, British Steel та інших проєктуються і будуються виробничі лінії, що працюють за технологічними схемами, в основі яких лежить пряме відновлення заліза – DRI.

4.1.2 Цифрові технології у контексті сталого розвитку металургійного виробництва

У сучасному світі сталій розвиток та екологічна безпека стали ключовими пріоритетами для промислових галузей, зокрема – для металургії. Європейські країни активно впроваджують «зелені» технології та цифрові інструменти для модернізації виробництва, зменшення викидів вуглецю та підвищення енергоефективності.

Актуальність дослідження цифрових технологій в процесах декарбонізації металургійного виробництва зумовлена кількома чинниками:

1) Погіршення екологічної ситуації в регіонах, де зосереджено металургійні підприємства, потребує впровадження більш ефективних систем моніторингу, контролю та зменшення шкідливих викидів.

2) Цифровізація промисловості – глобальний тренд, який створює передумови для автоматизації екологічних процесів, впровадження IoT, BigData, штучного інтелекту у контроль за впливом виробництва на довкілля.

3) Нормативний тиск з боку держави та міжнародних організацій стимулює підприємства до модернізації виробництва в напрямку сталого розвитку.

4) Підвищення конкурентоспроможності компаній, які впроваджують цифрові технології у сферу екологічного менеджменту, дає їм стратегічні переваги на глобальному ринку.

5) Переорієнтація на декарбонізацію виробництва відповідно до Європейського зеленого курсу (EuropeanGreenDeal), що вимагає глибоких змін у важкій промисловості.

6) Розвиток цифрової економіки, яка відкриває нові можливості для управління виробничими процесами, зниження витрат ресурсів і моніторингу екологічних показників.

7) Інтеграція принципів сталого розвитку у стратегічне планування підприємств, що сприяє їх конкурентоспроможності на світовому ринку.

8) Потреба в адаптації українських підприємств до європейських стандартів у контексті євроінтеграції та «зеленої» трансформації економіки.

Тема дослідження цифрових технологій в процесах декарбонізації металургійного виробництва є надзвичайно актуальною в умовах переходу до цифрової економіки та потреби в підвищенні екологічної відповідальності металургійних підприємств, так як цифрові технології відіграють ключову роль у декарбонізації металургійного виробництва, допомагаючи зменшити викиди CO₂, підвищити енергоефективність і модернізувати виробничі процеси. Водночас цей шлях супроводжується низкою викликів, про які буде продовжено у процесі дослідження, проаналізовано основні проблеми, перспективи та шляхи їх вирішення.

Таким чином, вивчення та впровадження європейських практик управління «зеленою» металургією є вкрай актуальним для досягнення кліматичної нейтральності, технологічного оновлення галузі та гармонізації з європейськими екологічними нормами. У контексті глобальних викликів, пов'язаних зі зміною клімату, виснаженням природних ресурсів

та необхідністю дотримання принципів сталого розвитку, актуальність дослідження європейських практик управління зеленою металургією значно зростає.

Цифровізація економіки відкриває нові можливості для автоматизації, оптимізації та моніторингу виробничих процесів, що забезпечує підвищення екологічної ефективності та зменшення впливу на довкілля. Застосування цифрових технологій у поєднанні з екологічними стандартами дозволяє формувати нову парадигму управління металургійним виробництвом – зелену металургію, орієнтовану на мінімізацію негативного антропогенного впливу та дотримання вимог сталого розвитку.

Досвід країн Європейського Союзу є важливим джерелом знань і практик для України, яка перебуває на шляху інтеграції до європейського правового і економічного простору. Вивчення і адаптація європейських підходів до управління в галузі металургії є передумовою для підвищення конкурентоспроможності українських підприємств, зменшення їхнього екологічного сліду та досягнення цілей сталого розвитку відповідно до міжнародних зобов'язань. Дослідження зазначеної теми є своєчасним і важливим з наукового, практичного та стратегічного погляду, адже воно дозволяє сформувати науково обґрунтовані підходи до трансформації вітчизняної металургії у відповідності до сучасних екологічних та цифрових трендів Європи.

Цифрові технології в процесах декарбонізації металургійного виробництва – це сукупність сучасних інформаційно-комунікаційних рішень, які спрямовані на зниження викидів вуглекислого газу (CO_2) у металургійній галузі. Такі технології відіграють ключову роль у переході до сталого виробництва, забезпечуючи оптимізацію ресурсів, зменшення енергоспоживання та інтеграцію екологічно чистих джерел енергії.

Серед основних цифрових інструментів, що використовуються в декарбонізації, можна виділити:

- 1) Системи моделювання та симуляції технологічних процесів, які дозволяють точно прогнозувати вплив змін на рівень викидів.
- 2) Індустрія 4.0: використання Інтернету речей (IoT), великих даних (BigData), хмарних обчислень і штучного інтелекту (ШІ) для управління виробничими циклами в реальному часі.
- 3) Цифрові двійники (digitaltwins) – віртуальні копії виробничих систем, що забезпечують точну діагностику, аналіз ефективності та моделювання сценаріїв декарбонізації.
- 4) Автоматизовані системи контролю за споживанням енергії та викидами, що забезпечують своєчасне реагування на відхилення від екологічних стандартів. Таким чином, цифровізація є ключовим вектором

у трансформації металургійної промисловості на шляху до кліматичної нейтральності.

У контексті глобальної кліматичної політики, спрямованої на зниження антропогенних викидів парникових газів, особливого значення набуває декарбонізація промисловості – зокрема, металургійного сектору, який традиційно є одним з найбільших джерел викидів CO₂. У відповідь на ці виклики цифрові технології дедалі активніше впроваджуються в металургійне виробництво, стаючи каталізатором переходу до більш стійких, енергоефективних і екологічно безпечних моделей господарювання.

Цифрові технології у контексті сталого розвитку металургійного виробництва слід розглядати як інтегровану сукупність інструментів, методів і рішень, які забезпечують комплексне управління ресурсами, енергією та екологічними показниками (таблиця 4.1). Перш за все, вони дозволяють здійснювати моніторинг і контроль викидів у режимі реального часу за допомогою сенсорних систем, IoT-пристроїв та аналітичних платформ для обробки великих даних (BigData). Це забезпечує своєчасне виявлення перевищень допустимих норм, оперативне реагування та автоматизовану регуляцію виробничих процесів, сприяючи зниженню негативного впливу на довкілля.

Таблиця 4.1 – Поняття цифровізація процесів декарбонізації у металургії в умовах цифрової трансформації

Категорія	Опис та значення
Визначення	Цифрові технології – це сукупність інструментів і методів (BigData, IoT, AI, цифрові двійники, блокчейн тощо), які забезпечують збір, обробку та аналіз даних для вдосконалення виробничих процесів і зменшення викидів парникових газів
Суть	Забезпечують перехід до кліматично нейтрального виробництва; знижують залежність від викопного палива; підвищують ефективність управління енергоресурсами та екологічний контроль
Місце	Інтегровані на всіх етапах виробничого циклу металургії: від постачання сировини до кінцевого випуску продукції; у системах енергоменеджменту, контролю якості, автоматизації та охорони довкілля
Роль	Сприяють досягненню стратегічних цілей декарбонізації; є драйвером технологічної трансформації; забезпечують прозорість і відповідність міжнародним екологічним стандартам (ESG, GreenDeal тощо)

Цифрові технології також забезпечують оптимізацію енерговитрат і раціональне використання матеріальних ресурсів завдяки застосуванню

алгоритмів машинного навчання (MachineLearning), які здатні прогнозувати пікові навантаження, втрати енергії та найбільш ресурсомісткі етапи виробничого циклу, що дозволяє ефективно планувати процеси та підвищувати їх енергоефективність. Значну роль відіграє інтеграція відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова та воднева енергія, у металургійні процеси за допомогою цифрових платформ управління енергетичними системами, що дозволяє зменшити вуглецевий слід і підвищити стійкість енергетичної інфраструктури підприємств.

Використання цифрових двійників (DigitalTwins) є ключовим інструментом моделювання складних технологічних процесів, що дозволяє здійснювати їх оптимізацію без фізичного втручання у виробництво, передбачати потенційні дефекти, оцінювати енерговитрати та вплив на довкілля ще на стадії проектування або зміни технологій. Крім того, цифрові технології сприяють прозорості та відстежуваності всього ланцюга постачання (SupplyChainTraceability) за допомогою блокчейн-рішень, що підтримують стандарти вуглецевої звітності та забезпечують достовірну документацію для міжнародних аудиторських перевірок і ESG-звітності. Таким чином, запровадження цифрових технологій у металургійних підприємствах не лише підвищує екологічну ефективність виробництва, а й створює значні економічні переваги, включаючи зниження операційних витрат, підвищення конкурентоспроможності продукції та відповідність міжнародним екологічним стандартам, що є критично важливим у сучасному глобалізованому економічному середовищі.

Таким чином, цифровізація процесів декарбонізації у металургії є не тимчасовим трендом, а довгостроковою стратегією модернізації галузі в умовах глобальної трансформації енергетичного та промислового ландшафту.

Цифрові технології відіграють ключову роль у процесах декарбонізації металургійного виробництва, забезпечуючи ефективний перехід до кліматично нейтральної промисловості. Вони включають Інтернет речей (IoT), аналітику великих даних, машинне навчання, цифрові двійники (DigitalTwin), віртуальну та доповнену реальність, а також хмарні технології та кіберзахист. Застосування таких рішень дозволяє оптимізувати процеси плавлення, зменшити витрати енергії, повторно використовувати вторинні ресурси, а також знизити викиди CO₂.

На міжнародному рівні дослідники, такі як Salis A. та ін. (2022), пропонують архітектури типу Edge-Cloud для впровадження когнітивних рішень в обробку сталі. Інноваційним підходом також є використання водневого плазмового відновлення руди (SouzaFilhoetal., 2022), що дозволяє уникнути застосування вуглецю на ключових етапах виробництва.

Серед практичних прикладів – шведський проєкт HYBRIT, який демонструє успішне впровадження зеленого водню замість коксівного палива в доменних печах із повною інтеграцією IT-рішень. Загалом, цифрові технології в металургії це не лише автоматизація, а й основа системної декарбонізації. Завдяки даним, моделям і цифровим двійникам виробництво стає адаптивним, прозорим і стійким до екологічних викликів.

Систематизацію проблем цифровізації декарбонізаційних процесів у металургії представлено в таблиці 4.2.

Цифровізація дає нові інструменти для ефективного контролю, аналізу й оптимізації викидів у металургії: IoT – сенсори та датчики для моніторингу викидів і витрат енергії в реальному часі (таблиця 4.3). AI/ML (штучний інтелект та машинне навчання) – передбачення збоїв, оптимізація енергоспоживання. BigData – аналіз великих обсягів даних для виявлення неефективних ділянок виробництва. Цифрові двійники (digitaltwins) – моделювання процесів для виявлення точок втрати енергії. Автоматизація та роботизація – зменшення ручної праці, точне дозування ресурсів. Декарбонізація металургії безпосередньо залежить від цифрових інновацій. Це не лише знижує викиди CO₂, а й підвищує ефективність, зменшує витрати та покращує екологічний імідж підприємств.

Застосування цифрових технологій у поєднанні з екологічно чистими технологіями сприяє не лише скороченню вуглецевого сліду, а й підвищенню конкурентоспроможності підприємств на глобальному ринку. Отже, цифрові інновації виступають ефективним інструментом реалізації стратегій сталого розвитку та екологічної трансформації металургійної промисловості, що є необхідною умовою для досягнення цілей Паризької безпеки в довгостроковій перспективі.

Таблиця 4.2 – Систематизація проблем цифровізації декарбонізаційних процесів у металургії

Категорія проблеми	Суть проблеми	Приклади / Прояви
1	2	3
Технічні	Обмеження в наявній інфраструктурі та технологічних можливостях підприємств	Застаріле обладнання, відсутність цифрових сенсорів, нестача автоматизованих систем
Економічні	Висока вартість впровадження цифрових рішень і повернення інвестицій	Великі капіталовкладення у модернізацію, ризики для малих і середніх підприємств

1	2	3
Кадрові	Недостатній рівень цифрової компетентності персоналу	Брак фахівців з цифрових технологій, слабка інтеграція ІТ в інженерні команди
Організаційні	Недосконалі управлінські моделі для впровадження інновацій	Низький рівень стратегічного планування, опір змінам всередині компаній
Інституційно-правові	Відсутність належної нормативно-правової бази та стандартів	Недостатня підтримка державою, відсутність чітких регламентів цифрової трансформації
Інформаційні	Проблеми з обробкою, захистом і якістю даних	Уразливість до кіберзагроз, фрагментованість інформаційних систем
Культурні / Психологічні	Спротив змінам і недовіра до нових технологій	Стереотипне мислення, страх перед автоматизацією, зниження мотивації персоналу

Таблиця 4.3 – Цифрові технології в процесах декарбонізації металургійного виробництва: компонент в моделі, місце, роль, функції, приклади

Компонент моделі	Місце в моделі	Роль	Функції	Приклади
Енергоменеджмент	IoT (Інтернет речей)	Моніторинг енергоспоживання в реальному часі	Висока вартість впровадження	Пілотні проєкти, грантова підтримка
Управління процесами	AI/ML	Оптимізація виробничих процесів	Недостатня кваліфікація персоналу	Професійне навчання, співпраця з ІТ-компаніями
Аналітика даних	BigData	Виявлення неефективних ділянок виробництва	Проблеми з інтеграцією даних	Уніфікація форматів, технічна модернізація
Моделювання та симуляція	Цифрові двійники	Прогнозування викидів, візуалізація сценаріїв	Високі вимоги до комп'ютерної потужності	Хмарні рішення, модернізація ІТ-інфраструктури
Технологічне оновлення	Роботизація та автоматизація	Зниження витрат ресурсів, підвищення точності	Висока інерційність виробництва	Поступове оновлення, техніко-економічний аналіз

У результаті аналізу були виявлені **ключові** проблеми (таблиця 4.4), що стримують ефективну реалізацію сучасних стратегій у відповідній сфері. Серед них – нестача нормативно-правового регулювання, обмеженість ресурсів, недостатній рівень цифрової грамотності, опір до змін, а також нерівномірний доступ до новітніх технологій.

Таблиця 4.4 – Основні проблеми застосування цифрових технологій, перспективи та шляхи їх вирішення

Основні виклики	Перспективи застосування цифрових технологій	Шляхи вирішення проблем
1. Складність інтеграції цифрових технологій Старе обладнання не завжди сумісне з новими цифровими системами. Висока вартість модернізації. 2. Великий обсяг викидів CO₂ Металургійне виробництво є одним з найбільших джерел промислових викидів. 3. Брак фахівців з цифрової трансформації Потрібні кваліфіковані кадри для розробки й обслуговування нових систем. 3. Інформаційна безпека Оцифрування відкриває нові ризики кібератак на критичну інфраструктуру.	1. Індустрія 4.0 Впровадження IoT, штучного інтелекту, предиктивної аналітики для оптимізації процесів. 2. Моделювання викидів у реальному часі Моніторинг та аналіз викидів дозволяє оперативно коригувати процеси. 3. Енергоефективні цифрові рішення Використання цифрових двійників (digitaltwins) для моделювання й удосконалення виробництва. 4. Автоматизоване управління ланцюгами постачання Допомагає зменшити втрати та енергоспоживання на всіх етапах.	1. Покрокова цифровізація Починати з локальних пілотних проєктів (наприклад, автоматизоване керування печами). 2. Інвестиції у навчання персоналу Підготовка кадрів у сферах datascience, AI, промислової аналітики. 3. Державна підтримка та міжнародні гранти Залучення фінансування на зелений перехід і цифрову модернізацію. 4. Міжгалузеві колаборації Партнерство з IT-компаніями для створення ефективних рішень.

Разом з тим, **перспективи розвитку** є багатообіцяючими. Сучасні технології, штучний інтелект, автоматизація, міждисциплінарні підходи, міжнародна співпраця відкривають нові можливості для сталого розвитку, підвищення ефективності, екологічної безпеки та соціальної інклюзії. Для подолання наявних викликів необхідно реалізувати **комплексні**

шляхи вирішення: удосконалення законодавчої бази; інвестування в інфраструктуру та інновації; запровадження програм підвищення цифрової та екологічної обізнаності; розвиток публічно-приватного партнерства; активізація наукових досліджень і трансферу технологій.

Таким чином, стратегічне бачення, орієнтоване на інновації, етичну відповідальність та міжсекторальну співпрацю, здатне трансформувати існуючі проблеми у нові можливості та забезпечити сталий розвиток у довгостроковій перспективі.

Металургійним підприємствам доцільно впроваджувати комплексні цифрові рішення для підвищення екологічної ефективності та оптимізації виробничих процесів. Одним із ключових напрямів є застосування систем цифрового моніторингу викидів, що передбачає використання сенсорів та аналітичних платформ для постійного контролю рівня CO₂, температури та витрат енергії на всіх етапах виробництва. Паралельно доцільно розробляти та використовувати цифрові двійники виробничих процесів, які дозволяють моделювати роботу виробничих ліній, прогнозувати екологічні показники та мінімізувати викиди ще на етапі проектування або зміни технологічних процесів. Інтеграція технологій штучного інтелекту та аналітики великих даних (BigData) сприяє оптимізації енерговитрат, оскільки алгоритми ШІ здатні виявляти закономірності в споживанні енергії й автоматично коригувати режими роботи обладнання для підвищення енергоефективності та зменшення вуглецевих викидів.

Не менш важливим є підвищення цифрової компетентності персоналу, оскільки ефективна цифровізація та сталий екологічний менеджмент можливі лише за умови, що кадри володіють необхідними знаннями та навичками роботи з сучасними цифровими інструментами. Сприяння міжгалузевій кооперації також є критично важливим: співпраця металургійних підприємств з ІТ-компаніями, науковими установами та урядовими структурами дозволяє створювати комплексні інноваційні рішення у сфері декарбонізації та цифрового управління екологічними ризиками.

Крім того, використання цифрових платформ для екологічної звітності та аудиту забезпечує прозорість документації щодо впливу на довкілля та відповідає міжнародним стандартам ESG, що підвищує довіру партнерів і інвесторів. Нарешті, застосування цифрових технологій у логістиці та управлінні ланцюгами постачання, включно з IoT та аналітичними системами, дозволяє знизити непрямі викиди за рахунок оптимізації маршрутів, скорочення транспортних витрат та ефективного планування ресурсів. Комплексна реалізація зазначених заходів створює передумови для підвищення екологічної ефективності металургійних підприємств, зменшення їхнього вуглецевого сліду та забезпечення сталого розвитку галузі.

4.2 ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ І РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В СТРАТЕГІЯХ «ЗЕЛЕНОЇ» МЕТАЛУРГІЇ

У сучасних умовах глобальних екологічних викликів та посилення вимог до сталого розвитку, питання енергоефективності та ресурсозбереження набувають ключового значення в рамках стратегій «зеленої» металургії. Металургійна промисловість традиційно є одним з найбільших споживачів енергії та джерел викидів парникових газів, що значною мірою впливає на кліматичні зміни та деградацію довкілля. У зв'язку з цим підвищення енергоефективності та оптимізація використання природних ресурсів розглядаються як пріоритетні напрями декарбонізації галузі та переходу до циркулярної економіки.

Актуальність теми зумовлена необхідністю розробки нових технологічних рішень, здатних зменшити енергетичну інтенсивність виробничих процесів, знизити залежність від викопних джерел енергії та мінімізувати втрати ресурсів на всіх етапах виробничого циклу. Впровадження концепцій енергетичного менеджменту, цифрових технологій моніторингу та автоматизації, повторного використання відходів, а також утилізації вторинної сировини стає ключовим чинником зниження негативного екологічного впливу та підвищення конкурентоспроможності підприємств у межах глобального ринку. Крім того, енергоефективність і ресурсозбереження є важливими індикаторами екологічної відповідальності бізнесу та інтеграції екологічних принципів у корпоративні стратегії. Це відповідає вимогам європейської політики GreenDeal, Паризької кліматичної угоди та Цілей сталого розвитку ООН (зокрема, Цілей № 7, № 9, № 12 і № 13), що передбачають формування низьковуглецевих, інноваційних і ресурсоефективних виробництв.

Таким чином, системне впровадження стратегій енергоефективності та ресурсозбереження в металургії не лише сприяє зменшенню екологічного сліду галузі, але й формує передумови для її технологічної модернізації, екологічної відповідальності та довгострокової економічної стійкості. Концептуалізація проблеми енергоефективності та ресурсозбереження в контексті «зеленої» металургії ґрунтується на міждисциплінарному поєднанні екологічної економіки, індустріальної екології, сталого розвитку та технологічного менеджменту. Основу проблемного поля становить парадоксальна залежність між високою енерго- та ресурсоемісією традиційних металургійних технологій і нагальною потребою в трансформації галузі у відповідності до вимог екологічної безпеки та декарбонізації.

Ключова проблема полягає у суперечності між інерційністю існуючих виробничих систем, що спираються на викопне паливо та лінійні

моделі ресурсокористування, та потребою переходу до інноваційних, циркулярних, енергоефективних моделей виробництва, які мінімізують негативний вплив на довкілля. Це зумовлює необхідність розробки нових концептуальних підходів до оцінки енергоефективності не лише як технічного параметра, а як системної характеристики управлінських, технологічних та екологічних стратегій підприємства.

Проблема також проявляється у відсутності уніфікованих стандартів і механізмів моніторингу енергетичних витрат на всіх етапах металургійного виробництва, недосконалості нормативної бази щодо вторинного ресурсокористування, а також в обмеженості інвестицій у «зелені» технології через високі стартові витрати та довгий період окупності. Важливим елементом проблемного поля є й соціальний аспект – недостатня екологічна свідомість управлінських структур і виробничого персоналу, що гальмує системні зрушення у напрямку сталого розвитку.

Таким чином, концептуалізація проблеми передбачає розгляд енергоефективності й ресурсозбереження як комплексної філософсько-технологічної категорії, що поєднує економічну доцільність, екологічну відповідальність і технологічну інноваційність. Її вирішення вимагає інтеграції сучасних цифрових технологій (Industry 4.0, SmartFactory), розвитку екологічного менеджменту та модернізації виробничих процесів на основі принципів сталості, декарбонізації та екологічного дизайну.

Концептуальна модель стає базою для розробки стратегій сталого розвитку в галузі, орієнтованих на низьковуглецеве майбутнє. Концептуалізація енергоефективності та ресурсозбереження в стратегіях «зеленої» металургії. «зелена» металургія – це стратегічний напрям, що поєднує інноваційні технології в металургійній промисловості з екологічними вимогами сталого розвитку.

Основні принципи «зеленої» металургії формують стратегічну основу для сталого розвитку металургійного сектору та інтеграції його в глобальні екологічні й технологічні тренди.

Першим ключовим принципом є енергоефективність, яка передбачає зменшення енергоспоживання на одиницю продукції без втрати технологічної та якісної характеристик кінцевого продукту. Для її реалізації застосовуються різноманітні підходи, серед яких модернізація обладнання, зокрема впровадження електродугових печей нового покоління, рекуперация тепла шляхом повернення енергії з відхідних газів і шлаку, а також використання інтелектуальних систем управління, що дозволяють оптимізувати витрати енергії в реальному часі та підвищують загальну ефективність виробничих процесів.

Другим принципом є ресурсозбереження, яке охоплює мінімізацію використання сировини та матеріалів через впровадження замкнених технологічних циклів і повторне використання побічних продуктів виробництва, таких як вода, шлак і технологічні гази. Особливе значення має переробка металобрухту як альтернативи первинній руді, що дозволяє зменшити видобуток природних ресурсів та знизити екологічне навантаження на довкілля. У цьому контексті активно застосовуються сучасні біотехнології для збагачення сировини та утилізації відходів, що сприяє комплексній екологізації виробничих процесів.

Третім принципом є синергія з відновлюваними джерелами енергії, що передбачає інтеграцію «зеленої» енергії – сонячної, вітрової, водневої – у виробничі процеси металургії. Такий підхід забезпечує не лише скорочення викидів парникових газів, а й можливість інтеграції підприємств у сучасні енергетичні хаби та системи smartgrid, що дозволяє оптимізувати розподіл енергії та підвищує стійкість енергетичної інфраструктури.

Четвертий принцип охоплює інституційно-нормативну підтримку, яка забезпечує рамкові умови для впровадження «зелених» технологій і стимулює сталий розвиток галузі. До цього належать системи екомаркування та сертифікації (зокрема, ДСТУ ISO 50001:2020 Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання та EMAS (Схема екологічного менеджменту та аудиту)), податкові та фінансові стимули на інвестиції у «зелені» технології, а також національні та міжнародні стратегії декарбонізації промисловості, що встановлюють довгострокові цілі зниження вуглецевого сліду. Разом ці принципи створюють комплексний підхід до трансформації металургійного сектору, що поєднує технологічну модернізацію, ефективне використання ресурсів, інтеграцію відновлюваної енергії та нормативну підтримку, забезпечуючи високий рівень екологічної відповідальності та економічної стійкості.

Ця концептуальна модель стає базою для розробки стратегій сталого розвитку в галузі, орієнтованих на низьковуглецеве майбутнє. Сучасна металургійна галузь перебуває на етапі трансформації, що зумовлена необхідністю підвищення екологічної стійкості та ефективності виробництва (таблиця 4.5). У цьому контексті цифрова економіка відіграє ключову роль, оскільки вона відкриває нові можливості для інтеграції інноваційних технологій у систему екологічного менеджменту.

Аналіз науково-технічної літератури щодо концепцій «зеленої» металургії свідчить, що:

- 1) «Зелена» металургія передбачає впровадження енергоефективних технологій, що знижують споживання енергії при виробництві металів, мінімізуючи викиди парникових газів. Використання відновлюваних

джерел енергії та модернізація енергосистем стає критично важливим для досягнення цілей сталого розвитку.

Таблиця 4.5 – Енергоефективність і ресурсозбереження в стратегіях «зеленої» металургії

Сфера	Технології / Підходи	Переваги
Зменшення енергоспоживання у виробництві сталі	Високе споживання енергії в доменних печах	Електродугові печі (ЕАФ), рекуперація тепла, цифровий моніторинг
Зниження викидів CO ₂ у металургії	Великі викиди парникових газів при використанні коксу	Перехід на водневу металургію, CCUS (уловлювання CO ₂)
Рациональне використання ресурсів	Надмірне використання первинної сировини	Переробка металобрухту, замкнені цикли водопостачання
Зменшення відходів виробництва	Великі обсяги шлаків, пилу, побічних продуктів	Використання побічних продуктів у будівництві та енергетиці
Сталий розвиток і відповідальне виробництво	Відсутність екологічних стандартів на багатьох підприємствах	Впровадження ESG-стратегій, екологічна сертифікація, ISO 14001
Зниження витрат на енергію та очищення ресурсів	Високі витрати на енергію та воду	Автоматизація, інтелектуальні системи управління споживанням ресурсів

2) Впровадження принципів циркулярної економіки дозволяє повторно використовувати технологічні гази, шлаки, брухт та інші відходи виробництва. Це забезпечує не лише економію ресурсів, а й зменшення екологічного навантаження.

3) Інтеграція цифрових технологій (штучного інтелекту, Інтернету речей, цифрового моніторингу) дозволяє здійснювати точне управління енергоспоживанням і ресурсами в режимі реального часу, підвищуючи загальну ефективність виробничих процесів.

4) Розробка нових енергоефективних технологій, зокрема електродугових печей нового покоління, водневої металургії та технологій прямого відновлення заліза, відкриває перспективи зменшення вуглецевого сліду металургійного сектору.

5) Досягнення високих показників енергоефективності та ресурсозбереження можливе лише за умов належної регуляторної підтримки, стимулювання зелених інвестицій та участі в міжнародних ініціативах

з декарбонізації промисловості. Отже, стратегії енергоефективності та ресурсозбереження є ключовими елементами трансформації металургії в екологічно безпечну та технологічно досконалу галузь. Їх успішне впровадження потребує комплексного підходу, що поєднує інновації, цифровізацію, державну політику та екологічну відповідальність.

4.3 ЗАРУБІЖНИЙ ДОСВІД ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ І РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В СТРАТЕГІЯХ «ЗЕЛЕНОЇ» МЕТАЛУРГІЇ

У світовій практиці країни з високим рівнем індустріального розвитку впроваджують комплексні стратегії підвищення енергоефективності та ресурсозбереження в металургійному секторі як ключовому компоненті «зеленої» трансформації промисловості. Досвід таких країн, як Німеччина, Швеція, Японія, Південна Корея та Китай, демонструє широкий спектр технологічних, організаційних та політичних рішень, що сприяють сталому розвитку металургії (таблиця 4.6).

Аналіз зарубіжного досвіду у впровадженні програм сталого розвитку, цифрової трансформації, підвищення енергоефективності та модернізації управлінських систем дозволяє виокремити кілька ключових напрямів, які мають стратегічне значення для розвитку національних економік та інтеграції у глобальні процеси. Першим з них є інтеграція цифрових технологій у всі сфери управління, виробництва та освіти, що включає використання сучасних платформ для моніторингу, аналітики та оптимізації процесів. Прикладами успішної реалізації таких підходів є «Цифрові стратегії–2030» у країнах Європейського Союзу, концепція «Індустрія 4.0» у Німеччині, а також ініціатива “SmartNation” у Сінгапурі, які забезпечують комплексну цифрову трансформацію економічних та соціальних систем, підвищують ефективність управління ресурсами та створюють умови для сталого розвитку.

Другим важливим напрямом є зелений перехід та екологізація економіки, що передбачає широке застосування екотехнологій, стимулювання розвитку відновлюваної енергетики, впровадження принципів циркулярної економіки та розвиток «зеленої» металургії. Ці ініціативи дозволяють зменшити негативний вплив виробничих процесів на довкілля, підвищити енергоефективність та оптимізувати використання природних ресурсів.

Третім напрямом є освітні реформи з акцентом на цифрову компетентність, STEAM-освіту та розвиток інноваційного потенціалу кадрів.

У провідних країнах активно впроваджуються сучасні технології у навчальні процеси, включно з VR/AR, штучним інтелектом, платформами для аналізу великих даних, що сприяє формуванню висококваліфікованих фахівців, здатних ефективно працювати у цифровому та технологічно насиченому середовищі.

Четвертим важливим напрямом є соціальна інклюзія та формування ціннісних орієнтирів, що передбачає увагу до забезпечення гендерної рівності, захисту цифрових прав, персональних даних і прав споживачів у цифрову епоху. Ці підходи сприяють формуванню більш справедливого та безпечного суспільного середовища, підвищують соціальну відповідальність держави та бізнесу та підтримують довіру громадськості до нових технологій.

Таблиця 4.6 – Напрямки програм зарубіжного досвіду та його переваги

Країна	Напрямок програми	Переваги
1	2	3
Німеччина: енергоефективність через цифровізацію та кругову економіку	У межах програми <i>Energiewende</i> та ініціативи <i>Klimaschutzplan 2050</i> німецька металургія орієнтована на:	• впровадження високотехнологічного цифрового моніторингу для оптимізації енергоспоживання в доменних та електропечах; • утилізацію технологічних газів (наприклад, колошникового газу) з подальшим використанням як вторинного джерела енергії; • розвиток водневої металургії (Hydrogen-based Direct Reduction – H-DRI).
Швеція: ««зелена» сталь» на базі водневих технологій	Проект HYBRIT (SSAB, LKAB, Vattenfall) є провідним прикладом:	• повної відмови від викопного палива у виробництві сталі; • використання відновлюваної електроенергії для електролізу води з отриманням «зеленого» водню; • зменшення викидів CO₂ до нуля, що є взірцем для інших країн.
Китай: політика ««зеленої» модернізації»	Китайський металургійний сектор орієнтований на:	• масову реконструкцію доменних печей із застосуванням енергоощадних технологій; • створення екопромислових кластерів, де відходи одних підприємств стають ресурсом для інших; • державні стимули (податкові пільги, «зелений» фінансовий рейтинг) для підприємств, що знижують вуглецевий слід.

Продовження таблиці 4.6

1	2	3
Японія: ресурсо-збереження через технології замкненого циклу	Японський підхід базується на:	• регенерації шлаків та відходів у виробництві цементу, дорожніх покриттів; • впровадженні систем інтелектуального управління енергетичними потоками (AI-платформи); розвитку систем енергетичної синергії між різними секторами (інтеграція металургії та хімії.
Південна Корея: стратегія SmartGreenSteel	Корейські компанії, зокрема POSCO, впроваджують:	• технології цифрового двійника виробництва для прогнозування енерговитрат; • інноваційні методи газової утилізації та рециклінгу доменного шлаку; • активну інтеграцію відновлюваних джерел енергії у виробничі процеси.

П'ятим ключовим напрямом є розвиток партнерства між державою, бізнесом і наукою, що реалізується через успішні моделі публічно-приватного партнерства, створення інноваційних кластерів та технопарків. Така взаємодія забезпечує ефективний обмін знаннями, координацію ресурсів, стимулює розвиток науково-технічного потенціалу та прискорює впровадження інноваційних рішень у виробництво та суспільні процеси.

Загалом, системна інтеграція зазначених напрямів у національну політику та стратегії розвитку сприяє підвищенню конкурентоспроможності, сталості та інноваційності економіки, формує умови для інтеграції у глобальні процеси та забезпечує комплексний соціально-економічний і технологічний прогрес.

Впровадження зарубіжного досвіду (таблиця 4.7) має для України комплексний характер і забезпечує низку стратегічних переваг у сфері державного управління, промислового розвитку та соціально-економічної стабілізації. Перш за все, запозичення європейських моделей управління сприяє посиленню інституційної стійкості та управлінського потенціалу, зміцненню державних інституцій, підвищенню прозорості, ефективності та підзвітності, а також адаптації до принципів належного врядування, що відповідають стандартам ЄС. Одночасно впровадження західних технологічних рішень прискорює цифрову трансформацію, модернізує державну інфраструктуру, забезпечує автоматизацію управлінських процесів та розвиток електронного урядування, що підвищує доступ громадян до цифрових послуг і покращує прозорість функціонування державних органів.

**Таблиця 4.7 – Напрямки програм зарубіжного досвіду
та його переваги**

Напрямок	Приклади реалізації	Ефекти
Воднева металургія	Швеція (HYBRIT), Німеччина	Зменшення CO ₂ до нуля
Загальні тенденції зарубіжного досвіду: Цифровізація та AI	Німеччина, Південна Корея	Енергооптимізація
Кругова економіка	Японія, Китай	Зменшення промислових відходів
Стимули від держави	Китай, ЄС	Інвестиції в чисті технології
Екопромислові парки	Китай, Японія	Ресурсна ефективність

Запозичення кращих практик у сфері енергоефективності та «зелених» технологій дозволяє значно скоротити споживання енергії, зменшити викиди парникових газів та підвищити екологічну відповідальність промислових і державних процесів, одночасно стимулюючи розвиток відновлюваної енергетики та ресурсоефективного виробництва. Адаптація освітніх програм до міжнародних стандартів сприяє розвитку людського капіталу, підвищенню конкурентоспроможності українських фахівців та їх інтеграції у європейський освітній простір, включно з BolognaProcess, що відкриває широкі можливості академічної мобільності та участі у міжнародних дослідницьких проєктах.

Імплементація зарубіжних підходів у сфері права, економіки та бізнес-середовища формує сприятливий інвестиційний клімат, стимулює залучення іноземних інвестицій та підвищує довіру міжнародних партнерів і кредиторів, сприяючи зміцненню економічної привабливості країни. Особливого значення набуває підтримка післявоєнного відновлення, адже технічна, фінансова та експертна допомога міжнародних партнерів дозволяє відновлювати інфраструктуру, економіку та соціальні послуги з високою ефективністю, якістю та сталим підходом. Нарешті, адаптація до глобальних та європейських стандартів сприяє інтеграції України у міжнародні процеси, активній участі у партнерствах, обміні знаннями та кращими практиками, що забезпечує ефективне включення національної економіки у світові та європейські інтеграційні процеси, посилює роль України на міжнародній арені та створює умови для її подальшого стратегічного розвитку.

Зарубіжний досвід демонструє важливість комплексного підходу до цифрової та екологічної трансформації суспільства. Вивчення таких

практик та їх адаптація до національного контексту дозволяє формувати ефективні стратегії розвитку, що базуються на інноваціях, сталості, людському капіталі та міжнародному партнерстві.

Зарубіжний досвід демонструє, що енергоефективність та ресурсозбереження в зеленій металургії неможливі без: системної державної політики; інноваційного технологічного оновлення підприємств; цифрової трансформації виробничих процесів; активної співпраці бізнесу, науки та влади. Врахування цих практик дозволяє Україні сформувати власну національну стратегію «зеленої» металургії, з урахуванням локальних особливостей, глобальних викликів та зобов'язань щодо кліматичної нейтральності.

Зарубіжний досвід у сфері впровадження інноваційних програм демонструє різноманітні ефективні напрямки, серед яких особливо вирізняються: цифровізація управління, енергоефективність та зелений розвиток, смарт-інфраструктура, розвиток людського капіталу через інноваційні освітні моделі, а також інтеграція сталих екологічних стандартів. Основною перевагою цього досвіду є його системність, орієнтація на довгострокову перспективу, гнучкість до змін та мультисекторальний підхід. Вивчення й адаптація найкращих зарубіжних практик дозволяє формувати ефективні національні стратегії, які сприяють сталому розвитку, підвищенню конкурентоспроможності та гармонізації з європейськими й глобальними стандартами.

Вивчення та впровадження програм зарубіжного досвіду відіграє важливу роль у модернізації ключових секторів розвитку України. Зокрема, позитивний вплив проявляється у прискоренні цифрової трансформації, вдосконаленні системи управління, впровадженні енергоефективних технологій, розвитку інноваційної освіти та підтримці сталого розвитку. Адаптація успішних європейських практик сприяє зміцненню інституційної спроможності, наближенню до стандартів ЄС, підвищенню інвестиційної привабливості та соціально-економічній стабільності.

Зарубіжний досвід стимулює розвиток національного потенціалу, сприяє інтеграції України в глобальні процеси та відкриває нові можливості для післявоєнного відновлення й стратегічного зростання.

Впровадження зарубіжного досвіду має низку **ключових наслідків для України**, серед яких можна виділити такі:

Впровадження зарубіжного досвіду у державне управління та промислові процеси має для України низку важливих наслідків, що сприяють її стійкому розвитку та інтеграції у глобальні економічні та технологічні системи. Одним із ключових аспектів є посилення інституційної стійкості та управлінського потенціалу. Вивчення та адаптація європейських

моделей управління дозволяє зміцнювати державні інституції, підвищувати рівень прозорості, ефективності та підзвітності, а також впроваджувати принципи належного врядування, що відповідають сучасним міжнародним стандартам, зокрема стандартам Європейського Союзу. Такий підхід сприяє формуванню стабільної адміністративної системи, здатної ефективно реагувати на економічні, соціальні та екологічні виклики, а також забезпечує посилення довіри громадськості до державних органів.

Другим важливим наслідком є прискорення цифрової трансформації на національному рівні. Запозичення західних технологічних рішень сприяє модернізації державної інфраструктури, автоматизації управлінських процесів, розвитку електронного урядування та цифрових сервісів, що забезпечує підвищення доступу громадян до державних послуг та покращує прозорість функціонування державних інституцій. Впровадження передових цифрових платформ дозволяє інтегрувати аналітичні системи, покращити моніторинг і контроль за виконанням державних програм, а також оптимізувати процес прийняття управлінських рішень. У результаті адаптація міжнародного досвіду не лише прискорює цифрову трансформацію, але й формує умови для ефективного управління ресурсами, підвищення конкурентоспроможності країни та інтеграції в європейський та світовий простір.

Ще одним значним наслідком впровадження зарубіжного досвіду для України є підвищення енергоефективності та екологічної відповідальності промислових і державних процесів. Європейські практики впровадження «зелених» технологій дозволяють зменшити споживання енергії, скоротити викиди парникових газів і покращити загальну екологічну ситуацію в країні, що створює передумови для сталого розвитку. Водночас це сприяє підвищенню ефективності використання ресурсів, стимулює розвиток відновлюваної енергетики та інтеграцію принципів циркулярної економіки у національну промислову політику.

Важливим напрямом є також розвиток людського капіталу через інноваційну освіту, яка відповідає міжнародним стандартам та передовим освітнім практикам. Адаптація освітніх програм до вимог глобального ринку праці дозволяє підвищити конкурентоспроможність українських фахівців, формуючи кваліфіковані кадри, здатні працювати у високотехнологічних і цифрових середовищах. Крім того, інтеграція в європейський освітній простір, зокрема через BolognaProcess, сприяє розширенню академічної мобільності, обміну знаннями та досвідом, а також забезпечує активну участь українських студентів і науковців у міжнародних дослідницьких і навчальних програмах. Такий комплексний підхід не

лише зміцнює людський потенціал, але й створює сприятливі умови для інноваційного та сталого розвитку країни в цілому.

Ще одним важливим наслідком впровадження зарубіжного досвіду для України є зміцнення економічної привабливості та створення сприятливого інвестиційного клімату. Імплементация європейських підходів у сфері права, економіки та бізнес-середовища сприяє формуванню прозорих і передбачуваних правил гри для підприємств, що стимулює залучення іноземних інвестицій, зростання довіри міжнародних партнерів і кредиторів та підвищення конкурентоспроможності національної економіки. Важливим аспектом є також підтримка післявоєнного відновлення, оскільки зарубіжні програми технічної, фінансової та експертної допомоги мають критичне значення для відновлення інфраструктури, економіки та системи соціальних послуг. Впровадження перевірених міжнародних стратегій відбудови забезпечує не лише якість і ефективність цих процесів, а й їхню сталу основу для довгострокового розвитку.

Крім того, адаптація до глобальних та європейських процесів сприяє поступовій інтеграції України у єдині стандарти Європейського Союзу, що наближає країну до потенційного членства та формує основу для активної участі у міжнародних ініціативах. Це включає розвиток партнерств, обмін знаннями та кращими практиками, а також участь у спільних наукових, технологічних та економічних проєктах, що зміцнює позиції України на глобальній арені та забезпечує ефективне включення національної економіки у світові та європейські інтеграційні процеси.

Вивчення та впровадження зарубіжного досвіду є стратегічним інструментом трансформації України. Це не лише джерело інновацій та ресурсів, а й шлях до сталого розвитку, зміцнення демократії, безпеки та підвищення добробуту громадян. Зарубіжний досвід у сфері енергоефективності та ресурсозбереження в металургії демонструє потужний потенціал інноваційного прориву на шляху до вуглецево-нейтрального виробництва, поєднуючи цифрові технології, циркулярну економіку та нові матеріали. Країни ЄС, Японія, Південна Корея, Канада та США впроваджують SmartSteelProduction, де головну роль відіграють штучний інтелект, предиктивна аналітика, моделі цифрових двійників і системи контролю в реальному часі. Такі рішення не лише мінімізують енергетичні витрати та екологічне навантаження, а й оптимізують виробничу логістику, сприяють індустриальній синергії та використанню вторинної сировини.

Використання водневих технологій, електродугових печей нового покоління, утилізації технологічних газів та повторного використання ресурсів перетворює металургійні кластери на «зелені індустриальні

хаби», які стають ядрами сталого регіонального розвитку. Успішні кейси (наприклад, Німеччина – ініціатива SALCOS, Швеція – проєкт HYBRIT) підтверджують, що інтеграція енергоефективних інновацій не лише зменшує викиди CO₂, а й забезпечує конкурентні переваги в умовах глобального зеленого переходу.

Для України адаптація такого досвіду є критично важливою: вона може стати основою індустріальної модернізації, залучення міжнародних інвестицій і просування до європейських стандартів у межах GreenDeal.

4.4 ВПЛИВ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ НА МОДЕРНІЗАЦІЮ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В МЕТАЛУРГІЇ

Цифрова економіка відкриває нові можливості для модернізації традиційних галузей, зокрема металургії, яка є одним із найбільш енергоємних та екологічно навантажених секторів. Зі зростанням глобальної уваги до змін клімату, сталого розвитку та екологічної безпеки, модернізація екологічного менеджменту стає критично важливою. Впровадження цифрових технологій (інтернет речей, штучний інтелект, bigdata) дозволяє підвищити екологічну ефективність підприємств, знизити викиди забруднювальних речовин, покращити моніторинг та прогнозування ризиків. В умовах глобалізації та активного впровадження цифрових технологій усе більшої значущості набуває цифрова економіка як рушійна сила трансформацій у різних секторах економіки. Особливо це стосується металургійної промисловості галузі, що традиційно характеризується високим рівнем енергоспоживання, великим обсягом викидів шкідливих речовин та значним екологічним навантаженням. Актуальність модернізації екологічного менеджменту в металургії зумовлена зростаючим тиском з боку міжнародної спільноти, екологічного законодавства та суспільства щодо дотримання принципів сталого розвитку.

У цьому контексті цифрова економіка відкриває нові можливості для вирішення екологічних проблем через впровадження інноваційних технологій, автоматизацію процесів, аналітику великих даних, використання цифрових двійників, систем штучного інтелекту та Інтернету речей. Цифровізація дозволяє суттєво підвищити ефективність екологічного контролю, своєчасно реагувати на потенційні ризики, мінімізувати негативний вплив виробництва на навколишнє середовище та сприяти формуванню іміджу соціально відповідального бізнесу.

Концептуалізація даного процесу передбачає інтеграцію цифрових технологій в екологічний менеджмент як інструмент системного моніторингу, аналізу та оптимізації природоохоронної діяльності підприємств. Сучасна концепція управління в металургії передбачає перехід від реактивних до проактивних методів управління, що базуються на цифровому аналізі даних і прогнозуванні сценаріїв. Це сприяє не лише покращенню екологічних показників, а й підвищенню конкурентоспроможності галузі на міжнародному рівні. Велике значення цифрової трансформації в екологічному менеджменті металургії полягає в можливості створення ««зеленої» металургії», орієнтованої на зменшення екологічного сліду, оптимізацію ресурсів та формування сталих технологічних рішень.

Технологічна трансформація сприяє переходу до менш шкідливих виробничих процесів. Управлінська ефективність – покращенню прийняття рішень у сфері екологічного контролю. Соціальна відповідальність – підвищенню прозорості та довіри з боку громадськості. Конкурентоспроможність підприємства – впровадженню цифрових екологічних стратегій, які мають перевагу на міжнародних ринках. Таким чином, цифрова економіка виступає не лише як інструмент інновацій, а й як стратегічний чинник екологічної модернізації галузі, що відповідає викликам сучасного світу та вимогам сталого розвитку.

Міжнародний досвід впливу цифрової економіки на модернізацію екологічного менеджменту в металургії

1. Впровадження цифрових двійників та сучасних цифрових технологій у промисловому виробництві стає ключовим інструментом для прогнозування та запобігання екологічним ризикам. Створення digitaltwin у Forging-виробництві дозволяє моделювати всі етапи технологічного процесу в реальному часі, що сприяє мінімізації виробничих відходів, зниженню кількості дефектів продукції та підвищенню ефективності використання матеріалів. У гірничо-збагачувальній промисловості використання цифрових двійників забезпечує інтеграцію даних із різних виробничих ланок, що дозволяє оптимізувати процеси, підвищувати безпечність операцій і одночасно зменшувати екологічний слід, пов'язаний із видобутком і обробкою ресурсів. У сталеливарній та інших суміжних індустріях інтеграція систем штучного інтелекту для predictivemaintenance дозволяє прогнозувати можливі поломки та відмови обладнання, що оптимізує витрати енергії на його підтримку, зменшує непланові простої та скорочує викиди, які виникають при перезапуску виробничих агрегатів. Таким чином, цифрові двійники та аналітичні платформи на базі штучного інтелекту не лише підвищують технологічну ефективність і безпеку, а й створюють передумови для більш сталого та екологічно відповідального виробництва.

2. Циркулярна економіка та підходи екопарків стають ключовими інструментами підвищення екологічної ефективності металургійного виробництва у глобальному масштабі. У Китаї активно реалізуються ініціативи з «чистого виробництва» у важкій промисловості, зокрема у металургії, де у 24 провінціях створено спеціалізовані центри підтримки, що сприяють впровадженню практик переробки, повторного використання матеріалів та екодизайну продукції. У Європейському Союзі аналогічні цілі реалізуються через програму CircularEconomyActionPlan, яка передбачає цільове покращення екологічності промислових ланцюгів, стимулювання сталого виробництва та інтеграцію принципів ресурсоефективності на всіх етапах виробничого циклу.

3. Сучасні цифрові технології, зокрема архітектури edgecloud та XR, забезпечують новий рівень екологічного управління в металургії. Референсна архітектура edge-to-cloud дозволяє збирати та обробляти дані безпосередньо на виробничій площадці та у хмарі, що підвищує точність моніторингу, прогнозування та регулювання екологічних показників. Технології XR, включно з VR, AR та MR, активно використовуються для навчання персоналу, візуалізації критичних процесів та аналізу екологічних ризиків, що сприяє зменшенню операційних помилок, підвищенню безпеки та оперативному реагуванню на потенційні загрози. Таким чином, інтеграція циркулярної економіки з передовими цифровими рішеннями формує стратегічну основу для сталого розвитку металургійного сектору та зменшення його негативного впливу на навколишнє середовище.

Міжнародний досвід демонструє, що цифровізація – це не лише про автоматизацію виробництва, а й потужний інструмент екологічного модернізації в металургії. Вона дозволяє підвищити ефективність, зменшити вплив на навколишнє середовище і перейти до сталих практик виробництва.

Цифрова економіка відіграє ключову роль у трансформації екологічного менеджменту в металургійній галузі України. Інтеграція цифрових технологій (таблиця 4.8), зокрема таких як штучний інтелект, Інтернет речей (IoT), великі дані (BigData), автоматизація процесів забезпечує підвищення ефективності виробництва, зниження рівня шкідливих викидів та оптимізацію використання ресурсів. У контексті України цифровізація екологічного менеджменту стає критично важливою на тлі зобов'язань щодо євроінтеграції, впровадження принципів сталого розвитку та необхідності модернізації застарілої інфраструктури металургійних підприємств. Вона сприяє не лише екологічному оздоровленню, але й підвищенню конкурентоспроможності української металургії на світовому ринку.

Таблиця 4.8 – Вплив цифрових технологій на екологічний менеджмент у металургії

Цифрова технологія	Приклад впровадження (країна / компанія)	Екологічний ефект	Економічний ефект	Коментар
Штучний інтелект	ArcelorMittal (Франція)	Прогнозування викидів, контроль якості повітря	Зниження витрат на екологічні штрафи, оптимізація енерговитрат	Впроваджено систему eco-AI для управління печами
Цифрові двійники	Voestalpine (Австрія)	Зменшення шкідливих викидів у реальному часі	Підвищення ефективності обладнання на 12 %	Візуалізація екологічного впливу виробництва
BigData та аналітика	BaowuSteel (Китай)	Точний моніторинг CO2	Зниження споживання сировини	Впровадження програми «чистої сталі»
Edge-to-Cloud архітектура	NipponSteel (Японія)	Автоматичне регулювання фільтраційних систем	Підвищення продуктивності, зменшення простоїв	Гібридна модель обробки даних
Інтернет речей (IoT)	TataSteel (Індія)	Виявлення витоків та аварій	Зменшення втрат матеріалів, безпека	Встановлено 3000+ датчиків моніторингу
XR-технології (AR/VR)	SSAB (Швеція)	Навчання працівників з охорони довкілля	Зниження кількості аварій на 40 %	Віртуальні тренінги на заводах
Цифрова логістика	POSCO (Південна Корея)	Оптимізація транспортування сировини	Менше паливовитрат – зниження CO ₂	Зменшення логістичних втрат на 20 %
Циркулярна економіка	CC (в межах GreenDeal)	Повторне використання відходів	Стимулювання інновацій та «зеленого» бізнесу	Впроваджено до законодавства
Хмарні обчислення	Tenaris (Італія/Аргентина)	Централізований екомоніторинг	Скорочення витрат на інфраструктуру	Єдина цифрова платформа для управління
Блокчейн (у звітності)	Vale S. A. (Бразилія)	Прозорість в екологічних показниках	Підвищення інвестдовіри	Сертифікація «зеленої» продукції

Таким чином, необхідним кроком для розвитку сталого та екологічно безпечного металургійного виробництва є розробка державної стратегії цифрової трансформації екологічного менеджменту у галузі, яка враховує кращі світові практики та передові технологічні рішення. Така стратегія передбачає комплексну модернізацію підприємств, включаючи інвестування у цифрову інфраструктуру, зокрема встановлення систем моніторингу викидів у режимі реального часу, автоматизованих екологічних аудитів та інших цифрових платформ для контролю та управління екологічними показниками. Одночасно важливим напрямом є підвищення цифрової грамотності працівників галузі. Для стимулювання впровадження інноваційних цифрових рішень доцільно запровадити пільги та фінансові стимули для підприємств, які демонструють активність у застосуванні екологічних технологій. Важливим аспектом є забезпечення відкритості екологічної інформації для громадськості через цифрові платформи, що підвищує прозорість діяльності підприємств та формує відповідальне ставлення бізнесу до навколишнього середовища. Окрім цього, стратегія має включати підтримку стартапів та інноваційних проєктів у сфері «зеленої» металургії, які розробляють цифрові рішення для зменшення негативного впливу виробництва на екосистему, що сприяє розвитку інноваційного потенціалу галузі та реалізації принципів сталого розвитку на національному рівні.

4.5 ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ В МЕТАЛУРГІЙНИЙ СЕКТОР

Металургійна промисловість є одним із найбільш ресурсо- та енергоємних секторів економіки, що спричиняє значне екологічне навантаження – викиди парникових газів, забруднення води та ґрунту, утворення відходів. У цьому контексті циркулярна економіка пропонує нову парадигму: замість традиційної моделі «взяти – використати – викинути», вона орієнтується на збереження ресурсів, їх повторне використання, переробку та мінімізацію втрат. Впровадження принципів циркулярної економіки у металургійний сектор є надзвичайно актуальним через: глобальні екологічні виклики; необхідність зниження залежності від імпортової сировини; потенціал зменшення витрат та підвищення економічної ефективності підприємств; вимоги Європейського зеленого курсу та інших міжнародних екологічних ініціатив.

Впровадження принципів циркулярної економіки у металургійний сектор передбачає комплексну трансформацію виробничих процесів та

управлінських підходів. Одним із ключових напрямів є створення закритих циклів матеріалів, що передбачає максимальне повернення металевих відходів у виробництво, включаючи скрап, шлаки, пил та інші побічні продукти. У цьому контексті особливого значення набуває екодизайн, який забезпечує розробку продукції з урахуванням можливості її повторного використання або переробки, що значно знижує потребу у первинній сировині та зменшує екологічне навантаження.

Не менш важливою складовою є модернізація технологій, спрямована на впровадження енергоефективних та низьковуглецевих виробничих процесів. Це дозволяє оптимізувати використання енергетичних ресурсів, скоротити витрати та зменшити обсяги шкідливих викидів, що сприяє підвищенню екологічної безпеки металургійного виробництва. Одночасно розвиток індустріальної симбіозу забезпечує ефективне використання відходів однієї компанії як сировинного ресурсу для іншої, що формує інтегровані виробничі мережі та сприяє більш раціональному використанню ресурсів на регіональному та національному рівнях.

Важливу роль у впровадженні принципів циркулярної економіки відіграє цифровізація виробничих процесів, яка забезпечує моніторинг ресурсів, аналітику циклів та оптимізацію технологічних операцій з використанням сучасних цифрових платформ та інформаційних систем. Завдяки цьому підприємства можуть своєчасно і ефективно приймати управлінські рішення, прогнозувати потребу у сировині, зменшувати втрати та підвищувати продуктивність. Таким чином, циркулярна економіка виступає стратегічним напрямом трансформації металургійної галузі, спрямованим на забезпечення сталого розвитку, підвищення ресурсоефективності та зниження негативного впливу на довкілля.

Циркулярна економіка (або економіка замкнутого циклу) – це модель сталого розвитку, що зосереджується на максимальному використанні ресурсів, мінімізації відходів і повторному використанні матеріалів. У металургії це має особливе значення через високий рівень споживання енергії та великий обсяг відходів.

Одним із ключових напрямів реалізації принципів циркулярної економіки у металургії є **повторне використання металів та подовження їх життєвого циклу** (таблиця 4.9). Це передбачає здійснення ремонту та відновлення металевих конструкцій, машин і обладнання, що дозволяє значно знизити потребу у первинній сировині та зменшити екологічне навантаження на довкілля. Крім того, дедалі частіше практикується використання вживаних металевих компонентів у нових виробках, що сприяє економії ресурсів і підвищенню ефективності виробничих процесів. Наприклад, повторне застосування сталевих елементів у будівництві

дозволяє не лише скоротити витрати на матеріали, але й зменшити обсяг утворених відходів, одночасно підтримуючи високі стандарти якості та безпеки конструкцій.

Металургійна промисловість має значний потенціал для рециркуляції металів, зокрема переплавлення брухту без втрати його фізико-хімічних властивостей. Впровадження замкнутих циклів виробництва, де відходи стають цінною вторинною сировиною, сприяє зменшенню екологічного сліду підприємств і підвищує економічну ефективність виробничих процесів. **Рециркуляція металів** також дозволяє скоротити потребу в видобутку первинної сировини, що має особливе значення у контексті глобального зростання попиту на металопродукцію та обмежених природних ресурсів.

Важливим аспектом сталої металургійної діяльності є **мінімізація відходів і втрат у виробничому процесі**. Це досягається шляхом оптимізації технологічних процесів для зменшення утворення шлаків, пилу та інших побічних продуктів виробництва. Ефективним заходом є також використання побічних продуктів, таких як доменний шлак у будівництві, що дозволяє не лише скоротити обсяги відходів, але й отримати додаткові економічні вигоди, сприяючи ресурсозберігаючому виробництву.

Підвищення енергоефективності виробничих процесів у металургії є ключовим чинником сталого розвитку галузі. Перехід на відновлювані джерела енергії та впровадження енергоощадних технологій, таких як електродугові печі нового покоління, дозволяють значно зменшити енергоспоживання і скоротити викиди парникових газів. Водночас енергоефективність підвищує конкурентоспроможність підприємств за рахунок зниження витрат на виробництво та забезпечує відповідність міжнародним екологічним стандартам.

Екопроектування є важливим інструментом сталого розвитку металургії, оскільки передбачає розробку сплавів і виробів, які легше розбирати та переробляти у кінцевому циклі використання. Планування продукції з урахуванням майбутньої утилізації дозволяє суттєво знизити негативний вплив виробництва на довкілля, забезпечити ефективне використання ресурсів і підвищити екологічну безпеку технологічних процесів.

Створення замкнених ланцюгів постачання є ефективною стратегією для впровадження принципів циркулярної економіки у металургії. Це передбачає побудову систем, у яких вторинна сировина повертається до виробника, а матеріали та енергія обмінюються між підприємствами в межах інтегрованих мереж. Такий підхід сприяє не лише раціональному використанню ресурсів, але й зміцненню взаємодії між підприємствами, підвищенню їх економічної стабільності та зниженню екологічного навантаження на регіональному рівні.

Таблиця 4.9 – Вплив принципів циркулярної економіки в металургійну галузь: стратегії, інновації, виклик

Країна	Стратегія	Металургія & брукт	Інновації / Технології	Виклики
1	2	3	4	5
Індія	ЕАФ/ІФ як драйвер, цифровізація	Tata, RHI, Recykal	Шлаки → будма-теріали, Fintech-платформи	Імпорт металічних ПЗВ, Індія активно використовує метало-брукт та інфраструк-турні проекти, проте стикається з пробле-мами збору, техноло-гічної бази і політики
Японія	Нацплани (кожні 5 років), Keidanren	Загальний країнознав-чий підхід	Корпоративні програми	Мало конкретики по металургії, Японія має концептуальну стратегію, впроваджує програми, але кон-кретні металургійні кейси менш очевидні
Корея	Закон, PDR/PRO, фокус на вторинне	Е-відходи → метал	Е-відходи, плат-форми збору	Обмежений вплив на металургію, Південна Корея утворює ефективну систему переробки, хоч металургія – лише частина загального екологічного каркасу.
Китай	Держплани, Trade-in, 15 % ЕАФ до 2025 р.	У 2024–25 рр. +23 %	Flash-smelting, масштабне впро-вадження ЕАФ	Надлишкова потуж-ність, потреба в стиму-люванні внутрішнього брукту
Країни ЄС	Циркулярні вимоги, страт план	≥84 % пере-робки сталев-ої упаковки, законодавча підтримка	Програми зобов'язань на вторинну сировину, EPR, GreenSteel	Висока вартість інновацій, регуляторна складність
Туреччина	Імпортна орієнтація; СЕ-гайди для галузі	Найбільший імпортер брукту у світі	Платформи СЕ, міжгалузева інтеграція	Висока залежність від імпорту, нестача локальної переробки, залишається світовим лідером за імпортом брукту (2024), активно впроваджує промис-лові СЕ-гайди.

Продовження таблиці 4.9

1	2	3	4	5
Казахстан	Ріст частки переробки; підтримка МСВ	Переробка шлаків у будівельні матеріали	Переробка шлаку, використання відходів у будівництві	Обмежена інфраструктура, стандарти полігонівзначно покращує управління муніципальними і промисловими відходами, а також задіє шлакову утилізацію у будматеріали
Киргизстан	Експортні обмеження на брутт для підтримки локальних заводів	Обмежений ринок; фокус на внутрішній переробці	Забезпечення внутрішніх потреб через заборону експорту	Можливі втрати доходів від експорту, брак інвесторів, фокусується на локальній підтримці виробництва сталі через експортні обмеження.
Іран	Співпраця з міжнародними переробниками	Розвиток ринку вторинного брухту	Шлакопереробка, локальні ініціативи	Низька прозорість, обмежена статистика, санкційний тиск активно розвиває переробку брухту та налагоджує міжнародне співробітництво, але прозорість слабка.

Дослідження про глобальне лідерство у сфері циркулярної економіки та використання вторинної сировини свідчить, що ключові позиції займають Європейський Союз та Китай. Обидва регіони формують власні моделі переходу до замкнених виробничих циклів, проте використовують відмінні підходи. Європейський Союз демонструє системність і послідовність завдяки формуванню чіткої нормативно-правової бази. Прийняття таких документів, як *CriticalRawMaterialsAct* (CRMA) та *CircularEconomyAct*, дозволяє закласти довгострокові рамки розвитку у сфері переробки та повторного використання ресурсів. Одним із ключових інструментів виступає впровадження обов'язкових квот на використання вторинної сировини, а також механізм розширеної відповідальності виробника (EPR), що стимулює бізнес до екологічно відповідальної діяльності. Результатом такого підходу є один із найвищих у світі рівнів переробки – близько 84 % упаковки, що свідчить про високу ефективність європейської моделі.

Китай, своєю чергою, робить ставку на масштаб і швидкість реалізації стратегій. У країні реалізуються масштабні державні програми, зокрема “Trade-in”, спрямовані на активізацію збору та обміну вторинної сировини. Значні державні інвестиції у створення сучасної інфраструктури переробки дозволили лише за останні роки збільшити використання металобрухту на 23 %. Водночас упровадження новітніх технологій, таких як flash-smelting, формує підґрунтя для технологічного лідерства у сфері «зеленої» металургії.

У підсумку можна констатувати, що обидва центри глобального впливу – ЄС та Китай – рухаються до формування замкнених циклів виробництва. При цьому Європейський Союз робить акцент на регулюванні та нормативній передбачуваності, тоді як Китай орієнтується на масштабні державні інвестиції та динамічне впровадження технологічних інновацій. Сучасні глобальні тенденції у сфері циркулярної економіки та управління вторинними ресурсами свідчать про формування двох ключових центрів впливу – Європейського Союзу та Китаю. Обидва регіони послідовно рухаються до створення замкнених виробничих циклів, проте відмінність полягає у стратегіях та засобах досягнення цілей.

Європейський Союз застосовує системний та регульований підхід, який базується на розвиненій нормативно-правовій базі. Прийняття законодавчих актів, таких як CriticalRawMaterialsAct (CRMA) та CircularEconomyAct, визначає довгострокові орієнтири для розвитку промисловості у напрямі стійкості та повторного використання ресурсів. Важливим елементом цієї стратегії є механізм розширеної відповідальності виробника (EPR), що стимулює підприємства брати на себе зобов’язання за весь життєвий цикл продукції. Додатковим підтвердженням ефективності обраного підходу є один із найвищих у світі показників переробки – близько 84 % упаковки.

Китай (таблиця 6.10), навпаки, робить акцент на масштабі та швидкості реалізації. Країна впроваджує масштабні державні програми, зокрема “Trade-in”, які спрямовані на активізацію збору та обміну вторинної сировини. Водночас завдяки масованим інвестиціям у переробну інфраструктуру та впровадженню новітніх технологій, таких як flash-smelting, Китай зумів досягти приросту у використанні металобрухту на 23 % лише за останні роки. Такий підхід робить його лідером у динамічності технологічних змін та розбудові нової індустріальної моделі, орієнтованої на електросталеплавильне виробництво.

Поряд із глобальними лідерами у низці країн Східної Європи, Центральної Азії та Близького Сходу спостерігається поступове формування власних моделей інтеграції принципів циркулярної економіки.

Туреччина, як один із найбільших імпортерів металобрухту у світі, перебуває у залежності від зовнішніх поставок. Проте країна вже адаптує принципи циркулярності до власної промисловості шляхом створення національних платформ та галузевих ініціатив, спрямованих на підвищення ефективності використання ресурсів.

Казахстан (таблиця 4.10) демонструє певний прогрес у сфері розвитку малих і середніх виробництв та у переробці промислових відходів. Зокрема, активно впроваджується практика використання металургійних шлаків у будівельній індустрії. Водночас наявна інфраструктура з переробки потребує модернізації та розширення, щоб забезпечити більший масштаб та стабільність переходу до замкнених циклів.

У Киргизстані (таблиця 4.10) простежуються спроби підтримати національну металургію шляхом обмеження експорту металобрухту. Такі заходи, з одного боку, можуть сприяти збереженню сировини для внутрішньої переробки, однак з іншого – створюють ризики зниження інтеграції країни у міжнародні торговельні мережі. Це підкреслює дилему між короткостроковими економічними вигодами та довгостроковою стійкістю економіки.

Проте країна залишається відносно закритою з точки зору відкритості статистичних даних, впровадження міжнародних стандартів і залучення зовнішніх інноваційних рішень. Така ізоляція обмежує можливості повноцінного переходу до циркулярної економіки та уповільнює темпи інтеграції у світові тренди.

Загалом, розглянуті приклади свідчать про існування різних траєкторій розвитку. Якщо ЄС та Китай вже стали глобальними лідерами із чітко окресленими моделями переходу до замкнених циклів, то країни Східної Європи, Центральної Азії та Близького Сходу перебувають лише на початковому етапі становлення відповідних практик. Їхній потенціал є значним, однак на шляху до ефективної циркулярної трансформації постають серйозні виклики – технічні, інфраструктурні та політичні. Подолання цих бар'єрів вимагатиме модернізації виробничих потужностей, посилення інституційної спроможності та поглиблення міжнародної співпраці.

Сучасні глобальні тенденції розвитку циркулярної економіки та управління вторинними ресурсами засвідчують формування двох основних центрів впливу, які визначають стратегічний порядок денний у цій сфері, – Європейського Союзу та Китаю. Обидва регіони послідовно рухаються до створення замкнених виробничих циклів, однак відмінності у їхніх підходах виявляються у стратегічних пріоритетах та інструментах досягнення поставлених цілей.

Таблиця 4.10 – SWOT-аналіз циркулярної економіки в металургійному секторі: переваги, недоліки, виклики, перспективи

Країна	Переваги (Плюси)	Недоліки (Мінуси)	Виклики	Перспективи
1	2	3	4	5
Китай	Масштабні держпрограми, зростання використання брухту, нові технології	Залежність від централізованої політики; нерівномірність по регіонах	Надлишкові потужності, нестача якісного внутрішнього брухту	Світовий лідер з EAF та flash-smelting; можливість експорту технологій
Країни ЄС	Законодавча база, вимоги до переробки, підтримка інновацій	Висока вартість інновацій, складність регуляторного середовища	Досягнення цілей GreenDeal, нестача деяких критичних матеріалів	Створення моделі сталого виробництва з мінімальним викидом CO ₂
США	Розвинений ринок брухту, EAF, ««зелена» сталь» (Boston Metal, Nucor)	Нестача централізованої CE-стратегії, залежність від приватного сектору	Нерівномірність доступу до переробки між штатами	Розвиток кліматичних фондів, експорт “greensteel”
Південна Корея	Висока частка переробки, закони PDR/PRO, e-відходи як джерело металу	Орієнтація на електроніку, менш фокус на металургії	Лімітована циркулярність у промисловій металургії	Інтеграція e-відходів у металургію, пошук нових джерел вторсировини
Індія	Розвинений EAF/IF сектор, цифрові платформи (Recykal), TataSteel	Недостатня інфраструктура збору, значна тіньова економіка	Імпорт залежний (критметали), нестача технологій переробки L3	Локальні центри збору, масштабування пілотів CE, державні ініціативи
Японія	Довгострокові нацплани (SoundMaterial-CycleSociety), участь Keidanren	Мало специфіки по металургії, низька гнучкість системи	Старіння інфраструктури, імпорту вторсировини	Висока якість реалізації, інтеграція з приватним сектором
Туреччина	Потужна імпортна система, CE-гайди, інфраструктура сортування	Залежність від імпорту, нестача локального брухту	Ризик нестабільності імпорту, низька глибина переробки	Розвиток внутрішньої переробки, збільшення самозабезпечення сировиною

Продовження таблиці 4.10

1	2	3	4	5
Казахстан	Зростання частки переробки, використання шлаків у будівництві	Обмежена інфраструктура, фрагментарна політика	Низький рівень переробки в регіонах, слабка інвестиційна привабливість	Потенціал для створення промислових хабів циркулярної економіки
Киргизстан	Підтримка внутрішніх виробників, стабілізація локального ринку	Заборона на експорт шкодить торгівлі, нестача інвесторів	Вузький ринок, технічна відсталість, відсутність стратегій ЄС	Локалізація виробництва, регіональне співробітництво

Європейський Союз реалізує системну та регульовану модель, що ґрунтується на розвиненій нормативно-правовій базі та високому рівні інституційної узгодженості. Прийняття таких законодавчих актів, як “CriticalRawMaterialsAct” (CRMA) та “CircularEconomyAct”, визначає довгострокові орієнтири розвитку промисловості в напрямі підвищення стійкості, ресурсоефективності та розширення практик повторного використання матеріалів. Важливим інструментом виступає принцип розширеної відповідальності виробника (EPR), що зобов’язує підприємства враховувати повний життєвий цикл продукції та стимулює їх до впровадження екологічно дружніх рішень. Високий рівень результативності цієї моделі підтверджується одним із найкращих у світі показників переробки – близько 84 % упаковки, що свідчить про ефективність поєднання регуляторних механізмів і практичної реалізації політики.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що Європейський Союз і Китай демонструють різні, але взаємодоповнюючі підходи до побудови циркулярної економіки. ЄС відзначається нормативною послідовністю та високими стандартами регулювання, тоді як Китай вирізняється масштабом, темпами впровадження та технологічною інноваційністю. Обидві стратегії спрямовані на досягнення спільної мети – створення стійких виробничих систем, здатних забезпечити ефективне використання ресурсів у довгостроковій перспективі.

Попри певний поступ, країни регіону стикаються з низкою системних викликів. Одним із них є технологічна нерівність, яка виявляється у розриві між державами, що впроваджують виробництво «зеленої» сталі на базі електродугових печей, і тими, які досі залежать від застарілих мартенівських або конвертерних технологій. Другою проблемою є слабкий розвиток ринку вторинних матеріалів, що обумовлюється недостатньою інтеграцією країн Центральної Азії та Закавказзя.

Відсутність гармонізованих правил і стандартів створює бар'єри для ефективного обміну ресурсами. Правове поле також є фрагментарним: у багатьох країнах бракує чітких вимог щодо повторного використання матеріалів та переробки відходів, що знижує привабливість інвестицій у цю сферу. Нарешті, слабка фінансова підтримка, зокрема відсутність державних стимулів і спеціальних інвестпрограм, обмежує модернізацію виробничих потужностей і впровадження інновацій.

Для подолання зазначених бар'єрів можна виокремити кілька рекомендацій. Для країн із перехідною економікою, зокрема Казахстану, Ірану та Киргизстану, першочерговим завданням має стати розроблення державних програм підтримки переробної галузі, залучення інвесторів і спрощення регуляторних процедур. Для глобальних лідерів – ЄС та Китаю – важливим напрямом є розширення міжнародної співпраці та поширення нових технологій, які забезпечують підвищення рівня циркулярності у металургії. Для регіону загалом стратегічно доцільним є створення спільного ринку вторинних ресурсів, гармонізація стандартів, а також розвиток механізмів обміну даними та технологіями.

Таким чином, можна зробити висновок, що сучасна циркулярна економіка у сфері металургії розвивається за двома основними траєкторіями. ЄС і Китай задають глобальні орієнтири, демонструючи відмінні, але взаємодоповнюючі моделі розвитку, тоді як країни Центральної Азії, Закавказзя та Близького Сходу (таблиця 4.10) лише формують власні підходи, стикаючись із низкою обмежень. Подолання цих викликів вимагатиме комплексної стратегії, що поєднає модернізацію інфраструктури, правове реформування та міжнародне партнерство.

Аналіз допомагає виявити, що успішність циркулярної трансформації в металургії залежить від: державної підтримки, доступу до технологій, логістики вторинної сировини, прозорості та міжнародної інтеграції. Циркулярна економіка у металургії стає ключовим елементом глобального переходу до сталого виробництва.

На основі проведеного аналізу можна сформулювати низку узагальнень щодо сучасного стану та перспектив розвитку циркулярної економіки у металургійному секторі.

По-перше, слід відзначити наявні переваги, притаманні передусім розвинутим країнам. Європейський Союз, Китай та Сполучені Штати демонструють технологічне лідерство, що виявляється у широкому застосуванні електродугових печей (EAF), упровадженні технологій flash-smelting та розробленні концепцій виробництва так званої ««зеленої» сталі». Важливим чинником їхнього успіху виступає також політична воля до скорочення викидів вуглекислого газу та досягнення

кліматичної нейтральності. Багато держав, навіть тих, що перебувають на етапі економічної трансформації, інвестують у розвиток інфраструктури повторного використання, зокрема у переробку шлаків, електронних відходів, а також у впровадження цифрових платформ, які полегшують обіг вторинних ресурсів.

Разом із тим існує низка суттєвих недоліків. У менш розвинених країнах бракує ефективних регуляторних механізмів, відчувається нестача сучасної переробної інфраструктури та потенційних інвесторів. Це обмежує можливості інтеграції у глобальні ланцюги створення вартості та гальмує перехід до замкнених виробничих циклів. Водночас навіть у технологічно просунутих регіонах постають труднощі: висока вартість впровадження нових технологій, складність гармонізації регламентів, а також логістичні бар'єри знижують темпи масштабування циркулярних практик.

Ключові виклики полягають у поєднанні інституційних, економічних та політичних обмежень. У країнах Центральної Азії, а також в Ірані та Киргизстані, спостерігається слабкість інституційної бази та недостатня ефективність правового регулювання. У Туреччині та Індії визначальним чинником є залежність від імпорту сировини, що створює вразливість перед зовнішніми ризиками. Додатковими проблемами виступають дефіцит якісного вторинного брухту, політична нестабільність у низці країн, а також обмежений доступ до новітніх технологій та інтелектуальних рішень.

Таким чином, сучасна глобальна архітектура циркулярної економіки є багаторівневою та нерівномірною: розвинуті держави задають технологічні й нормативні стандарти, тоді як країни з перехідними економіками лише формують базові інститути. Подолання виявлених викликів вимагатиме одночасного зміцнення інституційної спроможності, активізації міжнародного співробітництва та спрямованих інвестицій у розвиток інфраструктури повторного використання ресурсів.

Перспективи розвитку циркулярної економіки у металургії

Подальший розвиток циркулярної економіки у сфері металургії пов'язаний із низкою перспективних напрямів, які визначатимуть як глобальні, так і регіональні тенденції.

По-перше, важливим драйвером змін є розширення ринку «зеленого металу» (greensteel). Зростання попиту на продукцію з низьким вуглецевим слідом зумовлюється кліматичними зобов'язаннями та політикою декарбонізації, що активно впроваджуються у країнах ЄС, США та Китаї. Очікується, що у найближче десятиліття саме «зелена» сталь стане одним із ключових сегментів глобальної металургії, здатним привабити

значні інвестиції та стимулювати трансфер передових технологій у країни з перехідною економікою. Для Центральної Азії та Близького Сходу це відкриває можливості отримання доступу до нових виробничих стандартів і залучення інвестицій від провідних промислових корпорацій.

По-друге, перспективним вектором є формування регіональних хабів переробки. У країнах на кшталт Казахстану чи Туреччини існують передумови для створення індустріальних центрів, що спеціалізуюватимуться на зборі, сортуванні та переробці вторинних ресурсів. Подібні хаби можуть стати основою для міждержавної інтеграції у сфері обігу вторинної сировини, сприяючи формуванню єдиного ринку на регіональному рівні. Це дозволить підвищити ефективність використання ресурсів, знизити залежність від імпорту та водночас інтегруватися у глобальні ланцюги створення вартості.

По-третє, значний потенціал криється у діджиталізації процесів управління вторинними ресурсами. Використання цифрових платформ на кшталт Resucal, систем «розумних контейнерів» для збору відходів, а також запровадження електронних паспортів матеріалів дозволяють забезпечити прозорість ланцюгів постачання, оптимізувати логістику та підвищити ефективність контролю за переробкою. У перспективі ці інновації здатні створити умови для автоматизованого моніторингу обігу сировини, що сприятиме зменшенню втрат та підвищенню рівня вторинної утилізації.

Загалом перспективи розвитку циркулярної економіки у металургії поєднують у собі як глобальні тренди (трансфер технологій, зростання попиту на «зелену сталь»), так і регіональні можливості (створення хабів, цифровізація процесів). Реалізація цих напрямів здатна суттєво змінити структуру ринку металів, сприяючи підвищенню його екологічної та економічної стійкості.

Світовий досвід демонструє, що успішне впровадження циркулярної економіки в металургії забезпечує: зменшення залежності від первинних ресурсів, економію енергії та зниження викидів CO₂, створення доданої вартості через переробку відходів та побічних продуктів. Країни ЄС, Китай, США та інші впроваджують стратегії, орієнтовані на підвищення частки використання брухту, інноваційні технології (наприклад EAF, flash-smelting) та законодавчу підтримку повторного використання матеріалів. Україна, як велика індустріальна держава з металургійною спадщиною, має унікальні можливості інтегрувати ці підходи у власну промислову політику.

Практичні рекомендації для України

Розвиток циркулярної економіки в металургійній промисловості України: законодавчі, технологічні та фінансові аспекти. Сталий розвиток

металургійної промисловості України у контексті циркулярної економіки потребує системного підходу, який поєднує законодавчі ініціативи, модернізацію технологій, фінансові інструменти, цифровізацію та міжнародну кооперацію.

1. Законодавча та стратегічна база. Для формування передумов циркулярної економіки в металургії до 2035 року необхідно розробити національну Стратегію циркулярної економіки, яка визначатиме ключові пріоритети у сфері промислової переробки та повторного використання ресурсів. Одним із важливих елементів законодавчих змін є внесення відповідних поправок до Закону України «Про відходи», що дозволить офіційно визначити поняття вторинних металургійних ресурсів та надати їм правовий статус. Крім того, впровадження системи розширеної відповідальності виробника (EPR) для промислових товарів із металевою складовою забезпечить ефективне регулювання процесів збору та переробки металевих відходів.

2. Інфраструктура та технології.

Ключовим чинником переходу до циркулярної економіки є модернізація металургійних підприємств, зокрема переорієнтація виробництва від мартенівських до електропечних технологій (EAF), що дозволяє суттєво знизити енергоспоживання та викиди парникових газів. Важливим аспектом є інвестування у заводи з переробки шлаків, металевого пилю та окалини, використовуючи передовий досвід світових компаній, таких як TataSteel, Evraz та Vale. Також доцільним є створення регіональних хабів з переробки металобрухту, особливо в промислово активних регіонах Сходу та Півдня України, що сприятиме оптимізації логістики та підвищенню ефективності вторинного використання ресурсів.

3. Фінансові інструменти.

Для стимулювання впровадження технологій циркулярної економіки доцільно застосувати пільгове кредитування або надання грантів на закупівлю обладнання для вторинної переробки металів. Крім того, впровадження «зелених» сертифікатів на продукцію з повторного металу може стати ефективним інструментом стимулювання попиту з боку секторів будівництва, машинобудування та інфраструктури, водночас підвищуючи привабливість української сталі на міжнародних ринках.

4. Цифровізація та прозорість.

Не менш важливим є використання цифрових технологій для забезпечення прозорості та ефективного обліку ресурсів. Електронний облік брухту, шлаків та побічних продуктів на всіх ланках ланцюга постачання дозволить оптимізувати процеси збору та переробки. Крім того, створення національного реєстру вторинних ресурсів, доступного для виробників,

переробників та муніципалітетів, забезпечить відкритість інформації та сприятиме розвитку ринку вторинних металів.

5. Міжнародна кооперація.

Важливим стратегічним напрямом є співпраця з ЄС та країнами G7 у сфері зеленого сталеливарного виробництва. Залучення іноземних інвестицій у проекти з переробки та відновлення промислових відходів не лише підвищує технологічний рівень української металургії, але й сприяє інтеграції України у глобальні ланцюги поставок сталевих продукції високої якості.

4.6 МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД СТАЛОГО РОЗВИТКУ У СФЕРІ «ЗЕЛЕНОЇ» МЕТАЛУРГІЇ: СТРАТЕГІЇ, ПРАКТИКИ ТА ІННОВАЦІЇ

У 21 столітті металургійна промисловість стикається з безпрецедентним викликом: необхідністю одночасно задовольняти глобальний попит на сталь і зменшувати негативний вплив на довкілля. На її частку припадає близько 7–9 % світових викидів CO₂. У цьому контексті «зелена» металургія виступає лучовим напрямом трансформації, що поєднує: технологічні інновації (наприклад, електропечі EAF, водневе плавлення), політичні стратегії (CBAM, GreenDeal, NetZero 2050), ринковий попит на екологічно чисту продукцію. Реалізація циркулярної економіки в металургії також актуалізується в умовах ресурсної нестабільності, критичного дефіциту сировини та енергетичних потрясінь. «Зелена» металургія – це система виробництва сталі, що: мінімізує використання первинних ресурсів (залізної руди, вугілля), зменшує викиди парникових газів, впроваджує циркулярні підходи – повторне використання брухту, шлаків, пилу, використовує екологічно нейтральні джерела енергії (електроенергія з ВДЕ, водень), підтримується регуляторними та фінансовими механізмами.

Це не лише технологічна концепція, а й етична та соціальна модель, орієнтована на збереження довкілля та стійкий розвиток. Міжнародна практика демонструє, що сучасні світові тенденції у сфері сталеливарної промисловості свідчать про активний рух провідних країн до «зеленої» трансформації металургії. Китай активно нарощує використання металобрухту, експериментує з інноваційними технологіями, такими як flash-smelting, та стимулює модернізацію електропечей (EAF), що дозволяє підвищувати енергоефективність і знижувати вуглецевий слід

виробництва сталі. У Сполучених Штатах Америки відзначається значна інвестиційна активність у стартапи, зокрема BostonMetal, а також підтримка компаній, які використовують металобрухт для виробництва низьковуглецевої сталі, що сприяє розвитку нових технологічних рішень і підвищенню екологічної відповідності продукції. Індія, Японія та Південна Корея формують національні платформи циркулярної економіки, зосереджуючи увагу на цифровізації виробничих процесів та локальний переробці металевих відходів, що дозволяє оптимізувати ресурсоспоживання та інтегрувати сучасні підходи до управління ланцюгами постачання.

Для України ці світові тенденції мають особливе значення, оскільки відкривають можливості адаптації кращих міжнародних практик до умов постіндустріальної трансформації металургійного сектору. Впровадження інноваційних технологій та принципів циркулярної економіки сприятиме зміцненню енергонеалежності країни, забезпеченню відповідності екологічним стандартам торгівлі з Європейським Союзом, зокрема вимогам СВМ, а також підвищенню конкурентоспроможності української сталі на глобальному ринку. Реалізація цих ініціатив дозволить інтегрувати Україну у міжнародні ланцюги поставок високоякісної та екологічно сертифікованої продукції, стимулюючи розвиток технологічної бази, створення нових робочих місць та посилення соціально-економічної стійкості країни.

У контексті глобального переходу до низьковуглецевої економіки та виконання міжнародних кліматичних зобов'язань (зокрема Паризької угоди та Європейського «Зеленого курсу»), металургійна галузь переживає глибоку трансформацію. Це одна з найбільш енергоємних і вуглецеінтенсивних галузей промисловості, яка відповідальна приблизно за 7–9 % світових викидів парникових газів. Відтак, інновації у сфері так званої «зеленої» металургії стають стратегічно важливими як з екологічного, так і з економічного погляду.

Однією з найбільш революційних технологій є flash-smelting миттєве плавлення залізовмісних матеріалів без використання викопного палива. У Китаї ця технологія вже проходить пілотування як альтернатива традиційному доменному виробництву. Вона дозволяє не лише суттєво скоротити споживання енергії, але й зменшити викиди CO₂ в десятки разів.

Поширенішим і вже комерційно життєздатним є впровадження електродугових печей (EAF), які дають змогу виплавляти сталь переважно з металобрухту. Ця технологія активно розвивається у США (зокрема компаніями Nucor, Steel Dynamics), ЄС та Індії. Вона забезпечує до 75 % нижчих викидів у порівнянні з класичними доменними печами, а також дозволяє гнучко інтегрувати відновлювані джерела енергії, що відповідає вимогам декарбонізації промисловості.

Інший вектор інновацій – воднева металургія. Тут водень виступає відновником заліза замість вуглецю. Цю технологію активно впроваджують у Швеції (проект HYBRIT), Німеччині (ThyssenKrupp, Salzgitter) та Японії. Воднєве виробництво сталі дозволяє досягти викидів CO₂ на рівні близькому до нуля, що робить його критично важливим у довгостроковій стратегії NetZero 2050.

Новаторським є і підхід електролітичного виробництва сталі. Прикладом слугує стартап BostonMetal (США), який розробив технологію безвуглецевого електролізу заліза. Її перевага – повна відсутність прямих викидів CO₂, а також можливість масштабування та інтеграції у вже наявні виробничі потоки.

Крім технологій плавлення, важливу роль відіграє цифровізація та циркулярні платформи. Так, індійська система Recykal дозволяє автоматизовано відстежувати і продавати вторинні матеріали (зокрема брухт) між підприємствами, муніципалітетами та споживачами. У країнах ЄС впроваджуються матеріальні паспорти (MaterialPassports) – цифрові документи, що фіксують склад і «історію» сталевих конструкцій для полегшення повторного використання або переробки.

Ще одним важливим напрямом інновацій є вторинна переробка металургійних шлаків, пилю, окалини. Наприклад, TataSteel (Індія) випускає дорожнє покриття TataAggreto із шлаків, ArcelorMittal (ЄС) використовує їх у цементній промисловості, а деякі європейські підприємства як добрива в агросекторі. Таке повторне використання не лише скорочує обсяг промислових відходів, а й створює нові ринки та підвищує ресурсну ефективність.

Окремо варто згадати інноваційний потенціал 3D-друку з металевого брухту, який дає змогу створювати складні промислові деталі з відновлених матеріалів. Це відкриває нові горизонти для авіації, машинобудування та енергетики.

Таким чином, інновації у сфері «зеленої» металургії є багатовекторними – від технологій плавлення до цифрових платформ, від утилізації шлаків до нових джерел енергії. Їх активне впровадження в усьому світі не лише сприяє зниженню екологічного навантаження, а й забезпечує довгострокову конкурентоспроможність національних економік.

Для України, яка має потужну металургійну базу, інтеграція цих інновацій – це шлях до зеленого відновлення економіки, залучення іноземних інвестицій, виконання вимог ЄВРО, а також формування нових кластерів сталого промислового зростання.

Серед проєктів взаємодії України з іншими країнами щодо екологічної модернізації виробництва та впровадження «зеленої» металургії є:

1. Партнерство з Південною Кореєю (PoscoInternational)

Партнерство з Південною Кореєю, зокрема з компанією PoscoInternational, має стратегічне значення для розвитку української металургійної промисловості та відновлення економіки після війни. У липні 2025 року представники PoscoInternational провели переговори з Міністерством економіки України, присвячені потенційним інвестиціям у «зелену» металургію та модернізацію енергетичної інфраструктури. Компанія обрала цей сектор як пріоритетний напрям для свого розширення в Україні, оскільки бачить значний потенціал у впровадженні сучасних технологій сталеливарного виробництва, що забезпечують зниження енергоспоживання та скорочення викидів парникових газів. Така співпраця передбачає не лише фінансові інвестиції, але й передачу технологій, розвиток навичок місцевих фахівців та створення умов для інтеграції української металургії у глобальні ланцюги постачання сталевих продукції. Реалізація цих ініціатив сприятиме підвищенню конкурентоспроможності української сталі, формуванню нових робочих місць і зміцненню економічної стабільності в регіоні, водночас демонструючи приклад ефективного міжнародного партнерства у сфері сталого промислового розвитку.

2. Платформа з відновлення української металургії із застосуванням «зелених» технологій

У червні 2023 року Metinvest приєднався до державно-приватної платформи для відродження сталеливарної галузі через зелені технології. Учасниками стали Primetals, Fortescue FMG, Rothschild та EBRD. Орієнтир – перехід до DRI-пелет і EAF, впровадження водневої металургії й «зелена» модернізація заводів (Запоріжсталь) до 2035 року (~\$35 млрд інвестицій). Платформа з відновлення української металургії із застосуванням «зелених» технологій за участі компанії Метінвест розглядається як стратегічний інструмент трансформації галузі у напрямку сталого розвитку. Вона поєднує інноваційні підходи до виробництва сталі, орієнтовані на декарбонізацію, впровадження водневих технологій, цифровізацію процесів екологічного моніторингу та оптимізацію енерговитрат. Участь Метінвест у таких ініціативах сприяє інтеграції України у світовий простір «зеленої» металургії, підвищенню інвестиційної привабливості та адаптації до вимог Європейського зеленого курсу. Платформа виконує роль комунікаційного та науково-виробничого майданчика, де бізнес, наука та державні інституції можуть спільно формувати екологічно відповідні стратегії розвитку металургійного комплексу.

3. Італійське співробітництво

Україна та Італія виявили інтерес співпрацювати у сфері захисної індустрії та «зеленої» металургії.

4. Створення ReconstructionInvestmentFund із США

У травні 2025 року Україна та США підписали важливу економічну угоду про створення Реконструкційного інвестиційного фонду. Документ закріплює партнерство у сфері відбудови та модернізації української економіки з акцентом на стратегічні мінерали, інфраструктуру та «зелені» технології. Фонд формується на паритетних засадах: по три представники від України та США. Основним внеском України стане 50 % доходів від нових гірничо-видобувних проєктів, включно з роялті й ліцензійними платежами. При цьому чинні прибуткові підприємства до фонду не входять, що дозволяє зберегти національні ресурси та гарантувати суверенітет над ними. Американська сторона, зокрема через Міжнародну фінансову корпорацію розвитку (DFC), забезпечує фінансову й технічну підтримку, а також залучає інфраструктурні інвестиції. Угода передбачає, що впродовж перших десяти років прибутки фонду мають бути реінвестовані в розвиток української економіки – модернізацію видобутку, створення переробних потужностей, розвиток транспортної та енергетичної інфраструктури.

Особливий акцент зроблено на впровадженні екологічно чистих технологій у сфері металургії та енергетики, що відповідає курсу на «зелену» трансформацію та євроінтеграційні прагнення України. Ключовим предметом угоди стали стратегічні мінерали – літій, титан, кобальт, графіт, уран та інші, які критично важливі для розвитку відновлюваної енергетики, виробництва акумуляторів, електротранспорту й сучасних оборонних технологій. США отримують доступ до інвестицій у ці сфери, водночас Україна зберігає контроль над ресурсами та право ухвалювати стратегічні рішення. Угода також має безпековий вимір. Хоча вона не містить прямих гарантій, її реалізація відкриває шлях до постачання Україні сучасних оборонних систем, зокрема Patriot.

Таким чином, економічне партнерство доповнюється політичним і військовим сигналом про довгострокову прихильність США до підтримки України. Цей крок називають одним із найбільш збалансованих міжнародних економічних рішень на користь України. Він дозволяє залучити західний капітал, забезпечує реінвестицію прибутків у розвиток країни та водночас закріплює стратегічний союз Києва й Вашингтона. Угода посиляє сигнал про незворотність інтеграції України в західний економічний і безпековий простір, а також відкриває перспективи для масштабної модернізації інфраструктури й енергетики на основі сучасних «зелених» технологій.

5. Конференція FerrousMetallurgyofUkraine 2025

У квітні 2025 року в Києві відбулася конференція Ferrous Metallurgy of Ukraine 2025, організована компанією Metal Expert. У рамках заходу

відбулося жваве обговорення ключових викликів та перспектив української чорної металургії, серед яких: учасники проаналізували позицію вітчизняних виробників на світовій “costcurve” – від видобутку залізної руди, чавуну й сталі до прокатної продукції. Особливу увагу приділили впливу на ціни електроенергії та природного газу як критичних факторів собівартості виробництва; обговорили дефіцит таких ресурсів, як вугілля, коксу, металобрухту, феросплавів і шамотних матеріалів. Було визнано, що нестача критичних матеріалів може стати суттєвим бар’єром для розвитку галузі; приділили увагу конкурентоспроможності сталевих труб, металопродукції, прокатів із покриттям. Обговорили потенціал українських виробників у світовому контексті, особливо в умовах глобальної надлишкової пропозиції та торговельних обмежень. Окремий блок присвятили розгортанню проєктів із видобутку залізної руди, розширенню виробничих потужностей із випуску готової продукції, урахування внутрішні потреби країни. Особливе місце відведено темі логістики, її викликів і пошуку рішень для налагодження ефективного постачання. Учасники презентували очікування експорту та імпорту, аналізували тенденції попиту на внутрішньому ринку за сегментами – плоскі та довгі продукти, покритий прокат, дріт і труби.

6. Доступ до стільникових технологій – DRI-пелети

Аналітики GMK Center прогнозують, що до 2030 року Україна може стати одним із ключових постачальників сировини для «зеленої» металургії Європейського Союзу. Завдяки значним запасам магнетитової руди країна має потенціал експортувати від 20 до 25 млн тонн DRI-пелет (Direct Reduced Iron pellets) щорічно. Такі пелети є основою для виробництва сталі за допомогою технологій прямого відновлення заліза з використанням водню, які вважаються стратегічними для декарбонізації галузі. Цей прогноз ґрунтується на тому, що українські надра містять одні з найбільших у Європі запасів якісної магнетитової руди, придатної для збагачення й подальшої переробки у високоякісні окатки.

За оцінками експертів, уже зараз наявні промислові потужності дозволяють поступово нарощувати виробництво таких продуктів, а у випадку модернізації та залучення інвестицій країна здатна вийти на масштабний експорт. Виробництво «зеленої» сталі на базі DRI-технологій передбачає заміну традиційних доменних печей більш екологічними установками, що працюють на водні або природному газі як проміжному рішенні.

Тому Україна може стати важливим елементом у формуванні «зелених» ланцюгів поставок сталі, забезпечивши Європу критичною сировиною, необхідною для переходу до низьковуглецевого виробництва. Водночас реалізація такого сценарію потребує масштабних інвестицій

у модернізацію гірничо-збагачувальних комбінатів, розвиток транспортної інфраструктури та адаптацію до стандартів ЄС.

Окремим викликом залишається питання енергетики, адже виробництво й транспортування DRI-пелет вимагає стабільного доступу до електроенергії та відновлюваних джерел. Таким чином, Україна має унікальний шанс не лише зміцнити власну економіку за рахунок експорту високотехнологічної продукції, а й закріпити своє місце у майбутній системі європейської «зеленої» металургії, виступаючи ключовим постачальником сировини для кліматично нейтральної сталі.

В останні роки українська металургія дедалі більше стає предметом міжнародної уваги, і тренди 2025 року лише підтверджують цей напрямок.

По-перше, зростає глобальний інтерес до розвитку «зеленої» металургії в Україні з боку провідних країн і компаній. До процесу вже залучаються інвестори та технологічні партнери з Південної Кореї, Італії та США, які бачать в Україні не лише постачальника сировини, а й перспективного учасника глобальних «зелених» ланцюгів доданої вартості.

По-друге, в центрі уваги – технології нового покоління. Йдеться про комплексні рішення на основі DRI/EAF (пряме відновлення заліза та електродугові печі), використання водню як відновника замість вугілля, масштабну енергомодернізацію підприємств та впровадження технологій виробництва greensteel. Саме ці інновації є ключовими для скорочення викидів CO₂ і досягнення кліматичної нейтральності.

По-третє, формується законодавча й фінансова база. Україна запускає державні фонди підтримки модернізації, укладає угоди з ЄС та США (зокрема Реконструкційний інвестиційний фонд), а також бере участь у створенні спеціалізованих платформ співпраці, які поєднують державний і приватний капітал. Це забезпечує довгострокове фінансування проєктів і інтеграцію у міжнародні програми декарбонізації.

По-четверте, Україна має шанс стати ключовим постачальником DRI до Європейського Союзу. Аналітики оцінюють потенціал у 20–25 млн тонн пелет до 2030 року, що дозволить задовольнити значну частину потреб ЄС у «зеленій» сировині для виробництва сталі. Така перспектива відкриває нові можливості для економічного зростання, інтеграції до європейських ланцюгів постачання та зниження залежності ЄС від третіх країн.

По-п'яте, пріоритетом стає «зелена» трансформація вітчизняних заводів. Відновлення металургійного комплексу після війни розглядається не як просте відтворення старих виробничих потужностей, а як їх модернізація у відповідності до стратегій EU Net Zero та механізму CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism). Це дозволить українським виробникам

уникнути додаткових вуглецевих мит та зайняти конкурентну нішу на європейському ринку. Таким чином, «зелена» металургія стає для України не лише економічною стратегією, а й важливим геополітичним ресурсом. Вона поєднує інтереси міжнародних інвесторів, європейську інтеграцію, екологічні стандарти та модернізацію промисловості, створюючи основу для нового етапу економічного розвитку країни.

Україна вже активно рухається в напрямку «зеленої» металургії, опираючись на міжнародну підтримку, новітні технології та створення сприятливого інвестиційного середовища. Цей процес супроводжується поступовою інтеграцією у європейський простір сталого розвитку, впровадженням енергоефективних виробничих рішень, розвитком проєктів із використанням водневих технологій та цифровізації екологічного менеджменту.

Важливим чинником виступає і залучення міжнародних фінансових інституцій, що стимулює модернізацію підприємств та сприяє підвищенню їх конкурентоспроможності на глобальному ринку. У результаті формується комплексна стратегія, що поєднує економічні інтереси, екологічні пріоритети та соціальну відповідальність, забезпечуючи поступове наближення до стандартів вуглецево-нейтрального виробництва.

4.7 ПРОЄКТИ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ В УКРАЇНІ

4.7.1 Українська промислова компанія «ІНТЕРПАЙП» – сучасний впроваджувач «зелених» технологій та цифрових інструментів для модернізації виробництва

Безпосередньо на теренах України понад десять років функціонує одне з сучасних та «зелених» підприємств – «Інтерпайп Сталь» (рис. 4.2), на якому викиди CO₂ не перевищують 250 кг на тонну сталі. Вплив на навколишнє середовище повністю мінімізовано ще й за рахунок встановлення на «Інтерпайп Сталь» сучасної системи газо- і пилоочистки. Вона уловлює більшість викидів шкідливих речовин і пилу в атмосферу. Всі викиди абсорбуються на фільтрах у гранули. При цьому проблема забруднення річки Дніпро вирішена завдяки впровадженню замкненої системи оборотного водопостачання. «Інтерпайп Сталь» не скидає промислові стоки в зовнішні водойми: вода очищається і повторно використовується на виробництві.



Рисунок 4.2 – «Інтерпайп Сталь»

На «Інтерпайп Сталь» використовуються технології «зеленої» металургії, що відповідає жорстким європейським нормам: замкнутий цикл системи водопостачання, сучасна система газовидалення і газоочищення, система шумоізоляції.

4.7.1.1 Впровадження ERP-системи IT-Enterprise

Протягом кількох років на ключових виробничих майданчиках впроваджується ERP-система IT-Enterprise, яка іноді замінює існуючі раніше розрізнені рішення. Для ефективного управління всім холдингом, включаючи закордонні представництва компанії, виникла потреба в побудові єдиного середовища управління інформацією.

Як відома металургійна компанія, «Інтерпайп» використовує єдину інформаційну систему IT-Enterprise для управління бізнес-процесами компанії: фінанси та бухгалтерський облік, персонал, закупівлі, виробництво та ремонти:

Опис проєкту

Основою процесів цифрової трансформації трубно-колісного холдингу «Інтерпайп» стало комплексне ERP-рішення для управління бізнесом IT-Enterprise.

Система IT-Enterprise успішно впроваджена та запущена в промислову експлуатацію на всіх заводах Інтерпайп. Ключовим призначенням

ІТ-системи у виробництві є забезпечення онлайн-відстеження статусу виконання замовлення на всіх етапах виробництва – від лиття заготовки до відвантаження готової продукції замовникам.

Використання ІТ-технологій у трубному виробництві збільшує швидкість документування під час приймання заготовки в кілька разів. Вся інформація зберігається в єдиній базі даних для всіх підприємств групи. Дані про замовлення та виробничі процеси шифруються в QR-коді, який додається до кожної упаковки труб.

Відстеження руху матеріалів у виробництві

Система відстеження реалізована на основі бездротових технологій Wi-Fi та інтеграції зчитувачів з автоматизацією обладнання. Інформацію про виконані виробничі операції можна вносити в ІТ-систему за допомогою спеціальних терміналів у цеху.

Час на ідентифікацію продукту під час технологічного процесу скорочується. Дані про продукт автоматично оновлюються перед налаштуванням обладнання. Участь оператора у введенні даних про труби мінімізується, тим самим знижується ризик помилок під час введення даних у систему через людський фактор.

Автоматизація маркування та брендуння труб

Процес маркування та брендуння трубної продукції автоматизований: шаблон маркування генерується автоматично залежно від стандарту виробництва продукції та вимог клієнта.

Дані для маркування «втягуються» із системи за номером замовлення – шаблон заповнюється конкретними значеннями з бази даних системи управління виробничим обладнанням. Оператор вводить лише номер замовлення. Автоматизація дозволяє уникнути помилок та штрафів за скарги.

Інвентаризація з автоматичним підрахунком труб

Кожен цех щомісяця проводить інвентаризацію трубної продукції. Контроль маркування можна прискорити за допомогою спеціально розробленого мобільного додатку. Додаток використовує технологію розпізнавання образів на основі машинного навчання з можливістю подальшого навчання.

Просто сфотографуйте упаковку труб, і програма автоматично визначить кількість труб в упаковці. Додаток використовує ту саму єдину базу даних номенклатури продукції, що використовується на підприємствах групи.

Перевірка походження трубної продукції для клієнтів

Завдяки онлайн-сервісу перевірки трубної продукції, клієнт компанії може самостійно перевірити необхідну інформацію, зчитавши QR-код

з бирки упаковки труби. Завдяки цьому мобільному рішенням вся інформація про продукцію доступна в один клік. QR-код перенаправляє клієнта на вебсторінку, що містить необхідні дані про продукцію: країна призначення, кількість тонн, номер сертифіката якості, номер плавки, дата відвантаження, завод-виробник, країна виробництва. Всі дані про продукцію зберігаються в єдиній інформаційній системі.

Виробництво коліс

Інтеграцію виробничого обладнання з єдиною інформаційною системою також реалізовано в цеху колісної прокатки «Інтерпайп». Що стосується трубної продукції, то інформація про замовлення коліс та виконані виробничі операції зберігається в єдиній базі даних для всього холдингу.

На основних етапах виробництва впроваджено систему відстеження. Кожне колесо в цеху переміщується з операції на операцію зі своєю технологічною міткою. Збір даних відбувається автоматично. Інформація про виконані операції вноситься до ІТ-системи IT-Enterprise працівниками цеху через спеціальний термінал або з мобільних пристроїв.

Європейські та американські залізниці та виробники вагонів отримуватимуть продукцію з унікальним QR-кодом. Такий код дозволить за потреби отримати інформацію про кожне колесо: номер колеса, дату виготовлення, марку сталі, конструкцію колеса, типорозмір. Це обов'язкова вимога замовника, що регламентується стандартом.

Управління виробничим обладнанням

«Інтерпайп» реалізував проєкт впровадження Smart-EAM, який автоматизував управління основними засобами. Єдина інформаційна система містить всю інформацію про виробниче обладнання підприємств та його обслуговування: від класифікації обладнання та обліку простоїв до закупівлі запасних частин відповідно до розроблених ремонтних карт, аналізу витрат, планування та контролю ремонтних робіт.

Одним з основних елементів ІТ-системи є автоматизований облік використання обладнання та простоїв. Дані про час роботи основного обладнання автоматично збираються контролерами, встановленими на виробничих лініях. Причини простоїв вносяться до інформаційної системи підприємства фахівцями відділів з комп'ютерів у цеху або з мобільних пристроїв. Це рішення є ефективним інструментом для контролю ремонтів, оптимізації складу та процесу закупівлі запасних частин, проведення комплексного аналізу роботи обладнання, включаючи RCM-аналіз. Модуль управління основними виробничими активами постійно оновлюється новою інформацією та розширює можливості користувачів. У майбутньому ця розробка перетвориться на автоматизовану систему повної діагностики виробничого обладнання.

Ключовими факторами проєкту є:

1. Час затвердження замовлення скорочено на 20 %.
2. Збільшення ефективності виробничого персоналу на 45 %.
3. Скорочення простою виробничого обладнання на 30 %.

Результати роботи

«Інтерпайп» використовує єдину інформаційну систему IT-Enterprise для централізованого управління всіма основними бізнес-процесами компанії:

- фінанси;
- бухгалтерський та податковий облік;
- управління персоналом;
- управління закупівлями;
- управління замовленнями;
- планування та управління виробництвом;
- управління ремонтом виробничого обладнання.

Комплексна ERP-система IT-Enterprise зарекомендувала себе як ефективна система для бізнес-аналізу, планування та прийняття управлінських рішень.

4.7.1.2 Інструмент для ефективної трансформації промислового холдингу «ІНТЕРПАЙП» SMART FACTORY від IT-Enterprise

Опис проєкту

Управління виробництвом у системі IT-Enterprise охоплює основні та супутні процеси управління та базується на сучасній концепції Smart Factory – впровадженні елементів Індустрії 4.0.

Ключові принципи, на яких базується Smart Factory:

- можливість збирати та зберігати дані онлайн;
- децентралізація;
- доступність у формі послуги;
- взаємодія між IT-системою та обладнанням за допомогою ІоТ;
- модульна структура;
- підтримка мобільних платформ.

Пріоритети Industry 4.0 у виробництві – індивідуалізація та оперативність виконання замовлень. Увага до деталей кожного замовлення та вимог окремого клієнта – результат до зростання кількості замовлень. Це потребує підвищення продуктивності обладнання. В умовах критичної середньої стають скорочення кількості переналагодок устаткування (вимушених непродуктивних простоїв) і остаточне постачання сировини.

Для ефективного переналадження робітників, а їх дії повинні бути синхронізовані з оптимальним виробничим процесом, який розраховується системою. При великій кількості замовлень і переналадження навіть невеликі розбіжності призведуть до затримок у виконанні замовлень і зриву всього виробничого плану.

Для підвищення рівня обслуговування клієнтів (кількості замовлень, що забезпечуються у заданих термінах та в повному обсязі) та підвищення ефективності використання виробничого обладнання на підприємствах холдингу реалізовано наскрізне управління випуском замовлень. Синхронізація цехового персоналу та виробничого обладнання досягається за рахунок використання сучасних засобів Industrial Internet of Things, які інтегрують дані рівня цільового потенціалу в єдину ERP-систему. Застосування сучасних процедур оптимізації скорочує до мінімальної кількості переналадження та дозволяє швидко побудувати ефективний виробничий план.

Підвищення оперативності прийому та зміни замовлень

У системі реалізовано наскрізний процес виконання виробничих замовлень: від прийому замовлення – до відвантаження готової продукції. Система управління виробничими процесами складається з модулів ERP управління виробництвом, що дозволяє фіксувати розміщення нових замовлень на заводі та проводити об'ємно-календарну оцінку завантаження виробничих потужностей (від місяця до року); модулів APS, за допомогою яких передбачається тижневе планування, змінно-добові плани виробництва на робочих центрах, виробничий облік продукції, облік та аналіз якості продукції, супутні процеси.

«Кошик замовлень» – ключовий інструмент оперативності виконання замовлень, аналізу реалізації «стандартних» замовлень та змін до замовлення. Аналіз проекту щодо виконання замовлення з урахуванням обмежень за ресурсами – сировиною, виробничою потужністю, цеховому персоналу. Зміни аналізують з погляду допустимості та кінцевої вартості замовлення.

Контроль та ідентифікація руху матеріалів у виробництві

Розвиток технологій бездротового зв'язку та промислової автоматики дозволив встановити на підприємствах холдингу наскрізну систему простежуваності. Дані про рух матеріалів цеху зчитуються сенсорами. Завдяки їх інтеграції з автоматичним обладнанням вони оперативно дістаються до системи. Інформацію про проведені виробничі операції майстер ділянок можна внести в ІТ-систему за допомогою спеціальних терміналів у цеху.

Час на ідентифікацію продукту під час технологічного процесу скорочується. Дані про продукт автоматично оновлюються перед налаштуванням обладнання. Участь оператора у введенні даних трубопроводів мінімізується – це знижує ризик помилки під час введення даних у систему через людський фактор.

Оперативне планування виробництва

Функціонал оперативного планування виробництва генерує прогноз виконання замовлень відповідно до критеріїв оптимізації, ґрунтуючись на інформації про прийняті замовлення.

Окрім формування змінних завдань для робочих центрів у плані замовлень, стає відомою щоденна потреба в основних матеріалах (трубна заготовка) для виконання місячної виробничої програми.

Ця інформація дозволяє вам досягти:

- зменшення витрат на зберігання матеріалів;
- зниження ризиків порушення графіка оренди;
- зрив термінів виконання замовлень;
- покращення ритму виробничої роботи;
- скорочення простоїв обладнання.

Все це призводить до підвищення ефективності роботи в майстернях.

Результати роботи

IT-Enterprise.SmartFactory базується на методології RCM2. Впровадження цієї системи управління основними засобами на заводах холдингу «ІНТЕРПАЙП» дозволило знизити витрати на обслуговування та ремонт компонентів виробничого обладнання на основі інформації про поточний стан. Перехід на прогнозне обслуговування забезпечив надійність роботи обладнання завдяки проведенню профілактичного ремонту в той час, коли ймовірність виходу компонентів з ладу стає високою.

Використання інструменту «Кошик замовлень» дозволило клієнту знати поточний статус замовлення, а підряднику – аналізувати статистику: вивчення статистичних даних виявляє закономірності в структурі замовлень та покращує якість прогнозування. Час прийняття замовлень скоротився до одного дня, також зменшилася реакція заводських служб на зміни в замовленнях. Нові дані дали змогу переглянути нормативні та цільові показники роботи підприємства.

Відстеження продукції та облік виробництва дозволили компанії успішно пройти сертифікацію трубної продукції на відповідність світовим стандартам якості.

4.7.1.3 Єдине казначейство холдингу «ІНТЕРПАЙП» базується на ERP-рішенні IT-Enterprise

Опис проєкту

Впровадження системи управління на заводах холдингу «Інтерпайп» здійснювалося послідовно – спочатку ERP-систему було розгорнуто на одному з підприємств, а після успішного завершення проєкту отримане рішення масштабувалося на інші заводи холдингу. Потім кожне з виробничих підприємств самостійно прийняло рішення про впровадження систем автоматизації. Це призвело до того, що підприємства холдингу «Інтерпайп» мали різні бізнес-процеси, незважаючи на те, що на всіх заводах була впроваджена єдина ERP-система IT-Enterprise.

Вище керівництво холдингу відзначило низький рівень управління фінансово-економічними даними, що призвело до необхідності централізації управлінських функцій та створення єдиних процесів. Збір та обробка даних займали багато часу, оскільки на той час бізнес-процеси на заводах холдингу були різними та мали різні формати звітності, тому їх збір та приведення до єдиного вигляду вимагало значного часу. В результаті прийняття важливих бізнес-рішень щодо управління компанією було відкладено на значний період часу.

Для усунення цих недоліків керівництвом компанії створено проєкт єдиного корпоративного фінансового управління компанією.

Передумови проєкту

Фахівці корпорації IT-Enterprise вже понад десять років автоматизують виробничі підприємства холдингу «ІНТЕРПАЙП». Але кожне з підприємств і навіть окремі відділи розуміли бізнес-процеси управління, а також цілі цих бізнес-процесів. Як наслідок, на момент запуску проєкту кожен бізнес-актив холдингу мав унікальне уявлення про те, як мають бути організовані процеси на підприємстві та які цілі цих бізнес-процесів. Незважаючи на те, що холдинг мав єдину IT-інфраструктуру, а переважна більшість підприємств холдингу були автоматизовані за допомогою єдиної ERP-системи IT-Enterprise та об'єднані єдиними інформаційними потоками, для ефективного централізованого управління підприємством потрібен був єдиний інформаційний простір.

Через відсутність єдиного інформаційного простору холдинг «Інтерпайп» зазнавав труднощів із консолідацією та аналізом фінансово-економічної інформації. На момент початку проєкту зі створення єдиного казначейства «Інтерпайп» був погано керованою, дуже великою (понад 12 тис. співробітників) компанією, яка була автоматизована на

рівні окремих бізнес-активів, але не мала необхідного рівня централізації управління.

В результаті виникло розуміння необхідності змін. Було вирішено проаналізувати бізнес-процеси заводів та обрати найкраще впровадження з метою їх тиражування на всіх підприємствах холдингу. Для реалізації цього етапу проєкту було відібрано найкращих спеціалістів з усіх підприємств холдингу, які разом з консультантами IT-Enterprise розробили єдині оптимальні бізнес-процеси. Ці бізнес-процеси були узгоджені та почали використовуватися як сервіс.

Паралельно з об'єднанням бізнес-процесів на підприємствах холдингу було оптимізовано організаційну структуру. Необхідність зміни організаційної структури підприємств пояснюється лише тим, що після централізації управління немає потреби виконувати окремі функції локально. В результаті на підприємствах підвищилася ефективність збору даних та прозорість управління.

Під час проєкту «Фінансовий менеджмент» було визначено шість найважливіших напрямків:

- Корпоративний реєстр замовлень – це управління продажами продукції від прийняття замовлення до його передачі у виробництво, а також логістичними ланцюгами доставки продукції.
- Договірний облік – створення єдиної бази даних договорів для всіх компаній, незалежно від юридичних осіб, з урахуванням усіх їхніх реквізитів.
- Управління дебіторською заборгованістю – стає необхідним після впровадження єдиного реєстру замовлень; з його допомогою компанія керує боргами своїх клієнтів та планує надходження коштів.
- Управління кредиторською заборгованістю.
- Єдиний облік.

Корпоративне казначейство – коли бізнес-процеси управління дебіторською та кредиторською заборгованістю вже централізовані, ви можете централізувати казначейство, створивши так звану «фабрику платежів»

Завдяки такій структурі, рішення змогло охопити сфери діяльності компанії, які містять фінансово-економічні показники, необхідні для управління фінансами компанії.

Використання почалося зі створення єдиної централізованої бази бізнес-процесів – MasterData. За роки експлуатації систем автоматизації підприємства накопичили багато нормативної та довідкової інформації, яка не була синхронізована з даними інших підприємств холдингу.

Корпоративний реєстр замовлень – це єдиний класифікатор готової продукції, реєстр умов поставки продукції та довідник логістичних

показників замовлень. Так з'явився єдиний корпоративний класифікатор, який описує готову продукцію всіх заводів (труби, колеса, трубні заготовки тощо). Всі ці дані містяться в єдиному класифікаторі, з яким підприємство працює через реєстр замовлень. Дані цього реєстру пов'язані ланцюгом з даними планування виробництва та планування логістики.

На наступному етапі проєкту було централізовано облік договорів. На платформі IT-Enterprise працюють понад 10 підприємств холдингу «Інтерпайп», і кожне з них мало свій власний довідник контрагентів. Ці дані були стандартизовані, створена єдина база даних. Для цього були виявлені дублікати даних, складена таблиця перекодування та проведено коригування даних підприємства. У холдингу сформовано єдині довідники контрагентів, типів договорів та статусів договорів. Після коригування, з базою даних 150 тисяч контрагентів, прогнозована кількість дублікатів становила не більше ста.

Для ефективного управління кредиторською та дебіторською заборгованістю сформовано єдині довідники умов постачання товарно-матеріальних цінностей, умов оплати постачальниками, довідник умов переходу права власності, довідники регіонів, сегментів та умов розрахунків з покупцями.

Ці довідники були доповнені даними, необхідними фінансовим службам. Тому в корпоративному казначействі було розроблено довідник статей бюджету доходів та витрат (PL) та бюджету руху грошових коштів (CF). Потім було розроблено структуру центрів фінансової відповідальності, а також довідники банків та поточних рахунків.

Незважаючи на труднощі впровадження, підприємства холдингу перейшли на єдині довідники, і зробили вони це досить швидко. Фахівці IT-Enterprise розробили механізми реплікації даних. Тепер дані або одночасно вносяться в центральну базу даних Інтерпайп, а потім реплікуються на інші об'єкти, або локальні об'єкти вносять інформацію у власні бази даних, потім ця інформація подається на перевірку співробітникам холдингу, після чого дані вносяться в центральну базу даних і реплікуються на інші об'єкти холдингу.

Для впровадження єдиного бухгалтерського обліку в холдингу було сформовано єдиний план рахунків та єдиний довідник типових господарських операцій.

Результати роботи

В результаті реалізації проєкту єдиного казначейства фінансові відділи на підприємствах Інтерпайп були ліквідовані та створено єдине казначейство. Платежі здійснюються з центральної керуючої компанії. Співробітники казначейства працюють у централізованій системі,

але водночас здійснюють платежі від імені окремих активів холдингу, а всі необхідні для роботи дані вже внесені до системи та доступні співробітникам.

Потреби локального обліку в кожному з активів Інтерпайпу повністю закриті. Централізація казначейства дозволила уникнути ситуації, коли заводи чи інші активи холдингу розпоряджаються фінансовими ресурсами неконтрольовано. Тепер усі платежі здійснюються лише з центру, а інформація надається заводам постфактум.

В результаті завершеного проєкту, холдинг «Інтерпайп» отримав єдині та стандартизовані бізнес-процеси. Було усунуто дублювання управлінських функцій – оптимізовано та реорганізовано служби на підприємствах, функції яких передано до підрозділів центрального офісу. Так, співробітники фінансових відділів заводів переведені до єдиного казначейства, співробітники планово-економічних відділів працюють в єдиному бюджетному центрі тощо.

Якість бізнес-процесів усіх підприємств зросла завдяки оптимізації та використанню передових практик. В результаті централізації управлінських функцій підвищилася гнучкість та прозорість управління всім холдингом, а також досягнуто вищого рівня узгодженості для пов'язаних бізнес-процесів підприємств.

Передача низки управлінських функцій холдингової компанії до центрального офісу дозволила оптимізувати організаційну структуру підприємств.

Завдяки вищій якості управління холдингом, фінансові ризики були мінімізовані.

Таким чином, основними проєктами «ІНТЕРПАЙП» в рамках цифровізації є:

1. «Розумна» фабрика («розумне» виробництво) – комплексне планування виробництва для кожного замовлення від прийняття замовлення до відвантаження готової продукції, відстеження виробництва продукції на всіх етапах онлайн.

2. «Розумна» логістика – це «розумне» управління ланцюгом поставок, яке скорочує час простою транспортних засобів та мінімізує помилки персоналу.

3. PredictiveMaintenance – прогнозне обслуговування обладнання. Це дозволяє перейти від системи планового та профілактичного ремонту до профілактичного обслуговування, коли виникає така потреба. Необхідні дані надходять до загальної системи від датчиків, встановлених на кожному одиниці обладнання, через промисловий Інтернет речей. Аналіз великих даних дозволяє робити правильний прогноз та вчасно закуповувати запасні частини.

4. Машинний зір – автоматичне розпізнавання та облік виробництва продукції на виробничій лінії.

5. Машинне навчання – розпізнавання та ідентифікація номенклатури та параметрів документів в електронному документообігу.

6. Розумні пристрої – інструмент для отримання інформації для планування та обліку. Використання, наприклад, «розумних» окулярів звільняє руки працівника та служить інструментом для отримання інформації та передачі «картинки».

Найближчим часом «ІНТЕРПАЙП» зосередиться на діджиталізації логістики та запустить онлайн-кабінет клієнта, де ви зможете бачити статус та терміни виробництва ваших замовлень.

4.7.2 Група «Метінвест» як впроваджувач цифрових технологій

У 2018 році Група Метінвест виділила свій IT-підрозділ в окрему компанію MetinvestDigital. Ця компанія є як центром експертизи цифрових технологій для всієї Групи Метінвест, так і працює зі сторонніми клієнтами. Ключові цифрові проекти Метінвесту включають:

1. Впровадження SAP SuccessFactory – системи управління ефективністю та цілями персоналу, яка дозволяє призначати завдання та контролювати KPI та інші показники ефективності.

2. Міграція систем SAP на хмарну платформу. Міграцію даних визнано найбільшою в Центральній та Східній Європі: 138 систем та понад 18 тисяч користувачів працюють у хмарі.

3. Міграція IT-інфраструктури групи (680 серверів у двох дата-центрах Метінвесту) на хмарну платформу Microsoft Azure.

4. Впровадження централізованої диспетчерської системи управління залізничними перевезеннями. Система працює на платформі SAP та інтегрується з програмними продуктами Укрзалізниці.

5. Використання дронів на гірничодобувних та кар'єрних комбінатах для моніторингу робіт, що виконуються в кар'єрах, оцінки обсягів сипучих матеріалів на складах, створення цифрових моделей установок для подальшого планування будівельних робіт тощо.

6. Автоматизація документообігу за допомогою електронного цифрового підпису (ЕЦП).

7. Підвищення якості прогнозування споживання газу в печах для відпалу металу цеху холодної прокатки ПАТ «Запоріжсталь» на основі машинного навчання.

Спеціалісти Metinvest Digital вже кілька років розробляють рішення у сфері RPA (Robotic Process Automation), які дають змогу автоматизувати

повторювані та рутинні операції за допомогою програмних роботів. Ці роботи імітують дії людини, взаємодіючи з цифровими системами та застосунками – ERP, CRM, базами даних і вебдодатками – без потреби змінювати наявну інфраструктуру.

До масштабних проєктів ІТ-компанії належить і одна з наймасштабніших цифрових трансформацій на базі SAP-рішень у Східній Європі. Metinvest Digital автоматизував бізнес-процеси Метінвесту практично за всіма напрямками діяльності, впровадив і ефективно підтримує десятки заводів і тисячі користувачів. Партнерський статус від компанії SAP надає Metinvest Digital змогу підвищувати якість та ефективність впровадження ІТ-рішень на базі продуктів SAP як для Метінвесту, так і зовнішніх клієнтів.

4.7.3 ПАТ «Арселорміттал Кривий Ріг» як впроваджувач проєктів автоматизації та цифровізації виробництва

З огляду на масштаби виробництва, ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» (рис. 4.3) прагне до постійного зростання показників якості екологічного стану навколишнього середовища, докладає максимум зусиль для попередження і мінімізації забруднення.



Рисунок 4.3 – ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг»

На підприємстві приділяється особлива увага заходам, які призводять до зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище, з урахуванням міжнародних і європейських вимог, соціального і економічного розвитку, збалансованого розвитку виробництва, що свідчить про високий рівень свідомості та екологічної культури виробництва.

ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» активно впроваджує цифровізацію виробництва для оптимізації процесів та підвищення ефективності, зокрема через автоматизацію робочих місць, використання інтелектуальних систем управління та даних для прийняття рішень у металургійному та коксохімічному виробництвах. Підприємство використовує сучасні технології для контролю та покращення якості продукції, а також для оптимізації логістики.

Ключові аспекти цифровізації на ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг»:

1. Автоматизація виробничих процесів: Впровадження сучасних систем автоматичного контролю та управління виробничими процесами, що дозволяє оптимізувати роботу обладнання та підвищити його ефективність.

2. Інтелектуальні системи управління: Використання розроблених компанією або міжнародними партнерами інтелектуальних платформ для аналізу великих обсягів даних, прогнозування та оптимізації операційних показників.

3. Цифрові інструменти для прийняття рішень: Аналітика даних дозволяє керівництву приймати більш обґрунтовані та своєчасні рішення, покращуючи планування виробництва, управління запасами та контроль якості.

4. Моніторинг виробництва в реальному часі: Цифрові технології дозволяють стежити за показниками роботи обладнання та виробничими процесами в режимі реального часу, що сприяє швидкому виявленню та усуненню проблем.

5. Оптимізація роботи персоналу: Цифровізація допомагає автоматизувати рутинні операції, вивільняючи час співробітників для виконання більш складних та відповідальних завдань, а також покращуючи умови праці.

Серед ключових проєктів автоматизації та цифровізації «АрселорМіттал Кривий Ріг» є:

Проект	Ефект проєкту
Модернізація автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУТП) підготовки шихти в агломераційному цеху № 3	Заміна застарілих вакуумних дозаторів на сучасні виробництва Schenck. Підвищення якості дозування матеріалів для виробництва агломерату
Модернізація системи управління технологічними процесами прокатного цеху № 3	Міграція АСУ ТП на базі ПЛК Siematic S5 на ПЛК Siematic S7. Розширення функціональності системи з точки зору інтеграції систем керування приводами в загальну АСУ ТП. Розширення інформаційних можливостей АСУ ТП та її інтеграція з системами вищого рівня
WEB-система візуалізації параметрів процесів підприємства	Цифровізація технологічних процесів для надання оперативної інформації про їх хід керівництву компанії
Централізація та цифровізація процесів зважування вантажів	Створення центрального диспетчерського центру зважування вантажів з автоматизованими системами розпізнавання номерів вагонів та формування перевізних документів. Розробка єдиної бази даних зважування та її інтеграція з системами SAP, ERP
Впровадження двофакторної системи ідентифікації в рамках проєкту з контролю та обліку доступу персоналу	В результаті впровадження досягнуто 100 % контролю доступу персоналу на територію ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»
Впровадження систем управління технологічними процесами в рамках стратегічних проєктів:	В рамках будівництва технологічних блоків впроваджено системи автоматизації високого рівня. Забезпечено їх інтеграцію з системами SAP та ERP. Системи автоматизації МБЛЗ 2,3 та агломераційних машин № 1, 4 впроваджено на базі сучасних контролерів Siemens за участю SMS та Siemens Україна. Проєкт системи автоматизації коксових батарей № 5, 6 реалізовано з використанням обладнання Schneider та є найбільшим проєктом цієї компанії в Україні за останні 25 років
1. Система автоматичного керування машинами безперервного лиття заготовок № 2, 3.	
2. Система керування коксовими батареями № 5, 6	
3. АСУТП агломераційних машин № 1, 4 агломераційного цеху № 2	

Цифровізація процесів технічного обслуговування, включаючи усунення несправностей, системи автоматизації	Використання QR-кодів для організації швидкого доступу до технічної документації за допомогою мобільних пристроїв з метою скорочення часу усунення несправностей у системах автоматизації та зменшення простотів ключового технологічного обладнання
Впровадження інформаційної системи “Telegram BOT”	1. Загальна довідкова інформація (включно з режимом питань/відповідей)
	2. Організація відпустки
	3. Спеціальні умови харчування
	4. Отримання інформації про заробітну плату
	5. Отримання інформації про медичні огляди
	6. Пенсійне забезпечення
	7. Подання заявок до дитячих оздоровчих таборів та пансіонатів підприємства (використовувалися до карантинних обмежень)

4.7.4 Ferrexpo як впроваджувач принципів Індустрії 4.0

Компанія Ferrexpo (один з найбільших світових виробників та постачальників залізрудних окатків) також постійно впроваджує нові технології. У липні цього року на Єристівському гірничо-збагачувальному комбінаті запустили новий автоматичний диспетчерський центр для координації роботи основних технологічних процесів (завантаження та транспортування гірської маси, розподіл транспорту, контроль продуктивності машин та обладнання, буріння тощо). Центр має можливість впроваджувати управління роботою самоскидів з автономним керуванням. Аналогічні проекти компанія планує реалізувати на Полтавському та Беланівському гірничо-збагачувальних комбінатах.

Ще раніше AM IntegratorGroup створила комплексну систему захисту інформації для фінансового модуля, побудувала серверну інфраструктуру для ERP-системи та ввела в експлуатацію модуль безпечного доступу до Інтернету.

Згідно з опитуванням KPMG в Україні, основними перешкодами для цифровізації є брак капіталу (22 %, лише 7 % у світі) та відсутність послідовного бачення ключових технологічних тенденцій (14 %).

Однак в українських реаліях ключовою проблемою є застаріле обладнання металургійних підприємств. Знос основних фондів у металургії становить 70 %, у видобутку металевих руд – близько 60 %. Водночас цей показник по країні в цілому становить 61 %, у промисловості – 66 %.

Металургія та видобуток руди є дуже капіталомісткими галузями. Однак постійні кризи та зміна умов на світових ринках послаблюють інвестиційні можливості гірничодобувних та металургійних підприємств.

Ще однією проблемою є низьке розуміння та проникнення знань про Індустрію 4.0 як серед ІТ-відділів, так і серед керівництва.

Відомо, що Ferrexpo запускає новітній технологічний комплекс пресфільтрації (рис. 4.4) для підвищення ефективності та екологічності виробництва. Комплекс пресфільтрації використовуватиметься у виробничому процесі як заміна вакуумної фільтрації для зневоднення тонкозернистої пульпи. Його висота – 42 метри, а загальна площа поверхонь – 28 000 квадратних метрів. Комплекс використовує сучасне обладнання світового лідера Metso, Atlas Copco та німецької компанії Eirich, які допомагають краще слідкувати за вологістю виробленої продукції й відповідно покращувати її якість.



Рисунок 4.4 – Ferrexpo запускає новітній технологічний комплекс пресфільтрації

4.8 ЕКОЛОГІЧНА МОДЕРНІЗАЦІЯ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ЯК ШЛЯХ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ «ЗЕЛЕНИХ» ТЕХНОЛОГІЙ У МЕТАЛУРГІЙНУ ПРОМИСЛОВІСТЬ

4.8.1 Огляд заходів з екологічної модернізації аглодоменного виробництва в Україні

На сьогодні відомі різні технічні рішення, що забезпечують підвищення продуктивності та якості агломерату: комбінований нагрів спека, термічна обробка агломерату, виробництво агломерату різної основності, добавка у шихту різних матеріалів, що в'яжуть, раціональний розподіл за висотою шару, попереднє стабілізуюче руйнування та інші. При цьому найбільш ефективним способом підвищення продуктивності агрегату вважається збільшення висоти шару, що спікається. Зокрема збільшення шару дозволяє підвищити міцність спека та домогтися зниження витрати твердого палива. Наприклад зміною висоти шару з 240 до 310 мм та зменшенням витрати твердого палива в шихту на 8 % отримують у нижніх горизонтах шару надлишок тепла, який сприяє збільшенню вмісту закиси заліза. Безпосередньо на українських металургійних підприємствах використовується технологія спікання агломерату основністю 1,6 з застосуванням у якості шихтових матеріалів замість залізорудного концентрату залізної руди родовища ПрАТ «Суха балка», яка містить оксид алюмінію та оксид магнію .

Розглядаючи сучасні аспекти підвищення конкурентоспроможності агломераційного виробництва слід виділити: будівництво агломераційних фабрик нового покоління з сучасними агломераційними машинами; проведення капітального ремонту та модернізації основних фондів агломераційного виробництва; використання автоматизованих системи управління технологічним процесом та станом основних фондів; застосування енергозберігаючих технологій спікання агломерату та інші.

Так на металургійних підприємствах України відбувається екологічна модернізація, яка охоплює і агломераційне виробництво. Екологічна модернізація направлена на модернізацію виробництва для зменшення викидів, економії ресурсів та підвищення енергоефективності.

Наприклад, в умовах ПрАТ «Дніпровський коксохімічний завод» (зараз ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ») для збільшення обсягу виробництва агломерату до 550 т/добу в ході капітального ремонту агломераційної машини № 11 планувалося: замінити блоки та направляючі апаратів мультициклону, замінити футеровки стаціонарного та перекидного жолобів, замінити

на нові барабан-окомкувач, барабан гасіння та барабан охолодження, замінити відкриті зубчасті передачі, газовідведення, вакуум-камери та інше обладнання, відремонтувати несучі металоконструкції, для зменшення енерговитрат встановити тиристорні перетворювачі. Також ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» виконав капітальний ремонт барабанів агломераційної машини № 8 під час вимушеної зупинки агрегату. Зокрема було виконано капітальний ремонт барабана гасіння та заміну барабана-окомкувача агломераційної машини. У барабані гасіння замінили внутрішню броню та спіралі, розвантажувальну частину тіла бочки агрегату. Також замінені опорні та завзяті ролики, редуктор та приводний вал. Змонтовано нові завантажувальні пристрої конвеєрів та відремонтовано металоконструкції розвантажувального пристрою. Барабан-окомкувач повністю замінений на новий із посиленими металоконструкціями через відпрацювання терміну експлуатації старого барабана.

ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» виконав реконструкцію п'яти з шести агломераційних машин (№ 1, 2, 4–6). Була встановлена нова установка очищення газу від зони спікання – електрофільтр компанії Flsmidth (Данія) та новий запальний горн із сучасною енергоефективною системою запалювання, завдяки чому вдалося знизити витрату нею природного газу з 450 до 320–350 м³/год. Зокрема під час модернізації на агломераційній машині № 2 замінили газоочищення, запальний горн на більш сучасний та енергоефективний, спікальні візки із збільшенням шару спікання до 450 мм. Також збудований новий електрофільтр і здійснена повна заміна газової системи агломераційної машини, лінійного охолоджувача та його дуттєвих вентиляторів. На газовому колекторі встановлені нові двоконусні затвори та пиловий конвеєр закритого типу, що запобігатиме запиленості.

В умовах ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» (за даними до лютого 2022р.) капітальний ремонт був виконаний на агломераційних машинах № 1–5 (всього їх дванадцять). Наприклад, фахівці ТОВ «Метінвест-Промсервіс» провели на агломераційній машині № 4 модернізацію запального горна та встановили нові економічні пальники. За рахунок цього витрата природного газу в процесі нагрівання та спікання агломерату була знижена на 10 %. Після демонтажу старого очищувача повітря на агломераційній машині встановлено обладнання нового покоління виробництва компанії Termokimik Corporation (Італія). Під час капітального ремонту впроваджено сучасну мікропроцесорну систему управління виробництвом. В межах масштабного екологічного проекту з модернізації газоочисного устаткування на аглофабриці ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» виконали

роботи з заміни очисних фільтрів на установках В-8, В-9 та провели реконструкцію електрофільтрів на агломераційних машинах № 1–6. Установки В-8 та В-9 призначені для видалення пилу з повітря зони обладнання розвантажувальної частини агломераційної машин корпусу № 1, де працюють агрегати дроблення агломерату, стаціонарний і вібраційний грохоти, перекидний жолоб та інші. Раніше тут виконували очистку електрофільтрами «Спейк», але для більш ефективного очищення повітря ухвалили рішення замінити наявні фільтри на рукавні ФРІР-5000, де концентрація пилу в повітрі, що відходить, не перевищує 30 мг/куб. м. Ще шість електрофільтрів «Спейк» на агломераційних машинах № 1–6 модернізували. Для цього конвеєри й затвори пилоприбирання замінили та повністю оновили обладнання системи управління. Також на ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» була проведена модернізація запальних горнів та заміна існуючих палинкових пристроїв ГНП-6 на сучасні СНТ-22 (з застосуванням струменево-нишевої технології), яка дозволила досягти високої рівномірності розподілу температурного поля за шириною палета, повного спалювання природного газу в короткому факелі з високою теплонапруженістю топкового простору горна, зниження винесення палива до неробочих зон агломераційної машини № 8. Загальне зниження витрати природного газу за рахунок модернізації запальних горнів агломераційної машини № 8 становило 20–25 %.

Одним з головних екологічних проєктів останніх років в умовах ПАТ «Запоріжсталь» стала модернізація газоочисних систем усіх шести агломераційних машин комбінату. Кожна агломераційна машина комбінату обладнана датчиками контролю викидів, які в онлайн-режимі показують ефективність роботи газоочисного устаткування. Це дає змогу оперативно контролювати і управляти викидами шкідливих речовин в атмосферу. На підприємстві періодично ведуться роботи з капітального ремонту агломераційних машин. Так, наприклад, на агломераційній машині № 6 було проведено заміну змішувального барабана, головної та розвантажувальної частини агломераційної машини, енерго- та електрокомунікацій, завантажувального горна, відремонтовано ексгаустер, газовий тракт та газоочищення.

В межах екологічної модернізації агломераційної фабрики ВАТ «Снаківський металургійний завод» проведено капітальний ремонт фільтраційної системи агломераційної машини № 1, внаслідок якого викиди знижено на 4 %. На підприємстві впроваджено застосування нової технології поверхнево активних речовин для оком кування сировини, що важко змочується, на одному з виробничих вузлів агломераційної фабрики, що призвело до зниження викидів на даній ділянці на 8 %. На агломераційній фабриці встановлено сучасний автоматичний контроль роботи вентиляційної системи

(ексгаустерів) агломераційної машин та впроваджено ще одну новацію – збільшено стійкість роторів ексгаустерів. В межах зменшення техногенного навантаження металургійного виробництва на екологію м. Маріуполя Група Метінвест прийняло рішення про закриття агломераційної фабрики на ПрАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь»». Це дозволило радикально покращити якість атмосферного повітря у місті – кількість викидів шкідливих речовин у повітря скоротилося на 30 % та на 10 % зменшилися викиди через шламонакопичувач в акваторію Азовського моря.

4.8.2 Модернізація спікального відділення агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»

На сьогодні в м. Кам'янське назріває необхідність відновлення комплексу з виробництва агломерату шляхом модернізації агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» (раніше ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат»), який входить до Групи Метінвест. Зокрема постає питання збільшення продуктивності агломераційних машин (а саме машин № 7–12), підвищення якості агломерату, модернізації системи газоочищення, що в свою чергу вплине на підвищення екологічних показників роботи агломераційного цеху.

Слід зазначити, що існуюча на сьогодні технологія виробництва офлюсованого агломерату на ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» та технологічне обладнання не забезпечують вимоги виробництва за обсягом і якістю агломерату, що в свою чергу призводить до перевитрат коксу та зниження продуктивності виробництва чавуна. Безпосередньо треба виділити наступні технічні та технологічні недоліки при застосуванні поточної технології спікання агломерату в умовах агломераційного цеху № 2:

- відсутність обладнання з первинного змішування (рис. 4.5 та рис. 4.6.) і гранулювання шихти, що призводить до зниження ступеня змішування і огрудкування, та, як наслідок, до погіршення якості шихти і втрати продуктивності агломераційних машин;

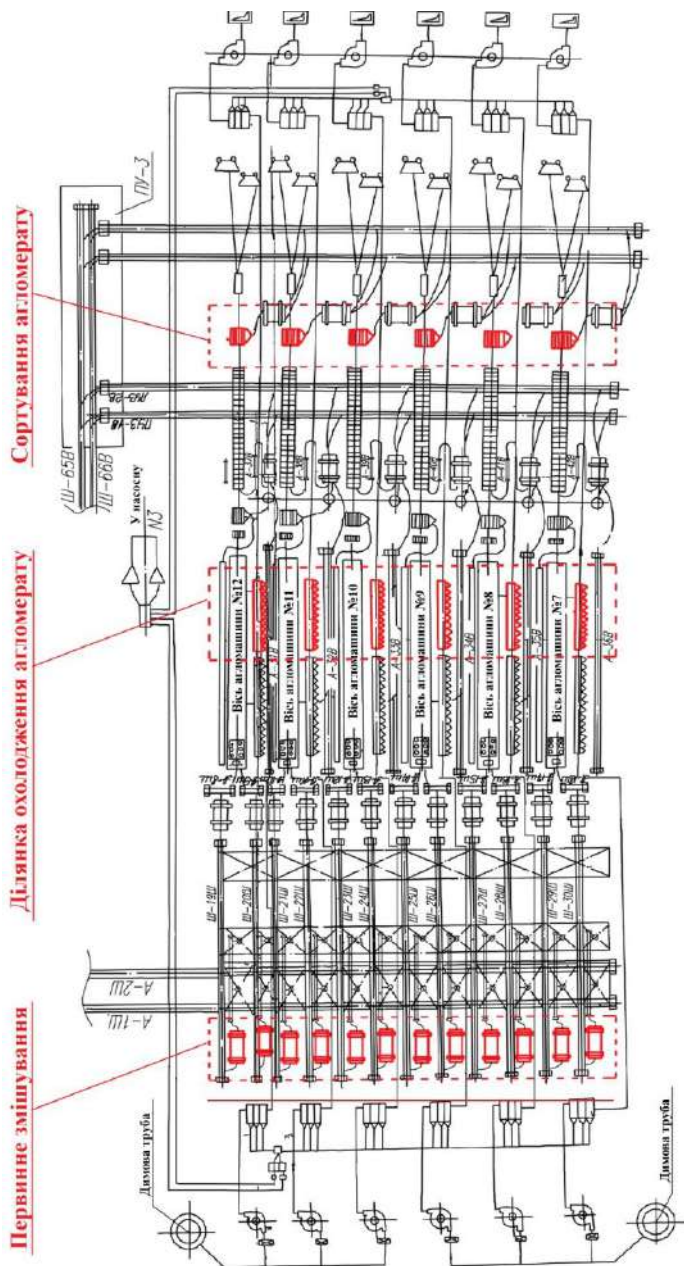
- вимушене використання частини площі охолодження на спікання, що призвело до незадовільної роботи зони охолодження і підвищення температури спека перед сортуванням до 700 °С; це обумовило заміну віброгрохоту на стаціонарні ґратки. Сортування агломерату на стаціонарних ґратках, розмір щілин в яких перевищує 5 мм, призводить до потрапляння у повернення придатного агломерату, знижуючи тим самим його вихід, і вимагає додаткової витрати палива на його повторне спікання. Застосування даного обладнання також не забезпечує ефективне видалення дрібниці, фракція < 5 мм в готовому агломераті перевищує 14 %;

- збільшення кількості повернення в шихті більше 30 % не дає приросту виробництва, у зв'язку з чим загальні втрати не будуть компенсовані;
- існуюче обладнання газоочищення агломераційних машин не забезпечує виконання діючих норм щодо викидів і призводить до забруднення навколишнього середовища.

Саме тому на агломераційній фабриці ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» стає актуальною та своєчасною модернізація спікального відділення, зокрема капітального ремонту агломераційної машини № 7, використання резервів існуючої технології спікання агломерату та обладнання (рис. 4.7): встановлення нового інтенсивного змішувача, піддозування твердого палива, застосування двостадійного грохочення, вдосконалення зони охолодження, вдосконалення процесу газоочищення технологічних газів та аспірації основних вузлів пиловидалення.

На сьогодні в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» встановлено шість агломераційних машин, що виробляють агломерат для доменного цеху, при цьому продуктивність агломераційного цеху № 2 складає 3,95 млн т/рік агломерату (таблиця 4.11), що не відповідає рівню європейських норм (від 5 до 7 млн т/рік). Тому пропонується в агломераційному цеху № 2 провести удосконалення технології спікання агломерату за рахунок використання енергозберігаючих заходів, що дозволить підвищити продуктивність цеху до 5,6 млн т/рік агломерату (таблиця 4.12). При збільшенні продуктивності агломераційного цеху на 42 % пропонується використовувати той самий склад компонентів шихти, але зменшити його питому витрату з 1195,32 (таблиця 4.11) до 1185,66 кг/т агломерату (таблиця 4.12).

Відомо, що згідно традиційній технології виробництва агломерату 40 % тепла, отриманого від спалювання твердого палива в шарі шихти, втрачається при охолодженні агломерату. Вдосконалення зони охолодження (рис. 4.7) дозволяє використовувати це тепло, нагріваючи повітря і подаючи його в зону спікання, тим самим заощаджуючи значну кількість твердого палива (20 %) і охолоджуючи агломерат до температури ~ 200 °C (рис. 4.8).



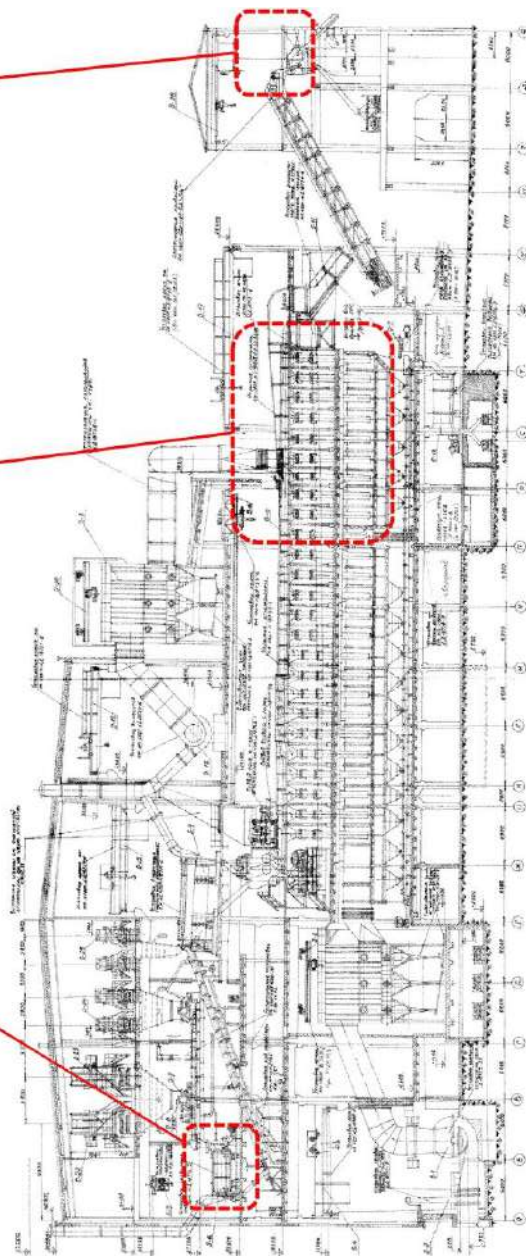
а

Рисунок 4.5 – Первинна схема ланцюга апаратів агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»

Первинне змішування

Ділянка охолодження агломерату

Сортування агломерату



б

Рисунок 4.6 – Виробничі ділянки агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», які частково або повністю виведені з експлуатації

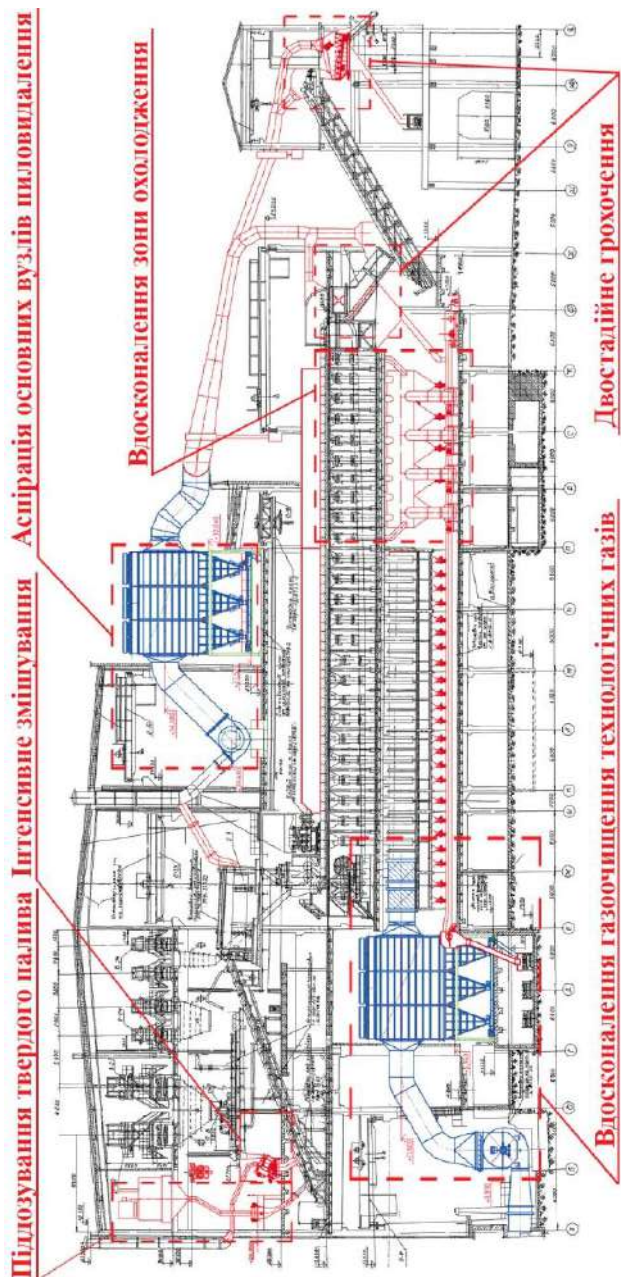


Рисунок 4.7 – Резерви модернізації агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»

Таблиця 4.11 – Витрата компонентів шихти при виробництві агломерату за існуючою технологією

№ з/п	Найменування компонентів шихти	Питома витрата (вологих матеріалів), кг/т	При виробництві 3,95 млн т/рік агломерату			
			річна витрата, т/агло-фабрику	річна витрата, т/агло-машину	годинна витрата, т/агло-фабрику	годинна витрата, т/агло-машину
1	Залізна руда (ПрАТ «Суха балка»)	148,00	584 600	97 433,33	73,81	12,30
2	Залізрудний концентрат (ПАТ «Північний ГЗК»)	590,00	2 330 500	388 416,67	294,26	49,04
3	Залізрудний концентрат (Лебединський ГЗК)	123,00	485 850	80 975,00	61,34	10,22
4	Колошниковий пил	11,00	43 450	7241,67	5,49	0,93
5	Окалина	3,00	11 850	1975,00	1,50	0,25
6	Вторинні матеріали	74,00	292 300	48 716,67	36,91	6,15
7	Шлам ділянки залізо-вапняних концентратів	20,00	79 000	13 166,67	19,97	1,66
8	Вапняк звичайний	60,00	237 000	39 500	29,92	4,99
9	Вапняк на штабель < 5 мм	13,00	51 350	8558,33	6,48	1,08
10	Відсів вапняку	12,00	47 400	7900,00	5,98	1,00
11	Доломіт сирий (бункера)	4,00	15 800	2633,33	2,00	0,33
12	Доломіт сирий (штабель)	3,00	11 850	1975,00	1,50	0,25
13	Вапно	42,00	165 900	27 650,00	20,95	3,49
14	Оксидний марганцевий концентрат II-го сорту	14,00	55 300	9216,67	6,98	1,16
15	Шлак киснево-конвертерного цеху	30,00	118 500	19 750,00	14,96	2,49
16	Коксова дрібниця	8,50	33 575	5595,83	4,24	0,71
17	Вугілля	39,82	157 289	26 214,83	19,86	3,31
	Всього:	1195,32	4 721 514	786 919,00	596,15	99,36

Зокрема пропонуються заходи з модернізації спікального відділення агломераційної фабрики № 2, які включають наступні особливості:

1. Для якісного змішування компонентів агломераційної шихти передбачено встановлення нового інтенсивного змішувача (рис. 4.9), при цьому шихтові матеріали в змішувач подаватимуться з бункера шихти новим стрічковим ваговим дозатором. Таким чином, буде дозовано задаватися кількість матеріалу на окомкування та подальше спікання, і здійснюватиметься поточний контроль витрати шихтових матеріалів. Зі змішувачів, по реконструйованим (відновленим до первісного стану),

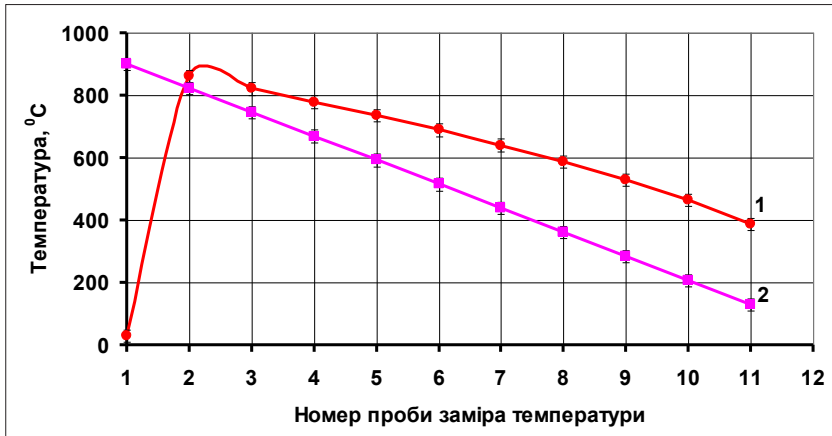
похилим конвеєрам агломераційної машини, змішана шихта подавати-
меться в існуючі барабани-окомкувачі.

**Таблиця 4.12 – Витрата компонентів шихти при виробництві
агломерату після модернізації агломераційної машини № 7**

№ з/п	Найменування компонентів шихти	Питома витрата (вологих матеріа- лів), кг/т	При виробництві 5,6 млн.т/рік агломерату			
			річна витрата, т/агло- фабрику	річна витрата, т/агло- машину	годинна витрата, т/агло- фабрику	годинна витрата, т/агло- машину
1	Залізна руда (ПрАТ «Суха балка»)	148,00	828 800	138 133,33	104,65	17,44
2	Залізорудний концентрат (ПАТ «Північний ГЗК»)	590,00	3 304 000	550 666,66	417,17	69,53
3	Залізорудний концентрат (Лебединський ГЗК)	123,00	688 800	114 800,00	86,97	14,50
4	Колошниковий пил	11,00	61 600	10 266,67	7,78	1,29
5	Окалина	3,00	16 800	2800,00	2,12	0,35
6	Вторинні матеріали	74,00	414 400	69 066,67	52,32	8,72
7	Шлам ділянки залізо- вапняних концентратів	20,00	112 000	18 666,67	14,14	2,36
8	Вапняк звичайний	60,00	336 000	56 000,00	42,42	7,07
9	Вапняк на штабель < 5 мм	13,00	72 800	12 133,33	9,19	1,53
10	Відсів вапняку	12,00	67 200	11 200,00	8,48	1,41
11	Доломіт сирий (бункера)	4,00	22 400	3733,33	2,83	0,47
12	Доломіт сирий (штабель)	3,00	16 800	2800,00	2,12	0,35
13	Вапно	42,00	235 200	39 200,00	29,70	4,95
14	Оксидний марганцевий концентрат II-го сорту	14,00	78 400	13 066,67	9,90	1,65
15	Шлак киснево- конвертерного цеху	30,00	168 000	28 000,00	21,21	3,54
16	Коксова дрібниця	6,80	38 080	6346,67	4,81	0,80
17	Вугілля	31,86	178 416	29 736,00	22,53	3,76
	Всього:	1185,66	6 639 696	1 106 616,00	838,34	139,72

Інтенсивні змішувачі істотно відрізняються від барабанів змішувачів своєю компактністю, зниженою вібрацією, а також вищим коефіцієнтом змішування компонентів шихти. У процесі змішування утворюються щільні мікрогранули фракцією 1,0–1,5 мм, які сприяють прискоренню утворення гранул в барабані-окомкувачі, тим самим підвищуючи загальну газопроникність агломераційної шихти, що окомкувалася.

2. Перед окомкуванням передбачено піддозування твердого палива. Застосовується спосіб інтенсифікації процесу за рахунок часткового накопчування палива на первинні гранули шихти. Для цього на кожній з двох ліній подачі на місці встановлених раніше бункерів, які виведені з експлуатації, будуть встановлені нові бункери дробленого палива (рис. 4.10). Кожен із бункерів розрахований на запас в чотири години при піддозуванні до 10 кг палива на 1 тону агломерату.



1 – середня температура повітря після кожного етапу спікання, °C;

2 – температура агломерату, що спікається, °C

Рисунок 4.8 – Співвідношення температури повітря в зоні спікання від температури агломерату, що спікається



Рисунок 4.9 – Змшувач шихтових матеріалів в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»



**Рисунок 4.10 – Бункери дробленого палива в умовах
ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»**

Тверде паливо крупністю до 3 мм подаватиметься в бункер у вигляді суміші палива крупністю до 3 мм та азоту трубопровідною системою з використанням пневмокамерного насоса, встановленого в корпусі шихтових бункерів та запитаного від існуючого бункера палива. Для роботи системи потрібна подача азоту робочим тиском 0,6 мПа, споживанням 17,5 нм³/хв. та вмістом кисню не більше 6 %. З бункерів, через вібролійки, тверде паливо подаватиметься на нові вагові стрічкові дозатори, а потім дозовано вивантажуватися на похилі конвеєра змішаної шихти, що реконструюються.

При проведенні реконструкції наступних агломераційних машин рекомендується спочатку виконати систему піддозування палива для всіх машин, а після цього починати почергову їх реконструкцію. У цьому випадку, можна буде одночасно і точно дозувати паливо для реконструйованих та не реконструйованих агломераційних машин, оскільки машини, що експлуатуються після виконання реконструкції, вимагатимуть менше палива, а машини, що працюють до реконструкції – більше. Тому, на етапі реконструкції наступних агломераційних машин, з корпусу шихтових бункерів вся шихта подаватиметься зі зниженим вмістом палива, а на машинах, що працюють до реконструкції, брак палива компенсуватиметься за рахунок піддозування. На подальшому етапі процес піддозування палива для кожної машини буде здійснюватися відповідно до технологічних вимог процесу спікання. Часткова подача палива безпосередньо в барабан-окомкувач

сприяє поліпшенню процесу спікання, так як частина палива накопчується на поверхню гранул, тим самим прискорюючи процес вертикального спікання шару агломераційної шихти на машині, підвищуючи якість та збільшуючи питому продуктивність агломераційної машини.

3. Для капітального ремонту агломераційної машини № 7 (рис. 6.11) пропонується виконати:

- ремонт поздовжніх та поперечних ущільнень агломераційної машини;
- ремонт газового колектора, вакуум-камер, пилових мішків, компенсаторів в зоні спікання, вакуум-камер в зоні охолодження;
- відновлення термічної ізоляції на газовому колекторі, вакуум-камерах, пилових мішках.



**Рисунок 4.11 – Ділянка агломераційної машини № 7 в умовах
ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»**

У завантажувальному бункері шихти буде встановлено розподільник потоку шихти. На всіх вакуум-камерах ділянки спікання агломераційної машини буде встановлено нові шибери з ручним приводом.

Над агломераційною машиною (рис. 4.12) буде встановлено нове укриття на всьому її протязі від горна до хвостової частини, за винятком ділянки перед розвантажувальною частиною, де проводитиметься заміна зношених палет для їх відновлювального ремонту. Укриття представлятиме собою металевий каркас і корпус змінного перерізу по висоті, покритий зовні теплоізоляційним матеріалом з температурою поверхні не більше 60 °С. По бортах укриття будуть розташовані поздовжні ущільнення, а в торцях – поперечні. Всередині укриття буде встановлено спеціальний газорозподільний пристрій.

Всі агломераційні візки будуть схильні до реконструкції: встановлення поздовжньої металевої пластини для забезпечення ущільнення між спальним візком і укриттям.

4. Частина газового колектора (існуюча зона охолодження) буде демонтована. На частині колектора (зона спікання), що залишилася, буде виконано відновлювальний ремонт, у тому числі, відновлення термоізоляції його корпусу і пилових мішків.



Рисунок 4.12 – 3D-модель модернізованої агломераційної машини № 7 в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»

При ремонті газового колектора необхідно передбачити заміну існуючих клапанів-мигалок на клапани-мигалки конусного типу. Це дасть зниження шкідливих підсмоктувачів і підвищення температури в газовому

колекторі, що покращить роботу системи технологічного газоочищення, особливо в зимовий період часу.

5. На ділянці попереднього охолодження агломерату, в зоні демонтованого колектора, буде розташований новий колектор повітря охолодження. Повітря в нього подаватиметься трьома новими вентиляторами. Потреба у воді на охолодження підшипників вентиляторів для однієї агломераційної машини складатиме $1,8 \text{ м}^3/\text{год}$.

З нового колектора холодне повітря через існуючі вакуум-камери подаватиметься знизу під колосникові ґрати і під тиском проникатиме через шар агломерату знизу вгору. Потім повітря в нагрітому стані до $\sim 380^\circ\text{C}$, під укріттям переміщатися на ділянку спікання і через газорозподільний пристрій потрапляти на верхній шар спеку, надходити через шар зверху вниз на спікання по всій протяжності зони спікання агломерату (рис. 4.13).

На колекторі повітря охолодження буде передбачена видача пилу та дрібних частинок агломерату, що потрапляють у колектор повітря охолодження через колосникові ґрати, на існуючий конвеєр пилу газового колектора.

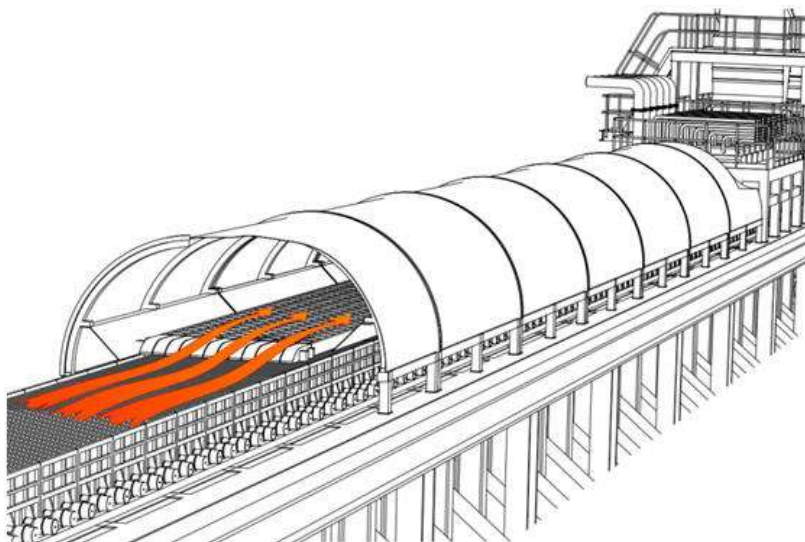


Рисунок 4.13 – Схема руху нагрітого повітря охолодження над шаром агломерату

Для дозованої видачі пилу та запобігання шкідливого підсмоктування в колекторі повітря охолодження на пилових мішках будуть встановлені нові конусні клапани-мигалки.

Таким чином, запропонована технологія подачі нагрітого повітря в зону спікання дозволить:

- використовувати тепло від охолодження агломерату;
- підвищити вертикальну швидкість спікання за рахунок подачі гарячого повітря на всьому протязі зони спікання;
- знизити кількість дрібниці, утвореної у верхньому шарі агломерату у зоні спікання;
- зняти напругу в шарі агломерату при повторному пропуску тепла знизу вгору на ділянці охолодження, що також сприятиме зниженню утворення дрібниці в агломераті.

6. Для ефективного сортування після одновалкової зубчастої дробарки, на заміну стаціонарних грат, буде встановлено новий електровібраційний гуркіт з пересувним візком. Гуркіт буде мати комірку 5 мм, і на ньому відсіюватиметься дрібниця – 5 мм, що утворилася при спіканні. Гуркіт матиме електроприводний пересувний візок, для його переміщення за межі агломераційної машини під існуючий монтажний проріз для заміни полотна, що просіває, і виконання ремонтних робіт.

Таким чином, запропонована екологічна модернізація агломераційної машини № 7 дозволить (таблиця 4.13):

- видавати з агломераційної машини продукт із температурою ~ 200 °С;
- проводити термічну обробку агломерату (знижуючи його крихкість, підвищуючи пластичність та збільшуючи вихід придатного продукту);
- знижувати питому витрату твердого палива на спікання агломерату;
- використовувати все гаряче повітря від зони охолодження агломерату для процесу його спікання, тим самим підвищуючи енергоефективність процесу спікання;
- постійно охолоджувати корпуси та колосники палет, тим самим не допускаючи їх тривалого перегріву та збільшуючи термін служби;
- знизити загальну кількість пилу, що виділяється від шару спеченого агломерату, при його вивантаженні з агломераційної машини.

Таблиця 4.13 – Порівняльні показники виробництва агломерату до та після екологічної модернізації агломераційної машини № 7

№ з/п	Найменування показників роботи агломераційної машини № 7	Поточне виробництво (3,95 млн т/рік агломерату)	Після модернізації агломераційної машини № 7 (5,6 млн т/рік агломерату)*
1	Продуктивність виробництва агломерату, т/рік	83,253	117,850
2	Крупність агломерату, мм	5–120	5–120
3	Кількість повернення, т/т агломерату	0,214	0,200
4	Кількість дрібниці (–5 мм) агломерату при вивантаженні на бункерну естакаду доменного цеха, %	14,100	≤ 8,000
5	Температура готового агломерату, °С	~ 700	~ 200
6	Питома витрата твердого палива, кг/т агломерату	48,320	38,660
7	Збільшення терміну служби колосників, %	0	+ 10,000
8	Залишкові викиди пилу технологічного газоочищення (з димової труби), мг/нм ³	381,000	≤ 30,000
9	Залишкові викиди СО після технологічного газоочищення (з димової труби), мг/нм ³	< 6500,000	< 6500,000

* **Примітка:** при роботі агломераційної машини 24 год/добу в період 330 діб продуктивність машини складає: $117,85 \cdot 24 \cdot 330 = 933,372$ т/рік агломерату.

4.8.3 Удосконалення процесу газоочищення технологічних газів й аспірації основних вузлів пиловидалення в умовах агломераційної фабрики № 2 ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»

Відомо, що при виробництві агломерату утворюється велика кількість запиленних газів. Вихід технологічних газів на 1 т агломерату становить в середньому 2,5 тис. м³/год., а кількість газів, що відсмоктуються від однієї агломераційної машини, – від 300 тис. до 2 млн м³/год. Технологічні гази містять від 4,0 до 8,0 г/м³ пилу. Очищення агломерацийних газів викликано як технологічною потребою – необхідністю збільшення терміну служби екстауерів, який зараз становить від 1,5 до 10 місяців, так і необхідністю зниження викидів в атмосферу.

Для контролю екологічної обстановки місць проживання людей поблизу агломераційних фабрик у світі встановлено норму викидів пилу з технологічними газами, що закріплено відповідними законодавчими актами (Directive 2008/50/EC), яких на підприємствах зобов'язані дотримуватися. Зазвичай для очищення агломераційних газів використовують батарейні мультициклони і електроциклони, рукавні фільтри (наприклад типу ФРІР-3000), електрофільтри (наприклад типу ЕГА-2-88-12-6-3-330А), апарати інерційного осадження (наприклад типу “VAV-250-АФК») або апарати тонкого очищення газів (наприклад типу “VAV-400/50D”).

Безпосередньо в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» технологічні гази від агломераційної машини № 7 надходять на очищення від пилу в батарейний циклон та ексгаустером направляються в борів димаря на викид в атмосферу. Саме тому актуальним залишається питання удосконалення технологічного газоочищення та пиловидалення на агломераційній фабриці № 2 ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».

Слід зазначити, що гази, що надходять від однієї агломераційної машини в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», мають наступні параметри:

1. Обсяг газів фізичний – $6500 \text{ м}^3/\text{хв}$ ($390\,000 \text{ м}^3/\text{год}$).
2. Обсяг газів за нормальних умов – $4100 \text{ м}^3/\text{хв}$ ($246\,000 \text{ м}^3/\text{год}$).
3. Температура газів: середня – 100°C , максимальна – 160°C .
4. Запилення газу на виході з колектора – $0,320\text{--}0,395 \text{ г/м}^3$.
5. Хімічний склад газів, що відходять: $4,495\text{--}5,207 \text{ г/м}^3 \text{ CO}$; $0,525\text{--}0,572 \text{ г/м}^3 \text{ SO}_2$; $0,068\text{--}0,085 \text{ г/м}^3 \text{ NO}_x$.
6. Хімічний склад пилу: $55,8\% \text{ Fe}$; $11,6\% \text{ FeO}$; $8,9\% \text{ SiO}_2$; $10,2\% \text{ CaO}$; $0,12\% \text{ MnO}$; $0,87\% \text{ Al}_2\text{O}_3$; $1,23\% \text{ MgO}$ та $11,28\%$ інші домішки.
7. Гранулометричний склад пилу, що виходить із колектора – менше 10 мм .

Таким чином, очищення технологічних газів до європейських норм досягається шляхом:

1. Заміни ексгаустера (підвищується розрідження та виникає можливість підвищення висоти шару шихти).
2. Установки нового газоочищення, що призведе до зниження викидів твердих речовин, SO_x та CO в атмосферу до нормативних показників.
3. Удосконалення аспіраційних систем, що призведе до зниження викидів твердих речовин в атмосферу до нормативних показників та призведе до нормативних умов праці на робочих місцях.
4. Демонтажу барабанів гасіння і охолодження повернення, що призведе до винятку викидів паро-пилової суміші на території аглодоменного виробництва.

Слід зазначити, що екологічна модернізації агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» має економічну ефективність (рис. 4.14): завдяки впровадження технології спікання агломерату за рахунок використання енергозберігаючих заходів відбувається зниження на 1,08 % собівартості 1 тонни агломерату, що в свою чергу вплине на зниження собівартості 1 тонни чавуну при та при збільшенні на 3,355 % обсягу виробництва чавуну дасть змогу отримати прибуток.

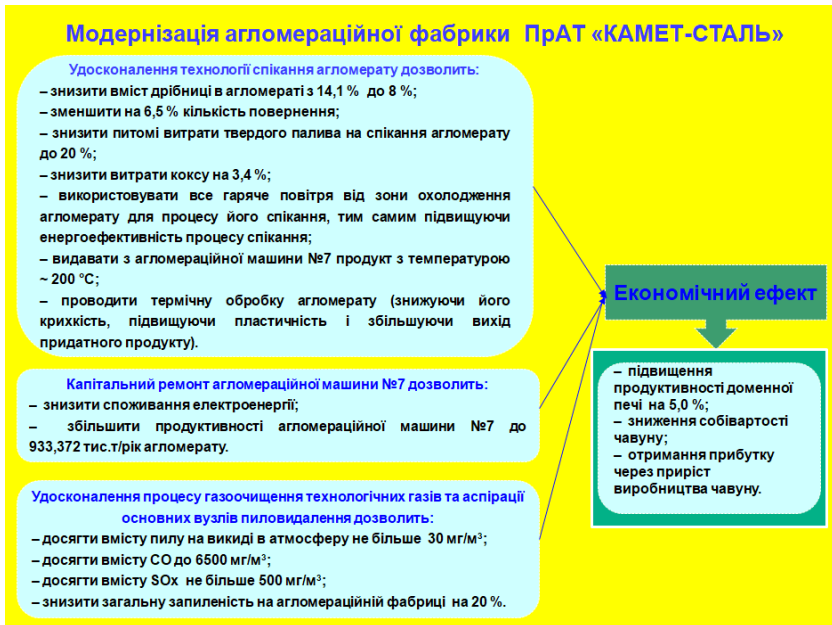


Рисунок 4.14 – Економічний ефект від екологічної модернізації агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»

ВИСНОВКИ

Сучасна трансформація металургійної галузі визначається інтеграцією цифрових технологій, впровадженням стратегій енергоефективності та розвитком циркулярної економіки. Комплексна цифровізація виробництва із залученням систем штучного інтелекту, цифрових двійників, інтернету речей (IoT) та платформ екологічного моніторингу створює

нову парадигму управління екологічними процесами, забезпечуючи оперативність рішень і прозорість екологічної звітності.

Принципи енергоефективності та ресурсозбереження, що реалізуються через використання електродугових печей, рециклінг вторинної сировини та зменшення споживання енергії й водних ресурсів, формують базис «зеленої» металургії. Зарубіжний досвід, зокрема шведський проєкт HYBRIT чи програми декарбонізації в ЄС та Японії, підтверджує, що воднева металургія та вуглецево-нейтральні технології є не лише екологічною необхідністю, а й конкурентною перевагою у глобальній економіці.

Водночас упровадження принципів циркулярної економіки дозволяє розглядати відходи як додатковий ресурс, що забезпечує новий виток інноваційного розвитку. Такий підхід сприяє не лише зниженню екологічного навантаження, а й створенню стійких бізнес-моделей у межах концепції сталого розвитку. Особливе значення має міжнародна конвергенція стандартів екологічного менеджменту, що втілюється через ініціативи на кшталт «Зеленого курсу ЄС». Це формує нову архітектуру глобальної металургії, де пріоритетними стають ESG-орієнтовані інвестиції, цифрова екологічна аналітика та інноваційні виробничі моделі, здатні поєднати економічну ефективність і соціальну відповідальність.

Таким чином, майбутнє металургії визначатиметься синергією цифрових технологій, інноваційної енергоефективності та глобальної екологічної інтеграції. Це дозволить не лише досягти стратегічних цілей декарбонізації, а й сформувати нову конкурентоспроможну модель розвитку галузі, що відповідає викликам XXI століття та забезпечує поступ до кліматично нейтральної економіки. Сучасні цифрові інструменти, зокрема системи штучного інтелекту, цифрові двійники та інтернет речей, активно впроваджуються для зниження викидів CO₂ у металургії. Автоматизація виробничих процесів дозволяє оперативно оптимізувати використання енергії, виявляти неефективні ділянки та скорочувати вплив на довкілля. Основу «зеленої» металургії становить підвищення енергоефективності технологій, повторне використання сировини та мінімізація втрат ресурсів. Впровадження електродугових печей, утилізація вторинної сировини, зменшення споживання води та газу сприяють зниженню екологічного навантаження.

У країнах ЄС, Японії та Південної Кореї впроваджуються високотехнологічні рішення для досягнення вуглецевої нейтральності. Наприклад, шведський проєкт HYBRIT демонструє виробництво сталі без викидів CO₂ за допомогою водню. Такі практики є прикладом успішної адаптації технологій під екологічні стандарти. Цифровізація сприяє ефективнішому екологічному моніторингу та аналізу даних. Завдяки цифровим платформам

здійснюється контроль за викидами в реальному часі, впроваджуються моделі прогнозування екологічних ризиків та автоматизується звітність для державних органів. Циркулярна економіка передбачає повторне використання відходів та перетворення їх у ресурс. У металургії це означає рециклінг металевих брухту, шлаків та очищення газів. Такі підходи дозволяють зменшити потребу в первинній сировині та скоротити витрати.

Міжнародні практики сталого розвитку у сфері «зеленої» металургії. Сталый розвиток у металургії базується на поєднанні інновацій, екологічної відповідальності та соціальної орієнтованості. Компанії з високим рейтингом ESG демонструють зростання інвестиційної привабливості. Міжнародні ініціативи, як-от «Зелений курс ЄС», формують нові вимоги до екологічної модернізації виробництва.

У ході дослідження проаналізовано вплив цифрових технологій, принципів енергоефективності, циркулярної економіки та міжнародного досвіду на трансформацію металургії в напрямку сталого розвитку. Виявлено, що комплексна цифровізація, використання вторинної сировини та екологічне управління є ключовими чинниками декарбонізації галузі та досягнення цілей «зеленої» металургії. Розширити використання цифрових технологій, принципів циркулярної економіки та енергоефективних рішень у металургії – ключове завдання на шляху до сталого розвитку. Проаналізовано сучасні практики декарбонізації, виявлено ефективні міжнародні підходи та доведено, що екологічна модернізація потребує комплексної цифровізації, оптимізації ресурсів і впровадження новітніх екологічних стандартів.

Запропоновані заходи з екологічної модернізації агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» (Україна) як шляху до впровадження «зелених» технологій в металургійну промисловість. Застосування запропонованого проектом екологічної модернізації агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» газоочисного обладнання дозволяє досягти вмісту пилу на викиді в атмосферу не більше 30 мг/м³ та знизити загальну запиленість на агломераційній фабриці на 20 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Воронкова В. Г., Нікітенко В. О., Метеленко Н. Г., Ажажа М. А. Цифровізація екологічного менеджменту та охорони довкілля як інструмент сталого розвитку. *Ukrainian science and education in the conditions of European integration* : collective monograph. California : GS Publishing Services. 2024. С. 24–38. DOI: <https://doi.org/10.51587/9798-9895-14670-2024-020>

2. Воронкова В. Г., Метеленко Н. Г., Нікітенко В. О., Ажажа М. А., Венгер О. М. Цифрові технології як чинник сталого розвитку екологічного менеджменту, екологічної безпеки та «зеленої» економіки в умовах глобальних викликів. *Modern aspects of science and education : collective monograph* / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2025. С. 95–118. DOI: <https://doi.org/10.51587/9798-9917-51926-2025-023>

3. Воронкова В. Г., Нікітенко В. О., Метеленко Н. Г., Оглобліна В. О. Зелена цифрова трансформація як драйвер сталого розвитку регіонів у повоєнному відновленні. *Educational discourse : collection of scientific papers*. 2025. № 52 (1–2). С. 22–30. DOI: [https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.52\(1-2\)-3](https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.52(1-2)-3)

4. Череп А. В., Воронкова В. Г., Череп О. Г., Нікітенко В. О. Зелена економіка, економіка замкнутого циклу або низьковуглецева економіка як моделі економічного розвитку. *Education and science in the period of global crises and conflicts in the 21st century : collective monograph* / за загальною редакцією Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks. California : GS Publishing Services, 2023. С. 32–48.

5. Воронкова В. Г., Нікітенко В. О., Метеленко Н. Г., Оглобліна В. О. Зелена цифрова трансформація як драйвер сталого розвитку регіонів у повоєнному відновленні. *Educational discourse : collection of scientific papers*. 2025. № 52 (1–2). С. 22–30. URL: DOI 10.33930/ed.2019.5007.52(1-2)-3

6. Ремез Н. С., Дичко А. О., Гребенюк Т. В., Бронницький В. О. Екологізація виробництва та зелені технології: курс лекцій : навч. посіб. для студ. всіх спеціальностей всіх освітніх програм. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 209 с.

7. Екологічні біотехнології «зеленого» синтезу наночастинок металів, оксидів металів, металоїдів та їх використання : наукова монографія / С. І. Цехмістренко, В. С. Бітюцький, О. С. Цехмістренко, О. А. Демченко, Н. О. Тимошок, О. М. Мельниченко; за редакцією С. І. Цехмістренко. Біла Церква, 2022. 270 с.

8. Орловська Ю. В., Чала В. С., Глущенко А. В. Політика ЄС щодо зеленої економіки та інновацій : підручник / під заг. ред. Орловської Ю. В. Дніпро : ПДАБА. 2023. 193 с.

9. Стратегія сталого розвитку: Європейські горизонти : підручник / І. Л. Якименко, Л. П. Петрашко, Т. М. Димань, О. М. Салавор, Є. Б. Шаповалов, М. А. Галабурда, О. В. Ничик, О. В. Мартинюк. Київ : НУХТ, 2022. 337 с.

10. Цифрова трансформація промислового менеджменту у контексті викликів, можливостей та змін : монографія / за ред. д.філософ.н., проф. В. Г. Воронкової, д.е.н.; проф. Н. Г. Метеленко. Львів – Торунь : Liha-Pres, 2024. 592 с.

11 . Метеленко Н., Попова А., Афанов Р., Нетяга А. Управління промисловими підприємствами в контексті економіко-екологічної зумовленості виробництва. *Humanities studies*. 2024. 19 (96). Р. 248–265. DOI: <https://doi.org/10.32782/hst-2024-20-97-28>

12. Метеленко Н. Г., Воронкова В. Г., Нікітенко В., Оглобліна В. О., Белоконь К. В. Синергія цифровізації та екологічної стійкості : моделі впровадження зелених технологій у регіональний розвиток. *Education and science: theory & praxis : collective monograph* / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks / за загальною редакцією Shpak V. California : GS Publishing Services. 2025 С. 50–68. URL: https://www.eo.kiev.ua/resources/arhivMonographs/mono_22/mono_22.pdf

13. Green hydrogen. URL: <https://web.kpi.kharkov.ua/eestc/2021/05/01/shho-take-zelenyj-voden/> (дата звернення: 07.10.2024).

14. Декарбонізація металургії потребує регулювання та цінових стимулів. URL: <https://gmcenter.ua/news/dekarbonizaciya-metalurgii-potrebuie-reguljuvannya-ta-cinovih-stimuliv-analitik/> (дата звернення: 07.10.2024)

15. Зелена сталь і перехід на водень: Як і навіщо рятувати українську металургію? URL: <https://biz.nv.ua/ukr/experts/chi-vryatuye-zelena-stal-ukrajinsku-ekonomiku-ekspert-ocinyuye-perspektivi-metalurgijnoji-galuzi-50406528.html> (дата звернення: 07.10.2024).

16. Шляхи розвитку «зеленої металургії». Частина 2. Технології виробництва сталі. URL: https://metinvest-smc.com/ua/articles/sliaxi-rozvitku-zelenoyi-metalurgiyi-castina-2-texnologiyi-virobnictva-stali/?srsId=AfmBOory_8_tjZQrB357f0EyS3EYIX1GAeDCvNOSf_beoGZZ3WVYfNj (дата звернення: 07.10.2024).

17. Декарбонізація відбудови: металургія, цементна індустрія і енергоефективність. URL: <https://ukraine-oss.com/dekarbonizaciya-vidbudovy-metalurgiya-cementna-industriya-i-energoefektyvnist/> (дата звернення: 07.10.2024).

18. Кучеренко М. А., Піщенко К. А., Воденнікова О. С. «Зелена» металургія: проблеми, перспективи та прогнози. *Актуальні питання суспільства у сферах екологічної та цивільної безпеки, енергозбереження, менеджменту та економіки* : І всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих учених та здобувачів вищої освіти (Запоріжжя, 16–18 жовтня 2024 р.). Запоріжжя : ЗНУ, 2024. С. 482–485.

19. Кучеренко М. А., Піщенко К. А., Воденнікова О. С. «Зелена» металургія : перспективи та проблеми. *Наука і сталий розвиток транспорту 2024* : збірник тез доповіді всеукраїнської науково-технічної конференції студентів і молодих учених (Дніпро, 27 листопада 2024р.). Дніпро : УДУНТ, 2024. Т. III. С. 125–126.

20. Vodennikova O. S., Pishchenko K. A. “GREEN” METALLURGY: PROBLEMS, PROSPECTS AND FORECASTS. *International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education”* : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga: Baltija Publishing, 2024. Т. 1. С. 27–30.

21. Мельник Я. В. Енергозберігаючі технології як основа для підвищення конкурентоспроможності гірничо-металургійної продукції. *Інвестиції : практика та досвід*. 2011. № 14. С. 72–76.

22. Воденнікова О. С., Воденніков С. А., Бондаренко Я. В. Аналіз заходів з модернізації спікального відділення агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». *Вісник Криворізького національного університету* : збірник наукових праць. 2022. № 55. С. 49–58. DOI: <https://doi.org/10.31721/2306-5451-2022-1-55-49-58>

23. Воденнікова О. С., Воденніков С. А., Бондаренко Я. В. Заходи з модернізації спікального відділення агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». *Метал та лиття України*. 2023. № 1 (31). С. 8–18. DOI: <https://doi.org/10.15407/steelcast2023.01.008>

24. Воденнікова О. С., Воденніков С. А., Бондаренко Я. В. Модернізація агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»: організаційні, технологічні, екологічні та техніко-економічні аспекти. *Метал та лиття України*. 2024. № 4 (31). С. 8–18. DOI: <https://doi.org/10.15407/steelcast2023.04.01>