

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра металургії та організації виробництва

Кваліфікаційна робота допущена до
захисту.

Гарант освітньої програми
«Управління модернізацією
металургії»

_____ Едуард ГРИБКОВ
9 липня 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»
за підсумками виконання міждисциплінарної
освітньо-наукової програми «Управління модернізацією металургії»
за спеціальностями 073 Менеджмент та 136 Металургія
на тему:
«Управління проектом організації бездомного виробництва сталі
продуктивністю 3 млн. тон на рік з метою розширення сортаменту
продукції»

Керівники роботи

Володимир КУХАР

Лариса ШАУЛЬСЬКА

Консультант від бази практики

Олексій БАБАЙ

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

Здобувач:

Данііл ТИМОШЕНКО

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Олександр КУРПЕ

Запоріжжя, 2025

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	Гірничо-металургійний
Кафедра	Металургії та організації виробництва
Ступінь вищої освіти	Магістр
Спеціальність	136+073 Металургія та Менеджмент
ОНП	Управління модернізацією металургії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

_____ Е.П.Грибков

« » 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Тимошенко Данііл Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи: «Управління проектом організації бездомного виробництва сталі продуктивністю 3 млн. тон на рік з метою розширення сортаменту продукції»

Керівники роботи:

Кухар Володимир Валентинович, доктор технічних наук, професор, «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Шаульська Лариса Володимирівна, доктор економічних наук, професор, «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом Університету 31.03.2025 р. №82/31.03.2025

2. Термін подання роботи 01.07.2025 р.

3. Вихідні дані: методичні матеріали, внутрішні нормативні матеріали підприємства щодо бюджетування при реалізації стратегічних інвестиційних проектів, результати атестаційної практики, результати власних досліджень тощо.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань): 1. Огляд теоретичних підходів і сучасного стану досліджень управління стратегічними інвестиційними проектами у бездомному виробництві сталі. 2. Методологічні підходи до оцінки та управління стратегічною модернізацією ПАТ «Запоріжсталь» 3. Розробка інтегрованої моделі модернізації металургійного виробництва ПАТ «Запоріжсталь»: технологічна, інвестиційна та управлінська складові. 4. Інтегровані ефекти та результати впровадження модернізаційного проекту бездомного виробництва на ПАТ

«Запоріжсталь». 5. Оцінка впливу модернізації на безпеку праці та умо-ви роботи персоналу пат «Запоріжсталь»

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (Загальна схема технологічного процесу виробництва).

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта

7. Дата видачі завдання 31.03.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Реферат, зміст, вступ	31.03...14.04
2	Розділ 1. Теоретико-методичні основи управління стратегічними інвестиційними проєктами у бездоменному виробництві сталі	15.04...20.04
3	Розділ 2. Аналіз стану та викликів діяльності пат «запоріжсталь» в контексті стратегічної модернізації	20.04...02.05
4	Розділ 3. Формування інтегрованої моделі модернізації металургійного виробництва пат «Запоріжсталь»: технологічна, інвестиційна та управлінська складові.	02.05...15.05
5	Розділ 4. Інтегровані ефекти та результати впровадження модернізаційного проєкту на пат «Запоріжсталь»	15.05...30.05
6	Розділ 5. Оцінка впливу модернізації на безпеку праці та умови роботи персоналу пат «Запоріжсталь»	30.05...14.06
7	Висновки, перелік посилань	14.06...21.06
8	Оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	21.06...30.06
9	Подання завершеної роботи. Перевірка на відсутність академічного плагіату	30.06...05.07

Здобувач



Данііл ТИМОШЕНКО

Керівники
роботи

Володимир КУХАР
Лариса ШАУЛЬСЬКА

РЕФЕРАТ

Тимошенко Д.О. Управління проектом організації бездоменного виробництва сталі продуктивністю 3 млн. тон на рік з метою розширення сортаменту продукції – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 136+073 Металургія та Менеджмент. ОПП «Управління модернізацією металургії» - ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2025.

Мета роботи: розробка інтегрованої управлінської моделі реалізації стратегічного інвестиційного проекту повної модернізації металургійного виробництва ПАТ «Запоріжсталь», яка передбачає відмову від застарілого аглодоменного та мартенівського переділу на користь сучасного бездоменного виробництва сталі з використанням технологій DRI на основі Midrex H₂ та електродугових печей (EAF) з орієнтацією на сталий розвиток, екологічну відповідність, економічну ефективність та соціальну стабільність.

- Ціллю дослідження є системна трансформація виробничо-управлінської моделі підприємства, яка дозволить:
- підвищити промислову ефективність та якість металопродукції;
- забезпечити відповідність стандартам CBAM і системі торгівлі квотами на викиди (EU ETS);
- зменшити вуглецевий слід продукції;
- сформувати гнучку систему перепрофілювання, перекваліфікації та мотивації персоналу у зв'язку зі зникненням доменного та мартенівського переділу;
- зберегти зайнятість на підприємстві за рахунок створення нових виробничих дільниць та перенавчання кадрів;

- впровадити цифрові інструменти управління проектом та виробничими процесами (MES, ERP, системи моніторингу ефективності);
- розробити етапність реалізації проекту модернізації з урахуванням ризиків, нормативно-правових вимог, доступності фінансування та технічної готовності;
- забезпечити економічну доцільність інвестицій завдяки досягненню високих показників NPV, IRR, скорочення операційних витрат та підвищення маржинальності продукції.

Робота має на меті не лише технічну трансформацію підприємства, а й управління глибокими організаційними змінами, що охоплюють людський капітал, внутрішні процеси, стратегію, культуру управління та взаємодію з державними інституціями, в умовах посилення глобальної конкуренції та екологічного регулювання.

Ключові слова: МОДЕРНІЗАЦІЯ, БЕЗДОМЕННЕ ВИРОБНИЦТВО, МЕНЕДЖМЕНТ ПРОЄКТІВ, MIDREX H₂, ЕЛЕКТРОДУГОВА ПІЧ, ЕКОЛОГІЧНА ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ, ПЕРЕПІДГОТОВКА ПЕРСОНАЛУ, ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ.

ABSTRACT

Tymoshenko D.O. Project Management for Organizing a Blast-Furnace-Free Steel Production Facility with an Annual Capacity of 3 Million Tons to Expand the Product Range – Qualification Thesis (Manuscript).

Qualification thesis for obtaining the Master's Degree in the specialty 136+073 Metallurgy and Management, Educational and Professional Program "Modernization Management in Metallurgy" – LLC "TECHNICAL UNIVERSITY 'METINVEST POLYTECHNICA", Zaporizhzhia, 2025.

Purpose of the thesis:

To develop an integrated management model for the implementation of a strategic investment project aimed at the complete modernization of PJSC "Zaporizhstal" steel production. The project envisages the phasing out of outdated sinter-blast furnace and open-hearth production in favor of modern blast-furnace-free steelmaking using DRI technologies based on Midrex H₂ and Electric Arc Furnaces (EAF), with a focus on sustainable development, environmental compliance, economic efficiency, and social stability.

The goal of the research is the systemic transformation of the company's production and management model, which will enable:

- Improving industrial efficiency and the quality of steel products;
- Ensuring compliance with CBAM standards and the EU Emissions Trading System (EU ETS);
- Reducing the carbon footprint of production;
- Developing a flexible system for redeployment, retraining, and motivation of personnel in connection with the elimination of blast furnace and open-hearth processes;
- Maintaining employment at the enterprise by creating new production units and retraining staff;
- Implementing digital project and production management tools (MES, ERP, performance monitoring systems);

- Developing a phased plan for project implementation, taking into account risks, regulatory requirements, financing availability, and technical readiness;
- Ensuring the economic feasibility of investments by achieving high NPV, IRR, reducing operating costs, and increasing product margin.

The work aims not only at the technical transformation of the enterprise but also at managing deep organizational changes that encompass human capital, internal processes, strategy, management culture, and interaction with government institutions amid increasing global competition and environmental regulation.

Keywords: MODERNIZATION, BLAST-FURNACE-FREE PRODUCTION, PROJECT MANAGEMENT, MIDREX H₂, ELECTRIC ARC FURNACE, ENVIRONMENTAL RESPONSIBILITY, PERSONNEL RETRAINING, DIGITAL TECHNOLOGIES.

Список публікацій здобувача:

1. Тимошенко Д. О., Кухар В. В., Воловненко І. В. Порівняння енергоспоживання при виробництві сталі застарілими аглодоменним та мартенівським переділами із сучасною технологією прямого відновлення заліза Midrex H2 та виплавою в дуговій сталеплавильній печі. Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки. 2024. № 2. С. 49–54. DOI: <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-2-8>

Автором виконано порівняльний аналіз енергетичних витрат різних сталеплавильних технологій.

2. Кухар В. В., Тимошенко Д. О., Кононюк Д. В., Малій Х. В., Навольнєв І. Ю. Доменні печі в епоху декарбонізації: пошук альтернатив коксу. Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки). Тематичний випуск "До 95 річчя кафедри металургії ім. професора В.І. Логінова Дніпровського державного технічного університету". 2024. № 3. С. 36–43. DOI: <https://doi.org/10.31319/2519-2884.tm.2024.3>.

Автором здійснено системний аналіз технологічних аспектів металургійного виробництва з урахуванням сучасних тенденцій розвитку.

3. Тимошенко Д. О., Кухар В. В., Шаульська Л. В., Кононюк Д. В. Порівняльний аналіз екологічної ефективності металургійних технологій виробництва сталі в контексті "зеленого" переходу. Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. 2024. Вип. 38. С. 282–291. DOI: <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2024-38-282-291>.

Автором проведено графіко-аналітичне порівняння екологічної ефективності різних сталеплавильних процесів.

4. Tymoshenko D. O., Kukhar V. V., Volkova V. Ye., Chub N. S., Kyrychenko I. H. Comparing the Environmental Performance of Steelmaking Technologies. Науковий журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки. 2025. № 3. С. 177–182. DOI: <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-3-23>.

Автором виконано оцінку екологічних показників сталеплавильних технологій із урахуванням сучасних екологічних вимог.

5. Кухар В., Грибков Е., Малій Х., Крюков Р., Тимошенко Д. Управління викидами в металургійній галузі України в умовах декарбонізації, шляхи досягнення вуглецевої нейтральності та застосування інструментів менеджменту. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2025. Вип. 1 (150). С. 65–73. DOI: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2025.1.8>.

Автором здійснено аналіз стратегічних напрямів модернізації металургійного виробництва з акцентом на «зелену» сталь.

6. Tymoshenko D. O., Kukhar V. V., Navolniev I. Yu., Malii Kh. V., Buturlin O. S. Strategic modernization of PJSC "Zaporizhstal" for decarbonization and adaptation to CBAM requirements. Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наук. пр. / ДВНЗ «ПДТУ». Дніпро. 2025. Серія: Технічні науки. Вип. 50. Т. 1. [Прийнято до друку].

Автором виконано розрахунки та аналіз операційної ефективності процесів прямого відновлення заліза та доменного виробництва.

ЗМІСТ

№№	Стор.
Вступ.....	13
1 Огляд теоретичних підходів і сучасного стану досліджень управління стратегічними інвестиційними проєктами у бездоменному виробництві сталі.....	21
1.1 Сутність, класифікація та особливості стратегічних інвестиційних проєктів в гірничо-металургійній промисловості.....	21
1.2 Бюджетування стратегічних інвестиційних проєктів: теоретичні засади, сучасні виклики та напрями розвитку.....	26
1.3 Світові підходи до реалізації стратегічних інвестиційних проєктів у металургії: аналіз бенчмаркінгу та уроки для України.....	30
1.4 Висновки до розділу.....	34
2 Методологічні підходи до оцінки та управління стратегічною модернізацією ПАТ Запоріжсталь.....	35
2.1 Поточний стан підприємства: виробнича структура, технології, проблемні зони.....	35
2.2 Аналіз поточного бізнес-процесу бюджетування стратегічних інвестиційних проєктів на підприємстві (AS IS).....	38
2.3 Аналіз кадрових та організаційних викликів модернізації: стан, ризики, необхідність перепідготовки персоналу.....	41
2.4 Висновки до розділу.....	44

3	Розробка інтегрованої моделі модернізації металургійного виробництва ПАТ Запоріжсталь: технолонічна, інвестиційна та управльнська складові.....	45
3.1	Технологічна трансформація виробництва сталі: новий бездоменний цикл DRI–EAF–МБЛЗ.....	45
3.2	Інвестиційна карта модернізації: етапи реалізації, капіталовкладення та економічна ефективність.....	55
3.3	Календарна реалізація проекту: етапи, строки, критичні точки.....	57
3.4	Екологічна ефективність та відповідність міжнародним вимогам: декарбонізація, CBAM, ESG та «зелена сталь».....	59
3.5	Аналіз ризиків модернізаційного проекту.....	62
3.6	Цифрова трансформація: впровадження SAP, Power BI, MES для підтримки модернізації.....	64
3.7	Програма підготовки персоналу, reskilling та управління змінами.....	66
3.8	Соціально-економічний ефект для регіону та громади.....	68
3.9	Висновки до розділу.....	70
4	Інтегровані ефекти та результати впровадження модернізаційного проекту бездоменного виробництва на ПАТ Запоріжсталь.....	72
4.1	Техніко-економічна ефективність проекту.....	72
4.2	Екологічні ефекти модернізації.....	75
4.3	Порівняння енергоспоживання та ресурсозатратності старих і нових технологій.....	79
4.4	Соціальні наслідки та вплив на громаду.....	82
4.5	Роль цифрової трансформації у реалізації проекту.....	86
4.6	Інституційне значення проекту та стратегічні перспективи.....	90

4.7	Висновки до розділу.....	94
5	Оцінка впливу модернізації на безпеку праці та умови роботи персоналу ПАТ Запоріжсталь.....	95
5.1	Загальна характеристика безпеки праці у металургії.....	95
5.2	Вплив стратегічної модернізації на умови праці на ПАТ «Запоріжсталь».....	95
5.3	Особливості умов праці сталеплавильника при роботі з EAF.....	96
5.4	Технічні та організаційні заходи безпеки.....	97
5.5	Цифровий моніторинг стану охорони праці.....	97
5.6	Соціальний ефект та перспектива розвитку безпечного виробництва.....	98
5.7	Висновки до розділу.....	98
	Висновки.....	100
	Список використаних джерел.....	103
	Додатки А Відбитки наукових публікацій.....	109

ВСТУП

Актуальність теми дослідження зумовлена масштабними трансформаціями, які відбуваються в глобальній металургійній галузі під впливом екологічних викликів, розвитку технологій прямого відновлення заліза (DRI), цифровізації та переходу до безвуглецевої економіки. Відмова від застарілих доменних і мартенівських технологій, що супроводжуються надмірними викидами CO₂, є вимогою часу, продиктованою як внутрішніми потребами оновлення основних фондів, так і зовнішніми факторами — запровадженням механізму CBAM, посиленням екологічного регулювання, глобальною конкуренцією за доступ до «зелених» ринків.

Одним з найбільших вітчизняних підприємств, яке стикається з необхідністю глибокої технологічної та управлінської модернізації, є ПАТ «Запоріжсталь» — один з ключових активів групи Метінвест, що відіграє системоутворюючу роль у національному гірничо-металургійному комплексі.

У 2029 році завершуються терміни дії дозволів на викиди для мартенівського виробництва, а вже до 2030–2034 років передбачається повна імплементація системи вуглецевого оподаткування (EU ETS, CBAM), що значно підвищує ризики збереження рентабельності виробництва в разі невжиття кардинальних технічних та управлінських рішень. У зв'язку з цим, компанією ініційовано масштабний стратегічний інвестиційний проєкт, що передбачає повну трансформацію сталеплавильного виробництва, включаючи впровадження технології Midrex H₂, будівництво електродугових печей (EAF), створення високотехнологічного DRI-комплексу, оновлення прокатного переділу та цифрову трансформацію управління.

Реалізація такого проєкту потребує не лише технічного проєктування, а й глибокого менеджерського підходу до планування, бюджетування,

організації робіт, управління ризиками, персоналом і змінами. Особливої актуальності набувають питання збереження зайнятості, перепідготовки кадрів, розробки соціально відповідальної політики та залучення державної підтримки у вигляді податкових стимулів, пільгового фінансування та компенсаторних механізмів у сфері «зеленої» трансформації.

В умовах воєнного стану, обмеженого фінансового ресурсу та нестабільності зовнішніх ринків ефективно управління проектом модернізації на основі кращих практик (PMBOK, PRINCE2), використання цифрових інструментів (ERP, MES, BIM) та гнучкого управління змінами (Agile Change Management) є критично важливими для досягнення як економічної, так і екологічної стійкості підприємства.

Теоретичні та прикладні аспекти проектного управління, впровадження інновацій у металургії, управління витратами та персоналом досліджувалися багатьма вітчизняними та зарубіжними науковцями, серед яких: І. Маркіна, О. Ратушняк, А. Осокіна, Т. Воронько-Невіднича, Wang Y., Harmon P., Serhii Matsenko (Brukland), Дмитро Щекович (Viconda W&D), Андрій Пісанкенков (АМКР) та інші. Проте, у їхніх роботах не приділяється достатньо уваги комплексному управлінню проектами повної технологічної трансформації промислових підприємств в умовах жорстких екологічних обмежень і соціальної відповідальності.

Таким чином, актуальність обраної теми обумовлена необхідністю розробки ефективної управлінської моделі реалізації масштабного проекту модернізації металургійного підприємства, яка поєднує інноваційні технології виробництва сталі, екологічні вимоги, сучасні інструменти управління та соціально орієнтовану політику, що визначає наукову і практичну значущість дипломної роботи.

Завдання кваліфікаційної роботи магістра:

1. Дослідити сучасний стан та глобальні тенденції розвитку металургійної промисловості, зокрема у сфері впровадження

технологій бездоменного виробництва сталі (DRI, EAF) та їх вплив на управлінські, фінансові та екологічні параметри діяльності підприємств.

2. Проаналізувати вимоги та виклики, що постають перед підприємствами гірничо-металургійного комплексу в умовах впровадження СВМ, Європейської системи торгівлі квотами (EU ETS) та загальносвітової декарбонізаційної політики.
3. Оцінити наявну структуру, рівень готовності та можливості ПАТ «Запоріжсталь» до реалізації проєкту повної модернізації виробництва: технічну, кадрову, фінансову, організаційну.
4. Провести порівняльний аналіз технологій Midrex H₂ та Energiron, їхніх техніко-економічних характеристик, екологічних переваг та доцільності впровадження на вітчизняних підприємствах.
5. Розробити етапну модель реалізації інвестиційного проєкту модернізації ПАТ «Запоріжсталь», включаючи календарний план, управління ресурсами, бюджетування, управління ризиками та контроль ефективності.
6. Запропонувати систему перепідготовки та мотивації персоналу в умовах технологічного переходу: збереження робочих місць, адаптація персоналу, соціальні програми.
7. Сформувати організаційно-економічний механізм управління змінами на підприємстві, що охоплює управління інноваціями, внутрішню комунікацію, цифрову трансформацію управлінських процесів (MES, ERP, BI-системи).
8. Провести техніко-економічне обґрунтування впровадження нової моделі виробництва сталі, включаючи розрахунок показників ефективності (NPV, IRR, ROI, період окупності, енергоспоживання, маржинальність).
9. Розробити рекомендації щодо державної підтримки та стимулювання подібних трансформацій, включаючи податкові

пільги, доступ до дешевих кредитів, включення проєкту до стратегічних програм національного рівня.

10. Сформулювати висновки дослідження та практичні рекомендації для ПАТ «Запоріжсталь» і підприємств галузі щодо ефективного управління масштабними інвестиційними проєктами трансформаційного типу.

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи магістра процес стратегічного управління інвестиційними проєктами модернізації металургійного виробництва на підприємствах гірничо-металургійного комплексу, зокрема проєкт переходу ПАТ «Запоріжсталь» до бездоменного виробництва сталі на основі технології Midrex H₂ та електродугових печей.

Предметом дослідження кваліфікаційної роботи магістра - є сукупність теоретико-методичних основ та науково-практичних засад організації, планування та бюджетування процесу реалізації стратегічного інвестиційного проєкту з модернізації підприємства ПАТ «Запоріжсталь», який включає впровадження бездоменного виробництва сталі на основі технологій DRI Midrex H₂ та електродугових печей, з урахуванням управлінських, економічних, екологічних і соціальних факторів.

У процесі дослідження застосовано комплекс загальнонаукових, конкретно-наукових та спеціалізованих методів, що забезпечили досягнення мети та виконання завдань кваліфікаційної роботи:

- Монографічний та абстрактно-логічний метод – використано для узагальнення теоретичних підходів до розуміння сутності стратегічного інвестиційного планування, а також для формалізації завдань бюджетування в рамках реалізації складних промислових проєктів.
- Методи структурної декомпозиції та синтезу – застосовувались для визначення змісту, етапів та внутрішніх зв'язків процесу

впровадження інвестиційного проєкту, оцінювання його вартості та ресурсного забезпечення.

- Концептуалізація – використана для формулювання концептуальної моделі організації процесу бюджетування при модернізації підприємства, включно з розробкою принципів, функцій і ключових елементів системи.
- Методи групування та порівняльного аналізу – використано для оцінювання стану бізнес-процесів підприємства, а також під час проведення бенчмаркінгу — зіставлення внутрішніх процедур бюджетування з кращими світовими галузевими практиками.
- Аналіз та синтез – застосовувались на всіх етапах дослідження для поетапного формування системи управління бюджетом стратегічного проєкту та для оцінки її впливу на загальну ефективність підприємства.
- SPACE-аналіз – проведено з метою визначення стратегічного положення ПАТ «Запоріжсталь», а також розробки коригувальних стратегічних дій у відповідь на внутрішні та зовнішні виклики.
- Структурне моделювання бізнес-процесів у нотації IDEF0 – використано для аналізу поточного стану (AS IS) і проєктного стану (TO BE) бізнес-процесу управління проєктами, з метою виявлення «вузьких місць» та формування пропозицій з його оптимізації. Моделювання виконано за допомогою програмного забезпечення RAMUS.
- Аналіз операційних ризиків – реалізовано метод "краватка-метелик" (Bow-Tie analysis) із застосуванням MS Visio для якісної оцінки ризиків в управлінні проєктом модернізації.
- Оцінка рівня діджиталізації процесів бюджетування – проведено з метою ідентифікації поточного рівня цифрової зрілості підприємства, а також розробки пропозицій щодо впровадження

MS Power BI як інструменту візуалізації, контролю та аналітики бюджетного процесу.

Інформаційною базою дослідження стали публікації провідних вітчизняних і зарубіжних науковців, дані базового підприємства (ПАТ «Запоріжсталь»), аналітичні матеріали групи «Метінвест», а також результати власних розрахунків, моделювання та експертних оцінок.

Теоретичне значення кваліфікаційної роботи магістра подальшому розвитку підходів до організації процесу бюджетування стратегічних інвестиційних проєктів у складних умовах функціонування підприємств гірничо-металургійного комплексу, з урахуванням високого рівня технологічної, екологічної та соціальної складності таких проєктів. Запропоновано інтеграцію класичних підходів до бюджетування з сучасними методами управління проєктами, діджиталізації та управління змінами. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення концептуальних засад інвестиційного планування та стратегічного управління.

Наукова новизна та значущі напрями дослідження полягають у наступному:

розширено методологію бенчмаркінгу – зокрема, описано ризики так званого «уявного бенчмаркінгу» (benchmarking trap), коли некоректні порівняння зводять нанівець ефект від адаптації практик інших компаній;

удосконалено підхід до визначення точності оцінки вартості проєктів – доведено доцільність використання інтервалу точності в межах $\pm 25\%$ на ранніх стадіях оцінювання, що відповідає провідним міжнародним практикам (AACE, PMI, IPMA);

обґрунтовано необхідність адаптації методики бюджетування до специфіки проєктів технологічної трансформації, які супроводжуються високим рівнем невизначеності, багатофакторністю та тривалим горизонтом реалізації;

сформовано рекомендації з розвитку цифрової бази для підтримки процесу бюджетування з використанням інструментів MS Power BI, графічного моделювання в нотації IDEF0 (RAMUS), систем управління ризиками (Bow-Tie Analysis).

Практичне значення дослідження полягає у можливості використання запропонованих підходів безпосередньо в діяльності ПАТ «Запоріжсталь» при реалізації проєкту модернізації виробництва. У ході дослідження було:

сформовано покрокову організаційно-методичну модель бюджетування проєкту DRI-EAF;

розроблено етапність переходу від стану AS IS до TO BE у ключових бізнес-процесах підприємства;

обґрунтовано переваги використання бюджетної точності «достатнього рівня» ($\pm 25\%$) для прийняття своєчасних інвестиційних рішень без втрати керованості;

прораховано економічний ефект від впровадження: підвищення операційної ефективності, зниження ризиків перевитрат, покращення управління ресурсами та прогнозованості фінансових показників.

Запропоновані результати дослідження мають практичну цінність для управлінського персоналу ПАТ «Запоріжсталь», а також можуть бути адаптовані до потреб інших підприємств, які реалізують масштабні проєкти в умовах екологічної трансформації та високої динаміки зовнішнього середовища.

Особистий внесок здобувача полягає в тому, що Здобувач Тимошенко Данііл Олександрович здійснив вагомий внесок у проведення дослідження завдяки своїй професійній залученості до реалізації інженерних і проєктних рішень у гірничо-металургійному секторі. На основі власного досвіду в управлінні модернізаційними ініціативами на підприємствах групи «Метінвест», зокрема в ТОВ «МЕТІНВЕСТ СІЧСТАЛЬ», автор забезпечив глибокий практичний аналіз сучасного

стану технологій, бізнес-процесів, інвестиційної ефективності та ризиків у рамках переходу до бездоменного виробництва сталі.

Протягом підготовки кваліфікаційної роботи здобувач **опублікував шість наукових праць**, з яких 4 у фахових виданнях. Оpubліковані статті присвячено порівнянню технологій, енергетичному аналізу, екологічним показникам, діджиталізації та переходу до «зеленої» сталі.

У межах участі у міжнародній науковій конференції **«MININGMETALTECH 2024»**, організованій ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», автор представив результати дослідження з теми « Порівняння екологічних показників сталеплавильних технологій ». Виступ викликав схвальні відгуки експертного середовища, а тези доповіді були опубліковані у міжнародному науковому виданні **Baltija Publishing**. Отримані зауваження та рекомендації голови секції були враховані при поглибленні аналізу у фінальній версії роботи.

Крім теоретичної частини, здобувач особисто здійснив:

- аналітичне моделювання етапів модернізації ПАТ «Запоріжсталь» (з використанням SAP, Power BI, MES);
- порівняльну оцінку CO₂-нейтральності DRI–EAF проти мартенівського циклу;
- економічні розрахунки (NPV, IRR, PI, BEP) на основі реалістичних параметрів.

Таким чином, кваліфікаційна робота є не лише академічним підсумком дослідження, а й відображенням багаторічної залученості здобувача до стратегічних трансформацій гірничо-металургійного сектору України.

1 ОГЛЯД ТЕОРЕТИЧНИХ ПІДХОДІВ І СУЧАСНОГО СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ УПРАВЛІННЯ СТРАТЕГІЧНИМИ ІНВЕСТИЦІЙНИМИ ПРОЄКТАМИ У БЕЗДОМЕННОМУ ВИРОБНИЦТВІ СТАЛІ

1.1 Сутність, класифікація та особливості стратегічних інвестиційних проєктів в гірничо-металургійній промисловості

У сучасних умовах розвитку світової економіки інвестиційна діяльність промислових підприємств, зокрема в гірничо-металургійному секторі, набуває стратегічного значення. Постійні зміни у технологіях, законодавстві, екологічних вимогах, енергетичних підходах та міжнародній торгівлі змушують компанії переосмислювати свій виробничий потенціал і структуру витрат. Це зумовлює необхідність реалізації стратегічних інвестиційних проєктів (СІП) як основи довгострокового розвитку підприємства та його конкурентоспроможності на глобальному ринку.

Стратегічний інвестиційний проєкт: визначення та сутність

Під стратегічним інвестиційним проєктом у сучасному управлінні розуміють складну, багатофазну ініціативу з тривалим горизонтом реалізації, значними капіталовкладеннями та глибоким трансформаційним впливом на підприємство. На відміну від тактичних (операційних) інвестицій, які спрямовані на локальні оновлення, СІП змінює архітектуру бізнесу: структуру активів, технологічний ланцюг, кадровий склад, екологічні характеристики, ринки збуту, репутацію бренду.

Основними ознаками стратегічного інвестиційного проєкту є:

довгостроковість (реалізація протягом декількох років, часто з поетапним введенням);

капіталомісткість (значний обсяг інвестицій, що часто перевищує річну амортизацію підприємства);

технологічна складність (високий ступінь інновацій, залучення іноземних технологій, зміна процесів);

інституційний масштаб (вплив на регіон, ланцюги постачання, ринок праці);

економічний і соціальний мультиплікатор (формування нових робочих місць, зменшення викидів, розвиток інфраструктури).

У випадку ПАТ «Запоріжсталь», проєкт переходу від застарілого способу виробництва сталі (рисунок 1.1) [1] потребує значних капітало вкладень.

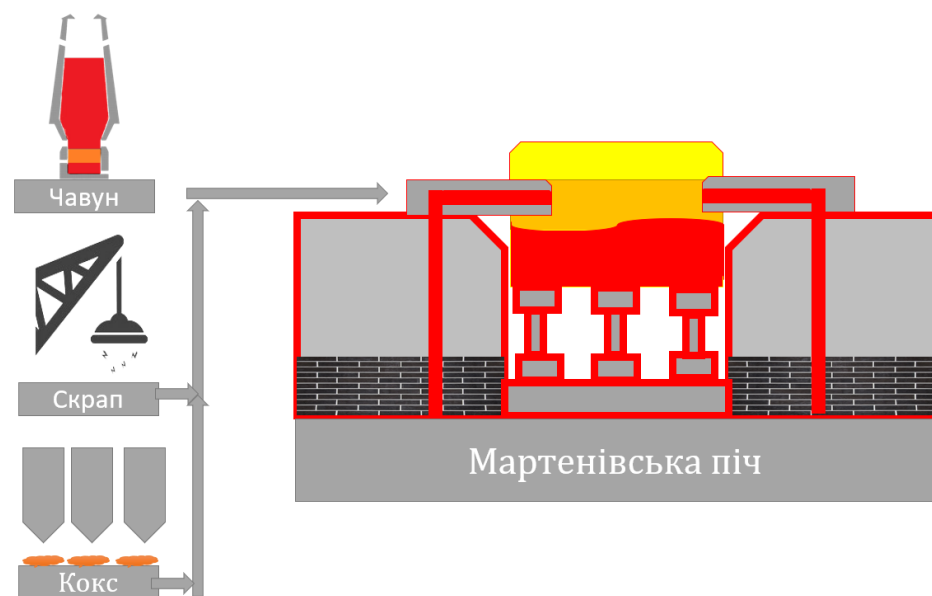


Рисунок 1.1 – Поточна схема застарілого виробництва

Перехід до бездоменного виробництва з використанням технології Midrex H₂ [2] та електродугових печей (ЕАФ) (рисунок 1.2.) [3] є класичним прикладом СІП: поєднує повну зміну технологічної парадигми, потребу в десятирічному інвестуванні, високі ризики та стратегічну важливість для держави.

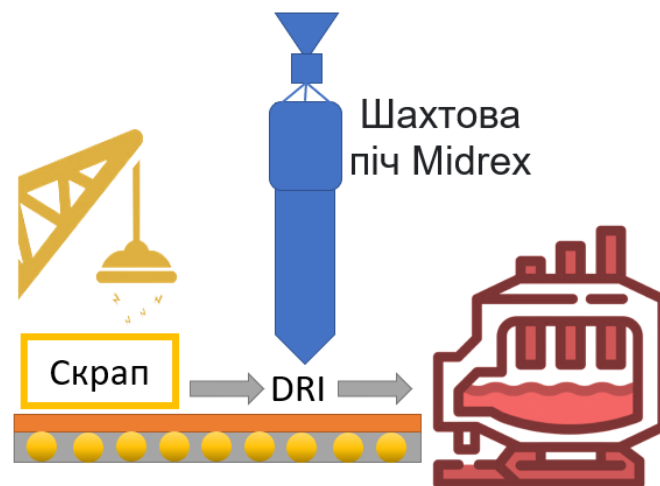
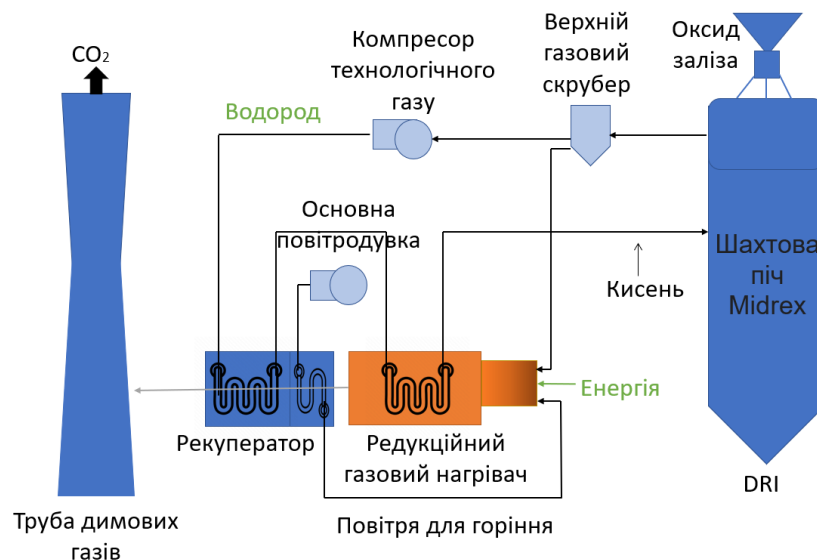


Рисунок 1.2 – Використання технології Midrex та технології EAF

Класифікація стратегічних інвестиційних проєктів

За міжнародною практикою стратегічні інвестиційні проєкти класифікують за рядом критеріїв:

За цільовою спрямованістю:

технологічні (модернізація, автоматизація, екологізація);

продуктові (виведення нових видів продукції);

ринкові (вихід на нові географічні чи галузеві ринки);

інституційні (створення альянсів, холдингів, зміна форм власності).

За масштабом:

локальні (в межах одного виробництва);

регіональні (з охопленням інфраструктури, енергетики, транспорту);
національні (що потребують державної підтримки або впливають на ВВП країни).

За джерелом фінансування:

внутрішні (власні кошти, амортизація);

зовнішні (банки, інвестори, міжнародні фонди, державні програми).

За ступенем інноваційності:

інерційні (оновлення без зміни принципу);

адаптаційні (впровадження перевірених технологій з новими налаштуваннями);

радикальні (створення нової технологічної бази, як у випадку Midrex H₂).

Особливості СІП у гірничо-металургійній промисловості

Металургія є капіталомісткою, енергоємною і екологічно навантаженою галуззю. Впровадження нових технологій у виробництві сталі має довгий інвестиційний горизонт, залежить від імпортного обладнання, глобальних ринків і міжнародної політики (зокрема СВАМ — Carbon Border Adjustment Mechanism) [4,5]. Зокрема був розрахований макропрогноз цін на гарячекатаний рулон (рисунок 1.3) де розрахунки демонструють стабільну середню маржинальність ГКР на рівні 433 доларів за тону, враховуючи навіть такий фактор, як податок СВАМ [6].

Розрахунки свідчать про певну стійкість бізнес-моделі та ефективність виробництва.

Особливими рисами СІП у металургії є:

висока залежність від енергетики та логістики;

потреба в ретельному узгодженні інженерного планування та фінансового бюджетування;

необхідність адаптації персоналу, включаючи масову перепідготовку працівників;

високий рівень операційних ризиків (збої в ланцюгах постачання, коливання цін на руду та лом, зростання витрат на CO₂) [7];

критичність до екологічних стандартів, які в ЄС, Великобританії та США стають дедалі жорсткішими.

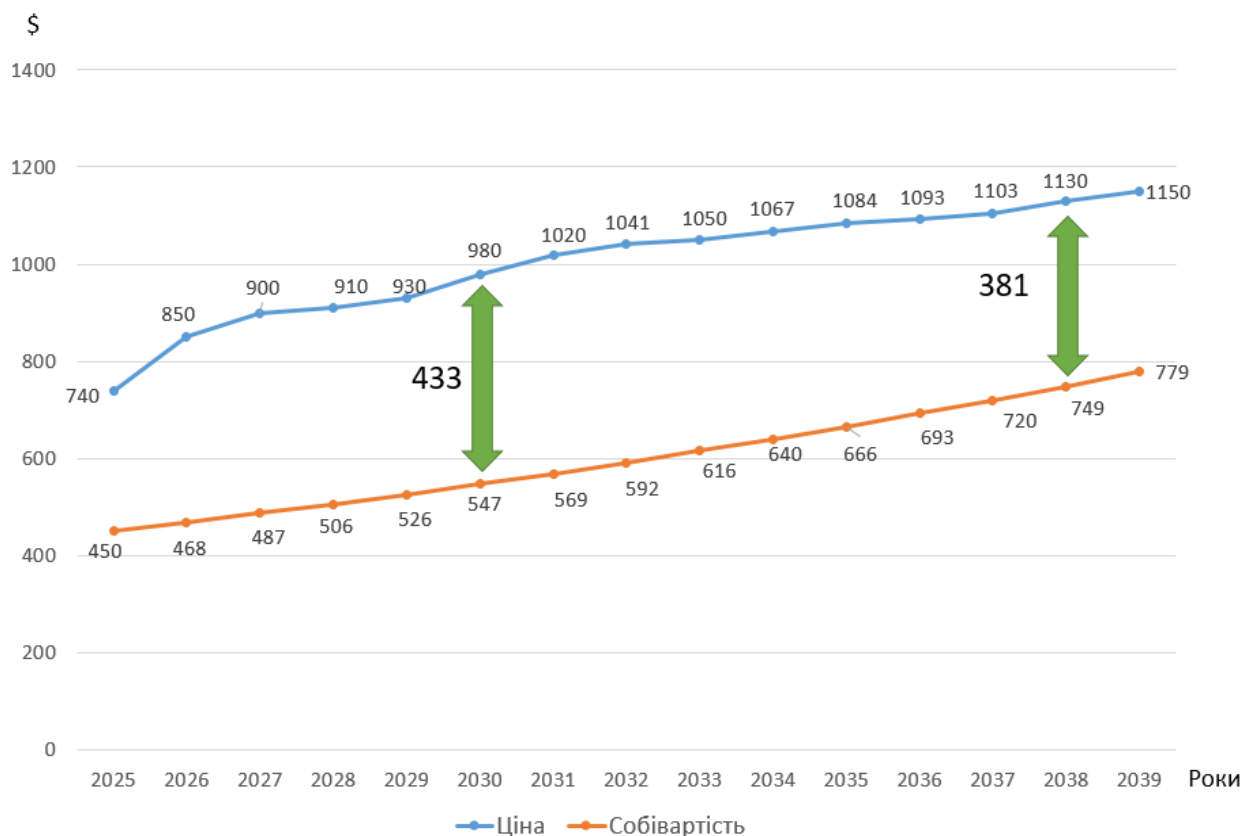


Рисунок 1.3 – Макропрогноз маржинальності гарячекатаного рулона

Наприклад, відмова від мартенівського виробництва на ПАТ «Запоріжсталь» до 2029 року пов'язана не лише з технологічною застарілістю, а й з вичерпанням дозволів на викиди — без впровадження нових технологій підприємство буде змушене або згорнути сталеплавильне виробництво, або не зможе експортувати продукцію до ЄС через СВМ [8,9].

Менеджмент СІП у металургії

Управління стратегічним інвестпроектном у металургії базується на поєднанні:

професійних підходів до планування (Work Breakdown Structure, Gantt-діаграми, Roadmaps);

інструментів управління вартістю (Cost Management, TCO, CAPEX/OPEX balance);

систем оцінки ефективності (NPV, IRR, BCR, період окупності);

ризик-менеджменту (інтеграція з ISO 31000, Bow-Tie, FMEA, Monte Carlo);

цифрових платформ (SAP, Oracle, Power BI, BIM, MS Project);

стратегічної комунікації та лідерства змін (Change Management, Stakeholder Mapping, Agile Governance).

Таким чином, стратегічні інвестиційні проекти в металургії потребують мультидисциплінарного управлінського підходу, що об'єднує інженерію, фінанси, економіку, HR, IT і державне регулювання. Розробка такої інтегрованої моделі управління модернізацією підприємства і є предметом подальшого аналізу у цій кваліфікаційній роботі.

1.2 Бюджетування стратегічних інвестиційних проєктів: теоретичні засади, сучасні виклики та напрями розвитку

Управління стратегічними інвестиційними проєктами вимагає точного, гнучкого та обґрунтованого бюджетування — як інструменту стратегічного фінансового планування, управління ризиками, контролю ефективності використання ресурсів і підготовки до ухвалення ключових управлінських рішень. Особливо це актуально для підприємств гірничо-металургійного комплексу, де масштаби інвестиційних проєктів обчислюються мільярдами доларів, а реалізація триває роками [10, 11].

Теоретичні основи бюджетування інвестиційних проєктів

У класичній економічній теорії бюджетування (англ. budgeting) розглядається як процес планування, розподілу та контролю за використанням фінансових ресурсів з метою досягнення визначених

результатів. У контексті стратегічного управління бюджетування набуває прогностично-аналітичної функції — воно дає змогу не лише планувати витрати, а й моделювати сценарії, визначати інвестиційні горизонти, обґрунтовувати варіанти фінансування та керувати невизначеністю.

Згідно з класифікацією Асоціації AACE (Association for the Advancement of Cost Engineering), бюджетні оцінки поділяються на п'ять класів точності:

Клас 5 (Order of Magnitude) — точність $\pm 50\%$ або більше (на етапі концепції);

Клас 4 (Study or Feasibility) — $\pm 30\% \dots \pm 50\%$;

Клас 3 (Budget Authorization) — $\pm 20\% \dots \pm 30\%$;

Клас 2 (Control Estimate) — $\pm 10\% \dots \pm 20\%$;

Клас 1 (Definitive) — $\pm 5\% \dots \pm 10\%$ (остаточна проектно-кошторисна документація).

У міжнародній практиці найбільш широко використовується точність у межах $\pm 25\%$ для бюджетного планування стратегічних інвестиційних проєктів на фазі затвердження концепції (Pre-FEED/FEED), оскільки цей рівень забезпечує достатню гнучкість і оперативність прийняття інвестиційного рішення без надмірного навантаження на ресурси підприємства.

Бюджетування в контексті гірничо-металургійної промисловості металургія характеризується:

великим обсягом первинних інвестицій (CAPEX);

тривалими фазами реалізації (5–15 років);

складною структурою витрат (обладнання, інфраструктура, енергоносії, логістика, персонал, екологія);

залежністю від глобальної кон'юнктури (ціни на руду, метал, електроенергію);

високим рівнем нормативного регулювання та екологічного контролю (CBAM, EU ETS).

У таких умовах бюджетування повинно бути:
етапним (по фазах: дослідження, інжиніринг, будівництво, запуск);
адаптивним (до змін валютного курсу, логістичних витрат, нормативів);

інтегрованим у систему проєктного управління (MS Project, Oracle Primavera, SAP, Power BI);

орієнтованим на ризики (аналіз сценаріїв, чутливості, резервів).

Особливу складність викликає прогнозування вартості впровадження інноваційних технологій, таких як Midrex H₂ або Energiron [12], оскільки на ранніх етапах часто бракує верифікованих даних, локалізованих калькуляцій та стандартизованих кейсів.

Підходи до організації бюджетного процесу

Існує кілька ключових підходів до організації бюджетування в рамках СІП:

Класичне каскадне бюджетування — побудоване на лінійній логіці: план → розподіл ресурсів → контроль → коригування. Ефективне для прогнозованих середовищ, але малоефективне при швидких змінах.

Гнучке (ітеративне) бюджетування — використовує принципи Agile/Lean, дозволяє оновлювати дані по мірі надходження нової інформації, зменшує ризики "заледеніння" бюджету на роки.

Цільове бюджетування (Target Costing) — фокусується на досягненні цільових показників вартості, виходячи з допустимої рентабельності (на основі ціни реалізації).

Zero-based budgeting — передбачає обґрунтування кожної статті витрат з нуля. Доцільне в умовах реструктуризації або повної трансформації підприємства, як у випадку Запоріжсталі.

Digital budgeting & analytics — інтеграція даних з усіх підсистем підприємства (ERP, MES, Excel, фінмоделі) в єдину цифрову аналітичну панель (наприклад, Power BI), що дозволяє в реальному часі

відслідковувати стан витрат, прогнозувати перевитрати, аналізувати «вузькі місця».

Актуальні виклики у сфері бюджетування СІП

У процесі реалізації стратегічних інвестпроектів підприємства стикаються з рядом типових проблем:

Уявний бенчмаркінг — коли витрати або моделі інших підприємств без урахування локального контексту (енергетика, логістика, трудовий ринок) копіюються механічно, створюючи хибні очікування та прогалини в бюджеті.

Гіпердеталізація на ранніх етапах — прагнення до «ідеальної точності» ($\pm 5\text{--}10\%$) без реального обґрунтування, що затягує процес ухвалення рішень і призводить до інфляції витрат.

Фрагментованість систем управління — коли дані про вартість проекту розкидані між фінансовим, інженерним, виробничим та HR-відділами, що унеможливорює цілісну картину.

Відсутність гнучких сценаріїв — недостатнє використання чутливості до ключових факторів (ціна газу, ставки по кредитах, строки постачання обладнання).

Низький рівень діджиталізації — відсутність централізованої платформи для моніторингу бюджету в реальному часі.

Перспективні напрями розвитку бюджетування

У відповідь на зазначені виклики у провідних компаніях світу реалізуються такі практики:

Використання точності «достатнього рівня» ($\pm 25\%$) на етапах концепції й обґрунтування інвестицій — для пришвидшення запуску проекту та економії на надмірному плануванні;

Розгортання цифрових бюджетних систем (Power BI, Oracle Fusion), які дозволяють створювати візуальні приладові панелі, інтегрувати сценарії, план-факт аналізи, гнучко формувати звіти для менеджменту та інвесторів;

Інтеграція з ризик-менеджментом — з включенням у бюджет резервів на ризики (contingency & management reserves), які визначаються за допомогою аналізу «краватка-метелик» (Bow-Tie), PEST/STEP-аналізу, сценарного планування.

Використання концепту "гнучкого бюджету" (Rolling Forecast), який оновлюється кожні 3–6 місяців із врахуванням змін макроекономіки, нормативної бази, ціни на енергоносії.

1.3 Світові підходи до реалізації стратегічних інвестиційних проєктів у металургії: аналіз бенчмаркінгу та уроки для України

У сучасному глобальному контексті сталеливарна промисловість перебуває під тиском численних викликів — жорсткішого екологічного регулювання [13], дефіциту вуглецевих квот, енергетичної трансформації, технологічного застарівання фондів, конкуренції на ринку сировини. Реакцією на ці виклики стала хвиля стратегічних інвестицій у переоснащення підприємств, впровадження технологій прямого відновлення заліза (DRI), електродугових печей (EAF) [14], цифрову трансформацію та реструктуризацію бізнес-моделей.

Суть бенчмаркінгу як інструменту

Бенчмаркінг (benchmarking) — це систематичний процес порівняння та вивчення найкращих практик провідних компаній з метою адаптації до власного середовища [15]. У сфері стратегічного управління проєктами бенчмаркінг дозволяє:

ідентифікувати ефективні рішення щодо інвестицій, технологій, цифровізації;

Небезпека полягає в уявному бенчмаркінгу (benchmarking trap) — коли підприємство копіює практики без врахування специфіки макросередовища, вартості ресурсів, логістики, ринку праці, енергосистеми тощо. Це призводить до хибної оцінки бюджетів,

переоцінки вигод і зриву проєктів на пізніх фазах. Докладний бенчмаркінг потреб енергетики двох технологій з DRI [16, 17] був проведений між двома провідними компаніями виробниками Midrex та технології Energiron від Danieli (рисунок 1.4) де ми можемо вже розуміти потреби у енергетичній інфраструктурі для нашого підприємства.

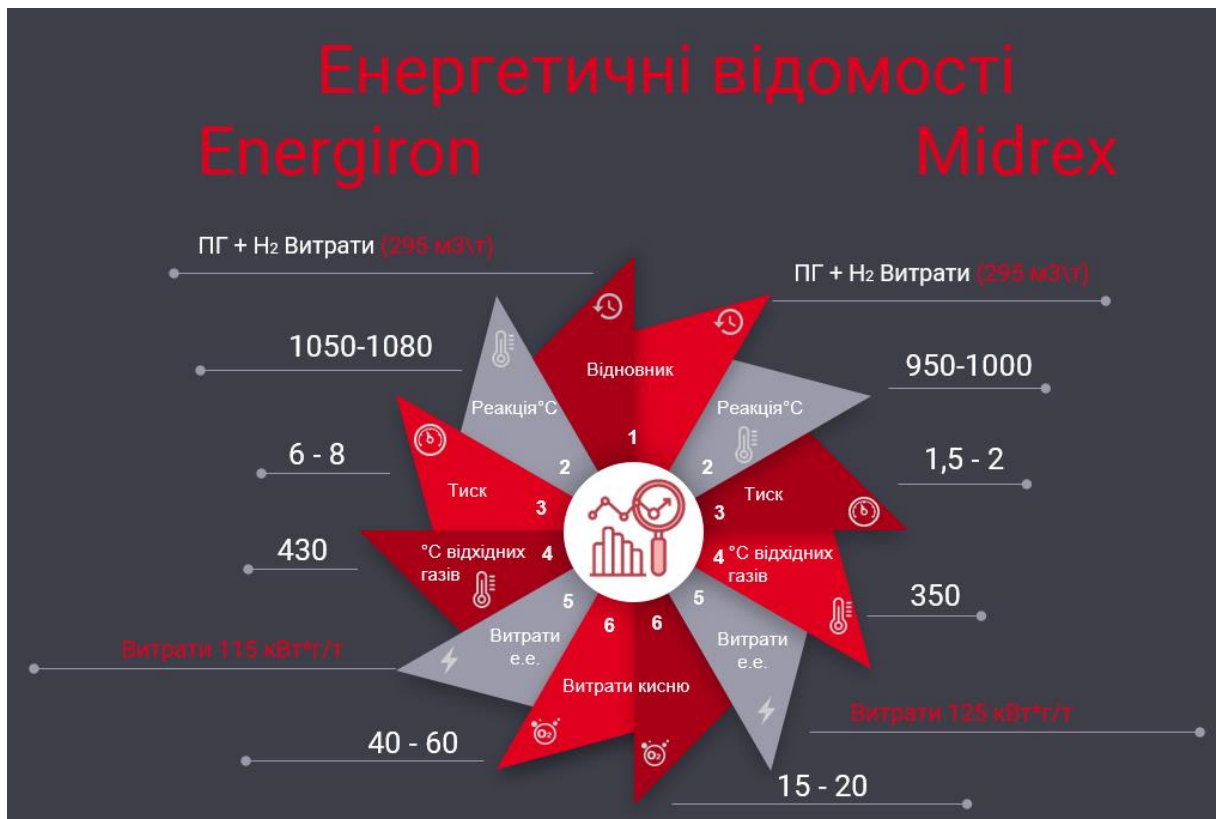


Рисунок 1.4 – Енергетичний бенчмаркінг DRI технологій

1.3.1 Досвід компанії Voestalpine (Австрія)

Компанія Voestalpine AG є одним із лідерів «зеленої» трансформації металургії у ЄС. На потужностях у місті Лінц впроваджується стратегічна програма greentec steel, що передбачає [18, 19]:

відмову від доменного виробництва до 2030 року;

впровадження EAF та зеленого DRI з використанням водню [20];

скорочення викидів CO₂ на 30% до 2030 року, на 100% до 2050;

масштабну цифровізацію виробничих процесів.

Особливості бюджетування:

бюджет розробляється з точністю $\pm 30\%$ на концептуальній фазі;
планування ведеться поетапно з використанням rolling forecast;
для верифікації використовуються цифрові моделі в SAP та Power BI;
зарезервовано 20% від бюджету на ризики, пов'язані з коливанням енергоресурсів і курсів валют;

у витрати включено соціальну складову — перекваліфікація персоналу, створення навчального центру, компенсаційні пакети.

1.3.2 Досвід ArcelorMittal (глобальна практика)

ArcelorMittal впроваджує десятки інвестиційних проєктів у США, Канаді, Німеччині, Франції, Індії та Україні [21, 22]. У фокусі — перехід на низьковуглецеві технології, зокрема:

впровадження DRI в Генті (Бельгія) — \$1,3 млрд інвестицій;

використання відновлювального водню;

будівництво DRI-модуля та EAF у Франції з бюджетом \$1,8 млрд;

проєктування цифрового twin-виробництва у партнерстві з Siemens.

Особливості управління інвестиціями:

застосовується підхід Integrated Project Delivery (IPD);

Cost Management системи базуються на Oracle Primavera та SAP;

ведеться інтеграція з платформами Carbon Accounting;

особлива увага — до ESG-факторів, які мають окремий бюджетний блок.

Бенчмаркінг ArcelorMittal дозволяє зрозуміти важливість:

точного енергетичного моделювання (споживання на тонну, залежність від водню);

резервування витрат на викиди CO₂ (ETS-квоти, CBAM);

оцінки вартості з урахуванням кредитної доступності, ESG-факторів, вартості зовнішнього фінансування.

1.3.3 Досвід LIBERTY Steel (Велика Британія)

LIBERTY Steel (частина GFG Alliance) є прикладом швидкої «зеленої» адаптації старих виробничих активів. У рамках програми GREENSTEEL компанія:

виводить з експлуатації доменні печі;

переходить на EAF з високим вмістом брухту;

впроваджує відновлювальні джерела енергії (сонце, біомаса, гідро).

Фінансова модель трансформації:

застосування інструментів зеленого фінансування (Green Bonds);

створення окремої платформи для управління інвестиціями в декарбонізацію;

використання грантової підтримки з боку уряду Великої Британії та ЄС.

Особливістю є поєднання бюджетного планування з оцінкою впливу на навколишнє середовище (Environmental Budgeting) [23, 24].

1.3.4 Досвід для українських підприємств

Порівняльний аналіз світових практик дозволяє сформулювати низку висновків:

Точність бюджету має бути адекватною етапу реалізації. Оптимальним є інтервал $\pm 25\text{--}30\%$ на концептуальному рівні, з поетапним уточненням на фазі детального проектування.

Резервування на ризики та екологію — обов'язкова складова бюджету. Це включає компенсації персоналу, заходи з енергоефективності, витрати на квоти CO₂ та сертифікацію.

Цифрова інтеграція бюджетів із системами управління проектами (ERP, Power BI, SAP, Oracle) — обов'язкова умова гнучкості та прозорості.

Соціальна складова (reskilling персоналу, підтримка регіонів, нові робочі місця) — важливий елемент легітимності трансформацій.

Використання сценарного підходу — must have. Плани формуються як 3–4 сценарії з різними припущеннями щодо вартості енергоносіїв, водню, вартості капіталу, експортних обмежень.

1.4 Висновки до розділу

1. Перехід ПАТ «Запоріжсталь» на бездоменне виробництво сталі за технологією Midrex H₂ та EAF дозволяє скоротити питомі викиди CO₂ на понад 45 % — з 2,1 до близько 1,1–1,2 т/т сталі — та забезпечує економічну доцільність завдяки середній маржинальності готової продукції на рівні 433 доларів США за тонну.

2. Для реалізації стратегічного інвестиційного проекту потрібні значні капіталовкладення з горизонтом 5–10 років, точність бюджетування не нижче ±25–30 % та обов'язкове резервування до 20 % витрат на ризики і декарбонізацію, що відповідає кращим світовим практикам (Voestalpine, ArcelorMittal, Liberty Steel).

3. Ключовою умовою успіху є інтеграція мультидисциплінарного управління проектом — з використанням ERP, SAP, Power BI, MES — для цифрового контролю витрат, термінів, екологічних показників і перекваліфікації персоналу відповідно до міжнародних стандартів сталого розвитку.

2 МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ТА УПРАВЛІННЯ СТРАТЕГІЧНОЮ МОДЕРНІЗАЦІЄЮ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

2.1 Поточний стан підприємства: виробнича структура, технології, проблемні зони

Публічне акціонерне товариство «Запоріжсталь» — одне з найбільших промислових підприємств України та Європи, що спеціалізується на повному циклі виробництва сталі: від агломерації та чавуну до прокатних напівфабрикатів та гарячекатаного рулону. Входить до групи Метінвест і має стратегічне значення для вітчизняного гірничо-металургійного комплексу.

На 2024 рік структура виробництва включає:

- агломераційне виробництво (4 агломашини);
- доменне виробництво (2 доменні печі — №3, №5, інші законсервовано);
- мартенівський цех — один із останніх діючих в Європі;
- прокатне виробництво — гарячий і холодний прокат, рулони;
- допоміжні енергетичні й ремонтні підрозділи.

Попри збереження стабільного обсягу випуску сталі (до 4 млн тонн у довоєнні роки), підприємство функціонує на застарілій технологічній базі — мартенівський цех, збудований у 1930-х, технічно і екологічно не відповідає сучасним стандартам.

Технологічні проблеми та екологічний тиск

1. Моральне та фізичне зношення обладнання

- знос основного фонду — понад 75%;
- системи управління процесами (АСУТП) — частково відсутні;
- високе енергоспоживання та втрати тепла;
- неефективна очистка газів у мартенівському переділі.

2. Низька енергоефективність

мартенівська піч споживає до 2,3 Гкал/т сталі;

для порівняння, електродугові печі — 0,8–1,1 Гкал/т;

доменне виробництво залежне від коксу та імпорту вугілля.

3. Високі викиди забруднювальних речовин

- мартенівський цех є основним джерелом викидів пилю, NO_x, CO₂;
- доменне виробництво — до 2 т CO₂/т чавуну;
- підприємство не відповідає нормам ЄС IPPC (Best Available Techniques) та з 2029 року втратить дозвіл на викиди.

4. Загрози через СВМ

- з 2026 року СВМ (Carbon Border Adjustment Mechanism) вимагає сплати «вуглецевого податку» на кожну тонну сталі, експортовану до ЄС;
- прогнозована ставка — від 80 до 120 євро/т CO₂;
- без модернізації продукція Запоріжсталі стане нерентабельною на європейському ринку.

Економічні та соціальні виклики

Операційна маржа підприємства суттєво знижена: з ~15% (у 2018) до <5% (2023).

Фінансові ризики: зростання цін на електроенергію, газ, CO₂, витрат на ремонт.

Загроза вивільнення працівників: виведення мартенів призведе до вивільнення понад 2 000 осіб.

Потреба в перекваліфікації персоналу: лише 15% співробітників мають навички роботи з EAF або DRI.

SPACE-аналіз стратегічного становища

Оцінено чотири вектори:

Агресивність – (+3): амбіційні плани модернізації, експортна орієнтація;

Конкурентоспроможність – (–2): низький рівень технологій, вуглецевий слід;

Стабільність середовища – (–3):

регуляторна нестабільність, війна;

Фінансове положення – (–1): зменшення маржі, зростання витрат.

Висновок: стратегія має переходити з «експансивної» в захисно-реформаторську, з акцентом на адаптацію, інновації та стійкість.

Результати проведеного SWOT аналізу наведено у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 - SWOT-аналіз ПАТ «Запоріжсталь»

Сильні сторони	Слабкі сторони
Потужна виробнича база	Застарілі технології (мартени, домни)
Доступ до сировини через Метінвест	Висока енерго- та вуглецевоємність
Географічна близькість до ЄС	Недостатня діджиталізація виробництва
Розвинена логістика	Високі викиди забруднювальних речовин
Можливості	Загрози
Модернізація через DRI/EAF	Втрата ринків ЄС через CBAM
Отримання держпідтримки	Виведення фондів з експлуатації до 2029
Зелене фінансування, гранти	Втрата кадрів через трансформацію виробництва

SPACE-аналіз стратегічного становища

Оцінено чотири вектори:

Агресивність – (+3): амбіційні плани модернізації, експортна орієнтація;

Конкурентоспроможність – (–2): низький рівень технологій, вуглецевий слід;

Стабільність середовища – (–3):

регуляторна нестабільність, війна;

Фінансове положення – (–1): зменшення маржі, зростання витрат.

Висновок: стратегія має переходити з «експансивної» в захисно-реформаторську, з акцентом на адаптацію, інновації та стійкість.

2.2 Аналіз поточного бізнес-процесу бюджетування стратегічних інвестиційних проєктів на підприємстві (AS IS)

Ефективна реалізація стратегічного інвестиційного проєкту потребує чіткої та узгодженої системи бюджетування, яка не лише відображає витрати, а й дозволяє управляти ресурсами, ризиками та приймати зважені управлінські рішення. Аналіз поточного стану цього процесу на ПАТ «Запоріжсталь» здійснювався за допомогою моделювання в нотації IDEF0, яке дозволяє формалізувати структуру процесів, виявити функціональні залежності та ідентифікувати проблемні точки.

2.2.1 Побудована нова IDEF0-моделі (AS IS)

На рисунку 2.1 зображена IDEF0 модель.



Рисунок 2.1 – Схема нова IDEF0 (AS IS) процесу бюджетування стратегічного інвестиційного проєкту на ПАТ «Запоріжсталь».

Це метод графічного представлення функцій бізнес-процесу, де функції зображаються у вигляді прямокутників;

Стрілки зверху — керуючі впливи (нормативи, бюджети);

Зліва — входи (дані, ресурси);

Справа — виходи (результати);

Знизу — механізми (хто виконує, які системи залучені).

Основні функції поточної моделі (AS IS):

A0 – Формування бюджету стратегічного інвестиційного проєкту

A1 – Ініціація проєкту (старт із технічного відділу)

A2 – Збір первинної інформації (інженерні калькуляції, відділ капбудівництва)

A3 – Розрахунок прогнозних витрат (економісти, Excel)

A4 – Затвердження бюджету (CFO, комітет)

A5 – Відправка в головний офіс (Метінвест) для погодження

A6 – Періодичне оновлення (у разі змін — не систематично)

2.2.2 Виявлені проблеми та "вузькі місця"

Високий рівень фрагментації:

Відсутня централізована система управління бюджетом.

Використовується MS Excel, Word, локальні файли, які не синхронізуються.

Дані надходять з відділів у різних форматах, часто з дублюванням або помилками.

Відсутність єдиної цифрової платформи:

ERP-система (SAP) не інтегрована з процесом інвестиційного бюджетування.

Не використовуються BI-рішення для контролю, сценарного аналізу, план-факт моніторингу.

Суб'єктивність оцінок:

Розрахунки ґрунтуються на «експертних припущеннях» окремих працівників, без узгоджених стандартів точності.

Відсутня система контролю за допустимими межами відхилення.

Повільність процесу узгодження:

Усі етапи погодження відбуваються вручну (внутрішні листи, підписи);

Процес затвердження бюджету займає до 4–6 тижнів.

Немає системного управління ризиками:

У бюджеті не закладаються резерви на непередбачувані витрати;

Відсутній аналіз ймовірностей та сценаріїв перевитрат.

2.2.3 Оцінка цифрової зрілості бюджетного процесу

Згідно з методикою **Digital Maturity Model (DMM)**, поточний стан бюджетного процесу на підприємстві відповідає **рівню 1–2 з 5** (см. Таблицю 2.2).

Таблиця 2.2 – DMM методологія

Критерій	Оцінка (1–5)	Коментар
Централізація процесів	2	Дані зберігаються у відділах, не об'єднані
Автоматизація розрахунків	1	Ручне введення даних у Excel
Аналітика та план-факт аналіз	1	Відсутні інтегровані BI-інструменти
Управління ризиками в бюджеті	1	Не закладаються резерви
Прогнозування та сценарії	2	Використовується лише базовий варіант

2.2.4 Висновки щодо AS IS-моделі

Поточна модель бюджетування:

- не відповідає рівню складності проекту трансформації ПАТ «Запоріжсталь»;
- не дозволяє ефективно відслідковувати хід реалізації та реагувати на зміни;
- не підтримує оцінку сценаріїв та варіантів фінансування;
- є ризикованою через ручний характер і нестачу стандартів.

Для переходу до цільового стану ТО ВЕ необхідно:

- впровадити єдину цифрову платформу бюджетування (MS Power BI, SAP Budget Module);
- розробити нову IDEF0-модель ТО ВЕ, яка буде представлена в розділі 3;
- інтегрувати управління ризиками, резервами, сценаріями та контрольними точками;
- стандартизувати точність оцінки витрат на рівні $\pm 25\%$;
- скоротити цикл узгодження бюджету з 6 тижнів до 10–14 днів.

2.3 Аналіз кадрових та організаційних викликів модернізації: стан, ризики, необхідність перепідготовки персоналу

Реалізація стратегічного інвестиційного проєкту на ПАТ «Запоріжсталь», що передбачає повний перехід від застарілих мартенівських та доменних технологій до бездоменного виробництва сталі на основі DRI Midrex H₂ та електродугових печей (EAF), передбачає не лише зміну обладнання, а й глибоку трансформацію структури персоналу, управлінських процесів, компетентностей та організаційної культури.

2.3.1 Структура персоналу та ризики втрати людського капіталу

Станом на 2023 рік на підприємстві працювало понад 11 000 осіб, з яких:

~2 500 — безпосередньо в мартенівському та доменному цехах;

~1 800 — у ремонтних, енергетичних, допоміжних службах;

решта — у прокатних, адміністративних та інфраструктурних підрозділах.

Закриття мартенівського переділу, а в подальшому — доменного, створює загрозу масового вивільнення персоналу:

до 20–25% співробітників втратять свою функціональну необхідність;

більшість з них не мають досвіду роботи з EAF, DRI, цифровими інструментами управління;

рівень середнього віку працівників у доменному та мартенівському цехах — 50+ років, що ускладнює адаптацію до нових технологій.

Це створює подвійну управлінську загрозу:

Соціальну — протестний настрій, втрата кваліфікації, кадровий відтік.

Операційну — дефіцит навчених працівників для нових технологій.

2.3.2 Оцінка рівня цифрової та професійної готовності

Проведене внутрішнє опитування у 2023 році (за результатами аналітики HR-департаменту) показало:

лише 18% працівників мають базовий рівень знань по EAF;

до 80% ніколи не працювали з ERP/MES-системами;

лише 9% інженерів знайомі з Power BI або подібними інструментами аналітики;

62% працівників вважають себе неготовими до роботи в новій цифровій моделі виробництва.

2.3.3 Необхідність перепідготовки (reskilling) і підвищення кваліфікації (upskilling)

У світовій практиці перехід на EAF та DRI супроводжується впровадженням інтенсивних програм reskilling/upskilling — зазвичай за підтримки профільних технічних університетів та міжнародних донорів.

Пропозиції для ПАТ «Запоріжсталь»: створити внутрішній центр технічного навчання (на базі навчального комбінату);

укласти угоди з "Метінвест Політехніка" та іншими навчальними закладами про підготовку кадрів для EAF/DRI;

інтегрувати навчальні модулі SAP, Power BI, AutoCAD Plant 3D, Siemens Simatic.

Рекомендовано формувати дорожню карту навчання персоналу. Сформована дорожня карта наведена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Дорожня карта навчання персоналу

Етап	Тип персоналу	Формат навчання	Тривалість	Інструменти
I	Інженери	Інтенсив-курси	1–2 міс.	Power BI, SAP
II	Оператори	Симуляції EAF	3–4 міс.	EAF Trainer
III	Робітники	Практичні модулі	2–3 міс.	VR, моделі
IV	Керівники	Стратегічні сесії	2 тижні	Agile PM

2.3.4 Управлінські виклики і необхідні дії

Проблеми:

Опір персоналу до змін;

Відсутність мотиваційної програми під нові реалії;

Низька залученість лінійних керівників до трансформації;

Високий ризик втрати інституційної пам'яті (старші фахівці звільняються).

Пропозиції:

Впровадити програму управління змінами (Change Management Plan);

- Запровадити мотиваційні пакети для тих, хто проходить навчання і залишається в новій структурі;
- Використовувати інструменти внутрішнього PR — інформаційні стенди, відео, зустрічі з керівництвом;

Підготовка персоналу — один із найкритичніших факторів успіху модернізації підприємства. Без системного reskilling/upskilling ПАТ «Запоріжсталь» ризикує:

- зірвати графік запуску нових технологій;
- втратити ключові компетенції;
- зіткнутися з внутрішнім саботажем трансформації.
- Водночас, реалізація програми розвитку персоналу дозволить:

- забезпечити стабільну передачу досвіду між поколіннями;
- зберегти зайнятість і підвищити якість управління змінами;
- адаптуватися до цифрової моделі управління виробництвом.

2.4 Висновки до розділу

1. ПАТ «Запоріжсталь» працює на застарілій технологічній базі: знос обладнання перевищує 75 %, мартенівський цех споживає до 2,3 Гкал/т сталі проти 0,8–1,1 Гкал/т для EAF, а викиди CO₂ досягають 2 т/т чавуну, що створює загрозу втрати ринків через CBAM (80–120 €/т CO₂).

2. Поточний бізнес-процес бюджетування (AS IS) характеризується ручною обробкою у Excel, відсутністю ERP/BI інтеграції та низькою цифровою зрілістю (1–2 з 5 балів за DMM), що подовжує цикл узгодження бюджету до 4–6 тижнів і збільшує ризик помилок.

3. Ризик втрати кадрів перевищує 20–25 % штату (понад 2 000 працівників), тоді як лише 18 % мають базові знання EAF і менше 10 % — навички роботи з цифровими системами, що потребує впровадження масштабної програми reskilling з етапами до 4 місяців і цифровим супроводом SAP/Power BI.

3 РОЗРОБКА ІНТЕГРОВАНОЇ МОДЕЛІ МОДЕРНІЗАЦІЇ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»: ТЕХНОЛОГІЧНА, ІНВЕСТИЦІЙНА ТА УПРАВЛІНСЬКА СКЛАДОВІ

3.1 Технологічна трансформація виробництва сталі: новий бездоменний цикл DRI–EAF–МБЛЗ

На сучасному етапі розвитку металургійної галузі впровадження інноваційних технологій є ключовим фактором забезпечення її конкурентоспроможності, екологічної відповідності та енергетичної ефективності. ПАТ «Запоріжсталь» стоїть перед викликом радикального оновлення своєї виробничої інфраструктури в умовах жорстких екологічних обмежень (СВАМ), високої енергоємності наявних технологій та глобальної тенденції до декарбонізації промисловості.

Поточна схема виробництва сталі на підприємстві базується на використанні агломераційного, доменного та мартенівського переділів, що є застарілими як з технічної, так і з екологічної точок зору. Для досягнення сталого розвитку, зниження операційних витрат, підвищення якості продукції та забезпечення доступу до ринків ЄС, прийнято рішення про реалізацію стратегічного інвестиційного проекту повної модернізації виробничого циклу (рисунок 3.1). Більш докладна схема реалізації стратегічного проекту з повним циклом виробництва наведена у додатку А.

Його суть полягає у впровадженні бездоменного сталеплавильного процесу на основі технологій прямого відновлення заліза (DRI) та електродугової плавки (EAF), доповнених комплексом вторинної металургії (LF, VD) та сучасним безперервним литтям заготовок (МБЛЗ).

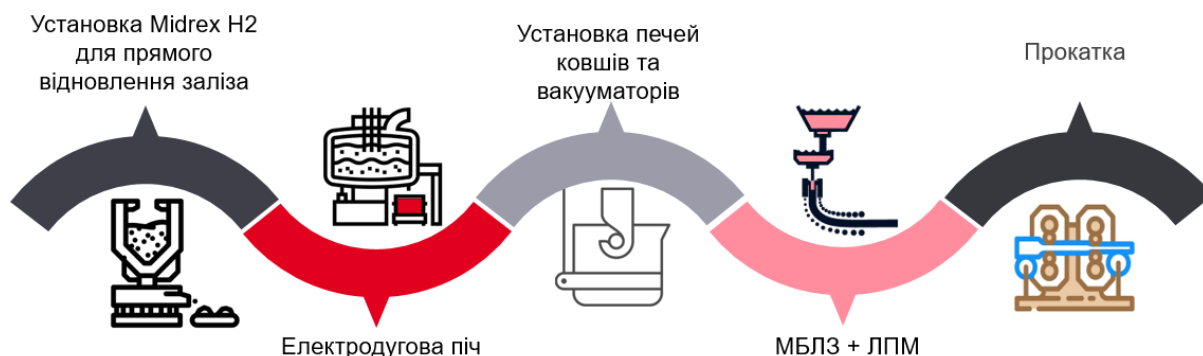
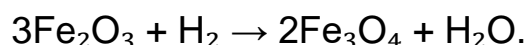


Рисунок 3.1 – Пул модернізаційних технологій для декарбонізації

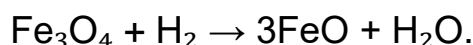
Процес технологічної трансформації починається з установки DRI-комплексу за технологією Midrex H₂, яка є однією з найефективніших у світі для виробництва високоякісного металізованого заліза з низьким вуглецевим слідом. У реакторі прямого відновлення заліза окатиші, що містять понад 67% Fe, відновлюються воднем або сумішшю водню і природного газу при температурі близько 900°C.

Основні реакції:

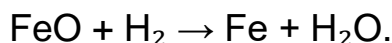
Реакція відновлення гематиту до магнетиту:



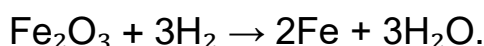
Реакція відновлення магнетиту до вуститу:



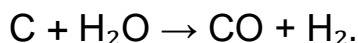
Реакція відновлення вуститу до заліза:



Пряма схема відновлення гематиту до заліза:



Реакція газифікації залишкового вуглецю:



У результаті утворюється губчасте залізо (DRI) з металізацією 94–96% [25, 26]. Отриманий продукт подається безпосередньо або після брикетування (HBI) в сталеплавильні агрегати.

Розрахуємо ступінь металізації окатишів розраховується за формулою:

$$n = \frac{m_{Fe \text{ у } DRI}}{m_{окатишів}}$$

де $m_{Fe \text{ у } DRI}$ - маса заліза у готовому DRI, у тоннах,
 $m_{окатишів}$ - маса окатишів (вхідної шихти), у тоннах.

$$n = \frac{114}{120} = 0,95 = 95\%$$

Розрахуємо час плавки в EAF:

$$T_{плавки} = \frac{m_{шихта}}{P_{EAF}}$$

де $T_{плавки}$ - тривалість однієї плавки у годинах,
 $m_{шихта}$ - маса шихти на одну плавку, у тоннах,
 P_{EAF} - середня продуктивність дугової сталеплавильної печі (EAF), у т/год.

$$T_{плавки} = \frac{120}{90} = 1,33 \text{ год}$$

Розрахуємо кількість плавок за рік:

$$N_{рік} = \frac{T_{робочий \text{ час}}}{t_{цикл}}$$

де $N_{рік}$ - кількість плавок за рік (плавок/рік),

$T_{\text{робочий час}}$ - річний робочий фонд часу печі (годин/рік),

$t_{\text{цикл}}$ - тривалість одного технологічного циклу (годин).

$$N_{\text{рік}} = \frac{350 * 24}{1} = 8400 \text{ плавко/рік}$$

Розрахуємо річну продуктивність сталі з однієї ДСП:

$$Q_{\text{рік}} = m_{\text{плавки}} * N_{\text{рік}}$$

де $Q_{\text{рік}}$ - річна продуктивність сталі з однієї ДСП (тонн/рік),

$m_{\text{плавки}}$ - маса сталі, виплавленої за одну плавку (тонн),

$N_{\text{рік}}$ - кількість плавко за рік (плавко/рік).

$$Q_{\text{рік}} = 150 * 8400 = 1\,260\,000 \text{ тонн}$$

Наступним етапом є електродугові печі (ЕАФ) [27, 28], які забезпечують швидку, контрольовану та енергоефективну плавку DRІ разом із брухтом. На відміну від мартенівських печей, де цикл плавки перевищує 5 годин [11], ЕАФ виконує плавку за 45–60 хвилин. Витрати електроенергії на одну тонну сталі становлять 330 кВт·год [29], що суттєво нижче за мартенівське виробництво. Був проведений бенчмакінг потреби електроенергії виробництва при поточному способі виробництва, і при впровадженні новітній технологій (Рисунок 3.2)

Розрахуємо кількість ДСП:

$$N_{\text{печей}} = \frac{Q_{\text{заг}}}{Q_{\text{рік}}}$$

де $N_{\text{печей}}$ - необхідна кількість ДСП (печей),

$Q_{\text{заг}}$ - загальна річна потреба у виробництві сталі (тонн/рік),

$Q_{\text{рік}}$ - річна продуктивність однієї ДСП (тонн/рік).

$$N_{\text{печей}} = \frac{3000000}{1260000} = 2,38 = 3 \text{ печі}$$

Розрахуємо питому витрату електроенергії:

$$E_{\text{пит}} = \frac{E_{\text{загальне}}}{m_{\text{сталі}}}$$

де $E_{\text{пит}}$ - питоме споживання електроенергії на виробництво 1 т сталі (кВт·год/т),

$E_{\text{загальне}}$ - загальна витрачена електроенергія за рік (кВт·год),

$m_{\text{сталі}}$ - річний обсяг виробленої сталі (тонн).

$$E_{\text{пит}} = \frac{990000000}{3000000} = 330 \text{ кВтгод/т}$$

Розрахуємо витрати енергії на одну плавку:

$$E_{\text{плавки}} = E_{\text{пит}} * m_{\text{плавки}}$$

де $E_{\text{плавки}}$ - електроенергія, витрачена на одну плавку (кВт·год),

$E_{\text{пит}}$ - питоме споживання електроенергії (кВт·год/т),

$m_{\text{плавки}}$ - маса сталі в одній плавці (тонн).

$$E_{\text{плавки}} = 330 * 150 = 49\,500 \text{ кВт}$$

Розрахуємо річне споживання електроенергії:

$$E_{\text{рік}} = E_{\text{пит}} * Q_{\text{заг}}$$

де $E_{\text{рік}}$ - загальне річне споживання електроенергії (кВт·год),

$E_{\text{пит}}$ - питоме споживання електроенергії (кВт·год/т),

$Q_{\text{заг}}$ - загальний річний обсяг виплавки сталі (тонн/рік).

$$E_{\text{рік}} = 330 * 3000000 = 990000000 = 990\text{ГВт/год}$$

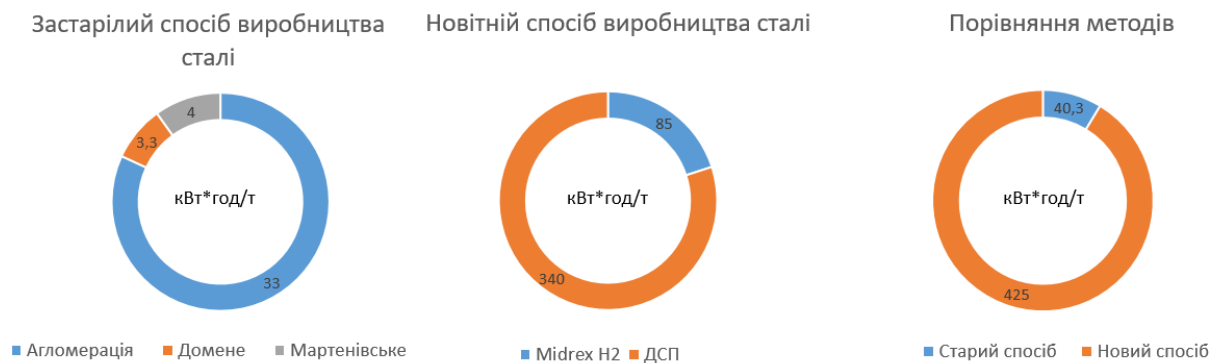


Рисунок 3.2 – Бенчмакрінг витрает електроенергії двох способів

Шихта в EAF є гнучкою: залежно від ринку та потреб виробництва може містити до 40% брухту. Важливою перевагою EAF є зменшення викидів CO₂ в 3–4 рази у порівнянні з доменним переділом, а також менші викиди пилу, NO_x та SO₂ [30, 31] (Рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Бенчмакрінг викидів двох способів

Викиди CO₂ від електроенергії:

$$M_{CO_2}^{ел} = E_{рік} * K_{CO_2}^{ел}$$

де $M_{CO_2}^{ел}$ - річні викиди CO_2 від споживання електроенергії (т CO_2),

$E_{рік}$ - загальне річне споживання електроенергії (кВт·год).

$K_{CO_2}^{ел}$ - питомий коефіцієнт емісії CO_2 для електроенергії (кг CO_2 /кВт·год).

$$M_{CO_2}^{ел} = 990\,000\,000 * 0,5 = 495\,000\,000 \text{ кг} = 495\,000 \text{ т}$$

Викиди CO_2 електродів:

$$M_{CO_2}^{ел} = G_{рік} * 3,67$$

де $M_{CO_2}^{ел}$ - річні викиди CO_2 від згоряння електродів (т CO_2),

$G_{рік}$ - річна витрата графітових електродів (кг).

3,67- коефіцієнт переведення маси вуглецю у CO_2 (1 кг С = 3,67 кг CO_2).

$$M_{CO_2}^{ел} = 3900000 * 3,67 = 14\,313\,000 \text{ кг} = 14\,313 \text{ т}$$

Загальні викиди CO_2 за рік:

$$M_{CO_2}^{заг} = M_{CO_2}^{ел} + M_{CO_2}^{електроди}$$

де $M_{CO_2}^{заг}$ - загальні річні викиди CO_2 (тонн CO_2),

$M_{CO_2}^{ел}$ - річні викиди CO_2 від споживання електроенергії,

$M_{CO_2}^{електроди}$ - річні викиди CO_2 від споживання графітових електродів.

$$M_{CO_2}^{заг} = 495\,000 + 14\,313 = 509\,313 \text{ т}$$

Конструкція печей передбачає інтеграцію з автоматизованими системами подачі, очищення газів та енергоменеджменту, що забезпечує високий рівень цифровізації процесу.

Розрахуємо питому витрату електродів:

$$G_{\text{електрод}} = \frac{G_{\text{заг електродів}}}{m_{\text{сталі}}}$$

де $G_{\text{електрод}}$ - питома витрата графітових електродів на 1 т сталі (кг/т),

$G_{\text{заг електродів}}$ - загальна річна витрата електродів (кг),

$m_{\text{сталі}}$ - річна продуктивність сталі (т).

$$G_{\text{електрод}} = \frac{3\,900\,000}{3\,000\,000} = 1.3 \text{ кг/т}$$

Витрати електродів на плавку:

$$G_{\text{плавки}} = G_{\text{електрод}} * m_{\text{плавки}}$$

де $G_{\text{плавки}}$ - витрата графітових електродів на одну плавку (кг),

$G_{\text{електрод}}$ - питома витрата електродів (кг/т),

$m_{\text{плавки}}$ - маса сталі за одну плавку (тонн).

$$G_{\text{плавки}} = 1.3 * 150 = 195 \text{ кг}$$

Загальна витрата електродів за рік:

$$G_{\text{рік}} = G_{\text{електрод}} * Q_{\text{заг}}$$

де $G_{\text{рік}}$ - річна витрата графітових електродів (кг/рік),

$G_{\text{електрод}}$ - питома витрата електродів (кг/т),

$Q_{\text{заг}}$ - загальна річна виплавка сталі (тонн).

$$G_{\text{рік}} = 1,3 * 3000000 = 390\ 000 \text{ кг} = 3\ 900\text{т}$$

Розрахуємо кількість плавок на добу:

$$T = \frac{24 * 60}{T_{\text{плавки}} + T_{\text{перерв}}}$$

де T - кількість плавок за добу (плавок/доба),

$24 * 60$ - кількість хвилин у добі (1 доба = 1440 хвилин),

$T_{\text{плавки}}$ - тривалість однієї плавки (хвилин),

$T_{\text{перерв}}$ - середній час перерви між плавками (хвилин).

$$T = \frac{1440}{80 + 20} = 14 \text{ плавок/доба}$$

Після основної плавки сталь передається у піч-ковш (LF) [32] для корекції хімічного складу, модифікації шлаку, доведення температури та десульфурзації. За необхідності також застосовується вакууматор (VD), що дозволяє знизити вміст водню, азоту та кисню, забезпечуючи отримання сталі високого ступеня чистоти. Вторинна металургія критично важлива для виробництва спеціалізованих марок сталі, що відповідають європейським стандартам EN 10025, EN 10149 та іншим.

Необхідна потужність трансформатору:

$$S_{\text{тр}} = \frac{E_{\text{плавки}}}{t_{\text{дуг}} * \cos \varphi * 1000}$$

де $S_{\text{тр}}$ - орієнтовна потужність трансформатора (МВА),

$E_{\text{плавки}}$ - електроенергія, спожита за одну плавку (кВт·год),

$t_{\text{дуг}}$ - тривалість горіння дуги (годин),

$\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності (для Q-One ~0,95),

Множник 1000 - переведення у МВА.

$$S_{\text{тр}} = \frac{49\,500}{0,75 * 0,95 * 1000} = 69,3 \text{ МВА}$$

Заключним етапом технологічного процесу є безперервне лиття заготовок на машині МБЛЗ. На відміну від зливкового розливу, безперервне лиття дозволяє суттєво підвищити якість поверхні, однорідність структури та скоротити цикл виробництва [33, 34]. МБЛЗ інтегрована з системами охолодження, візуального контролю, лазерної калібровки та автоматичної подачі заготовок у прокатні стани.

Прокат здійснюється на модернізованих станах гарячої та холодної прокатки, оснащених автоматизованими системами управління, які забезпечують контроль товщини, температури, мікроструктури металу та геометричних параметрів продукції. Виробничий цикл завершується упаковкою, маркуванням та інтеграцією даних про кожну партію в ERP-систему підприємства.

Таким чином, новий технологічний ланцюг DRI–EAF–LF/VD–МБЛЗ–Прокат не лише відповідає сучасним вимогам до екології та енергоефективності, а й створює передумови для глибокої цифрової

трансформації, підвищення гнучкості виробництва, зниження витрат і виходу на нові сегменти ринку [35]. Це фундаментальний крок у розвитку ПАТ «Запоріжсталь» як флагмана нової української металургії.

3.2. Інвестиційна карта модернізації: етапи реалізації, капіталовкладення та економічна ефективність

Модернізація ПАТ «Запоріжсталь» є багатофазним стратегічним проектом, реалізація якого передбачає значні капіталовкладення та комплексне перепланування виробничої інфраструктури підприємства. Загальна вартість інвестицій за попередніми оцінками становить понад 7,09 млрд доларів США. (рисунок 3.4) в якому передбачений пул постачальників обладнання з урахуванням попередніх бенчмаркінгів проведених з питань потреб і можливостей енергетики всього комплексу, можливостей зниженню викидів та можливостей випуску портібногo сортаменту сталей.

Виробник	Агрегат	Млн. \$
	DRI модуль №1	1.250
	ДСП № 1 - 2	1.8
	УПК № 1 - 2	130
	Вакууматор № 1 - 2	110
	МБЛЗ № 1 – 2 + ЛПМ	1.700
	Прокат	2.1

Рисунок 3.4 – Пул постачальників обладнання

Джерелами фінансування виступають як власні кошти групи «Метінвест», так і зовнішні джерела: кредити міжнародних фінансових організацій, програми підтримки зеленої трансформації промисловості,

інструменти "зеленого фінансування" (green bonds), механізми державно-приватного партнерства.

Проект поділено на чотири основні фази:

Фаза I (2025–2028): проектування та будівництво DRI-комплексу за технологією Midrex H2, а також підготовка водневої інфраструктури. Обсяг інвестицій: близько 1,25 млрд дол. США.

Фаза II (2027–2031): монтаж і введення в експлуатацію електродугових печей (EAF), систем газоочистки, трансформаторних підстанцій, підключення до цифрової платформи моніторингу енергоспоживання. Обсяг інвестицій: 1,8 млрд дол. США.

Фаза III (2030–2036): розгортання вторинної металургії (піч-ковш, вакууматор), машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), реконструкція та автоматизація розливного комплексу. Орієнтовна сума інвестицій: 1,7 млрд дол. США.

Фаза IV (2035–2041): модернізація прокатного комплексу, впровадження систем ERP, MES, комплексної цифровізації, екологічної сертифікації (ISO 14067, EPD), а також будівництво логістичних вузлів і складів нової генерації. Інвестиції: 2,14 млрд дол. США.

Таким чином, фінансова модель передбачає поступове накопичення інвестицій з урахуванням фазового запуску об'єктів і синхронізації з технологічним переходом. Стратегія реалізації базується на принципі економічної доцільності з одночасною мінімізацією ризиків.

Оцінка економічної ефективності базується на стандартних показниках інвестиційного аналізу:

- NPV (чиста приведена вартість) проекту становить понад 600 млн дол. США при дисконті 12%;
- IRR (внутрішня норма рентабельності) — 34,7%, що вказує на високий рівень прибутковості;
- ROI (окупність інвестицій) — 61%;
- період окупності — близько 7–8 років після запуску EAF.

Окрім фінансових показників, розраховано також екологічний та соціальний ефект: скорочення викидів CO₂ на понад 80% [36] у порівнянні з мартенівським циклом, створення до 1200 нових робочих місць у галузях автоматизації, цифрових технологій та інжинірингу, перекваліфікація персоналу та інтеграція підприємства у ланцюг постачання «зеленої» сталі до країн ЄС.

Таким чином, інвестиційна карта модернізації ПАТ «Запоріжсталь» є не лише інженерно-фінансовим проектом, але й основою для довготривалого сталого розвитку регіону, технологічної суверенності української металургії та підвищення її глобальної інвестиційної привабливості.

3.3. Календарна реалізація проєкту: етапи, строки, критичні точки

Календарна реалізація проєкту модернізації ПАТ «Запоріжсталь» є стратегічно скоординованим процесом, що передбачає логічне впровадження кожного з етапів модернізації у часових межах, узгоджених із техніко-економічними, нормативними та ринковими умовами.

Загальна тривалість реалізації проєкту становить 16 років, з 2025 до 2041 року включно. Для ефективного управління процесом була сформована покрокова дорожня карта (roadmap) (рисунок 3.5).

Ця мапа містить ключові контрольні точки (milestones), об'єкти будівництва, строки введення в експлуатацію та інтеграцію з бізнес-процесами підприємства.

Основні етапи реалізації:

- 2025: завершення техніко-економічного обґрунтування, екологічна експертиза, затвердження генерального плану, старт проєктування водневої інфраструктури.

- 2026: укладення контрактів із постачальниками обладнання DRI, початок підготовчих будівельних робіт.
- 2027–2028: будівництво DRI-модуля, запуск у тестовому режимі, підключення до систем управління виробництвом.
- 2029: перехідний період, зупинка мартенівського виробництва, розконсервація об'єктів EAF.
- 2030: монтаж електродугових печей, перший розплав сталі, інтеграція з DRI та газоочищенням.
- 2031–2033: введення в експлуатацію піч-ковшів, вакууматорів, перехід на безперервне лиття (МБЛЗ).
- 2034–2036: оновлення прокатного комплексу, автоматизація складів, тестування цифрових платформ SAP/MES.
- 2037–2041: завершення цифрової інтеграції, екологічна сертифікація, вихід на повну виробничу потужність 7 млн т/рік.

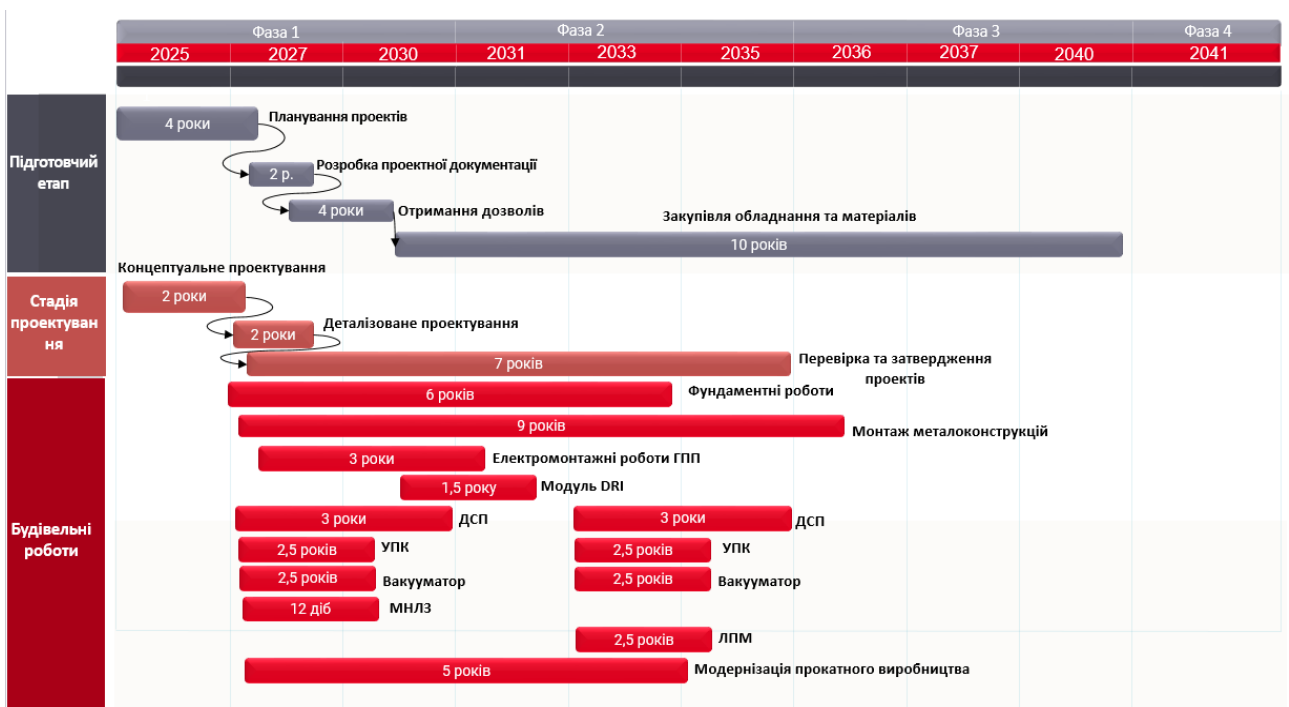


Рисунок 3.5 – Дорожня карта запуску проєкту

На кожному етапі реалізації передбачено:

- проведення технічного аудиту;
- погодження з екологічними органами та місцевою владою;
- адаптацію графіка з урахуванням зовнішньополітичної ситуації;
- етапну підготовку персоналу (training pipeline).

Особлива увага приділяється синхронізації інфраструктури та об'єктів споживання водню, безпеці енергетичних підключень, стабільності мережевих навантажень та готовності логістичних вузлів до роботи з новими видами продукції.

Календарний план модернізації є не лише хронологічним графіком, а й інструментом стратегічного управління змінами на підприємстві, який дозволяє мінімізувати простой, ризики зривів поставок і забезпечити сталу динаміку переходу до нової промислової моделі.

3.4. Екологічна ефективність та відповідність міжнародним вимогам: декарбонізація, CBAM, ESG та «зелена сталь»

Однією з ключових цілей модернізації ПАТ «Запоріжсталь» є зниження вуглецевого сліду виробництва та відповідність сучасним міжнародним стандартам охорони довкілля. З огляду на впровадження механізму CBAM [37] (Carbon Border Adjustment Mechanism) з боку Європейського Союзу, підприємство повинно не лише модернізувати технології, а й гарантувати відповідність викидів встановленим квотам CO₂ для збереження конкурентних позицій на експортних ринках.

Розрахуємо скорочення викидів CO₂:

$$\Delta CO_2 = CO_2^{\text{мартен}} - CO_2^{\text{DRI-EAF}}$$

де ΔCO_2 - скорочення викидів CO_2 на 1 т сталі (т CO_2 /т сталі),
 $CO_2^{\text{мартен}}$ - питомі викиди CO_2 при мартенівському виробництві сталі (т CO_2 /т сталі),
 $CO_2^{\text{DRI-EAF}}$ - питомі викиди CO_2 при виробництві сталі за схемою DRI-EAF (т CO_2 /т сталі).

$$\Delta CO_2 = 2,2 - 0,45 = 1,75 \text{ т/т}$$

Розрахуємо загальний обсяг викидів за рік:

$$M_{CO_2} = CO_2^{\text{пит}} * Q_{\text{сталі}}^{\text{річний}}$$

де M_{CO_2} - загальний обсяг річних викидів CO_2 (т CO_2),
 $CO_2^{\text{пит}}$ - питомі викиди CO_2 на 1 т сталі (т CO_2 /т сталі),
 $Q_{\text{сталі}}^{\text{річний}}$ - річна продуктивність сталі (тонн).

$$M_{CO_2} = 0,45 * 3000000 = 1350000 \text{ т}$$

Розрахуємо витрати технічної води

$$W_{\text{пит}} = \frac{V_{\text{води}}}{m_{\text{сталі}}}$$

де $W_{\text{пит}}$ - питома витрата технічної води на виробництво 1 т сталі (m^3 /т),
 $V_{\text{води}}$ - загальний обсяг спожитої технічної води (m^3),
 $m_{\text{сталі}}$ - річна виплавка сталі (тонн).

$$W_{\text{пит}} = \frac{18000000}{3000000} = 6 \text{ м}^3/\text{т}$$

Перехід на бездоменне виробництво з використанням технологій DRI (Midrex H2) та EAF [38] дозволяє скоротити прямі викиди CO₂ на 80–85%. Якщо у мартенівському виробництві питома емісія становить 2,1–2,4 т CO₂ на тону сталі, то в DRI–EAF-циклі цей показник знижується до 0,35–0,5 т CO₂/т.

Крім зменшення парникових газів, нова технологічна схема дозволяє:

- знизити викиди пилу на 70%;
- зменшити викиди оксидів азоту та сірки на понад 60%;
- повністю ліквідувати необхідність використання коксу, агломерації та обжигових цехів, які є джерелами високого рівня забруднення.

Проектом передбачено впровадження систем моніторингу викидів у режимі реального часу (continuous emissions monitoring systems, CEMS), інтеграцію з цифровими екологічними платформами, впровадження енергетичних аудитів та програм утилізації вторинного тепла, а також розроблена поетапна карта зниження навантаження CO₂ (рисунок 3.6)

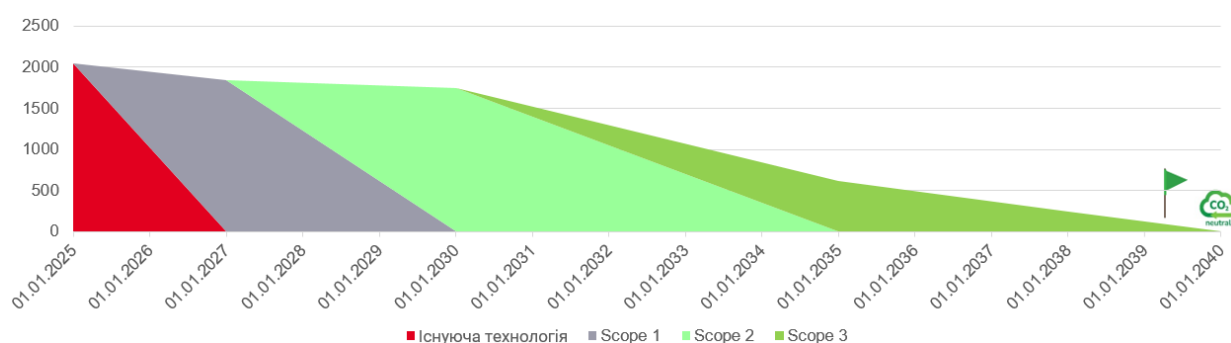


Рисунок 3.6 – Карта поетапного зниження CO₂

Запланована сертифікація підприємства за такими міжнародними екологічними стандартами:

- ISO 14001: Системи екологічного менеджменту;

- ISO 14067: Вуглецевий слід продукції (Carbon Footprint of Products);
- EPD (Environmental Product Declaration) для сталевих продуктів;
- сертифікація за критеріями ResponsibleSteel.

Після проходження цих процедур ПАТ «Запоріжсталь» зможе офіційно випускати продукцію зі статусом «зелена сталь», що підвищить її привабливість для покупців з ЄС, США та Японії, де дедалі більше клієнтів орієнтуються на ESG-критерії у закупівлях.

Крім технологічних заходів, передбачено екологічну модернізацію допоміжної інфраструктури: систем водопідготовки, пилогазоочистки, очищення стічних вод, повторного використання технічної води.

Таким чином, модернізація «Запоріжсталі» дає змогу суттєво знизити екологічне навантаження на регіон, відповідати вимогам СВМ і створити технологічну базу для переходу на повністю вуглецево-нейтральне виробництво до 2050 року.

3.5. Аналіз ризиків модернізаційного проєкту

У процесі реалізації стратегічного проєкту модернізації ПАТ «Запоріжсталь» можливе виникнення низки ризиків, які можуть вплинути на строки, бюджет, якість реалізації та стійкість бізнес-процесів. Тому важливим є проведення комплексного аналізу ризиків з метою їх попередження, мінімізації або компенсації впливу.

Для модернізації треба чітко усвідомлювати пул технологій та розробити потетапну карту декарбонізації (рисунок 3.7) яка допоможе розподілити фінансове навантаження проєкту.

До основних категорій ризиків належать:

Технічні ризики:

- Відставання графіків постачання обладнання;
- Виникнення дефектів при монтажі DRI-модуля, EAF або МБЛЗ;

- Несумісність нового обладнання з існуючими ІТ-системами.

Фінансові ризики:

- Коливання валютного курсу (особливо EUR/USD);
- Підвищення цін на будівельно-монтажні роботи та сировину;
- Нестабільність фінансування з боку зовнішніх донорів або держави.

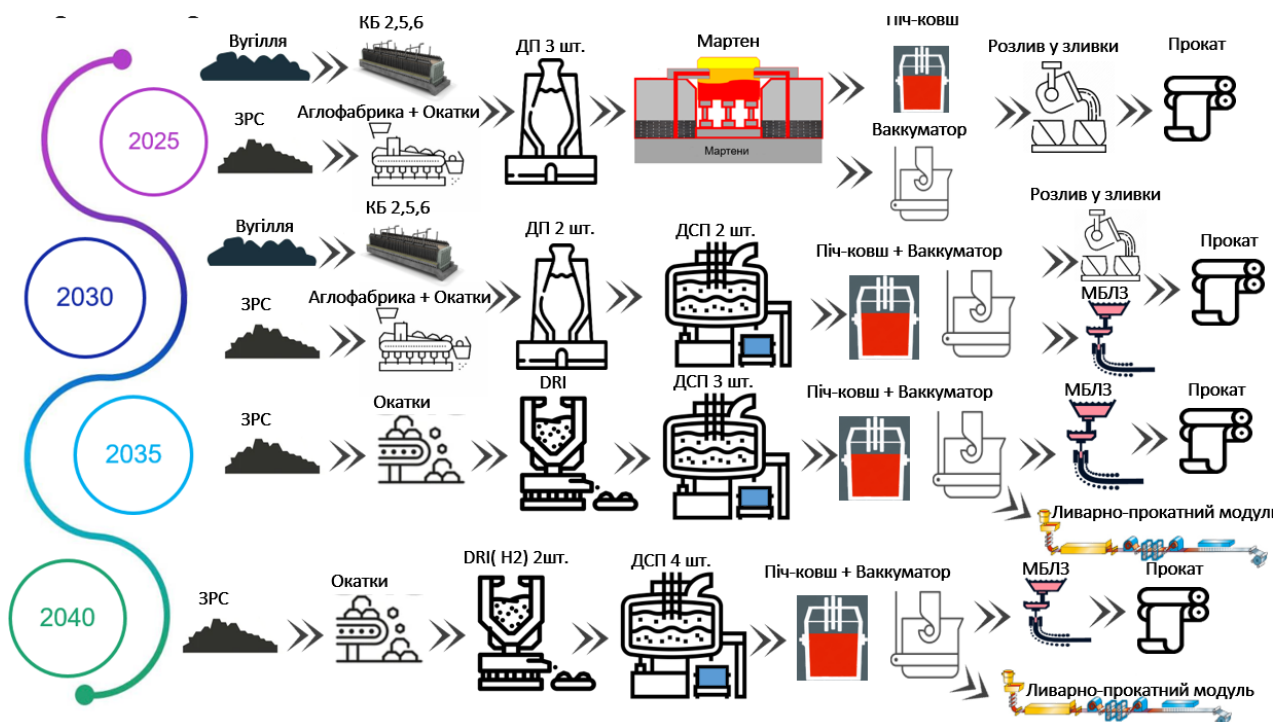


Рисунок 3.7 – карта декарбонізації актипа ПАТ ЗАПОРІЖСТАЛЬ

Екологічні та регуляторні ризики:

- Зміни в законодавстві щодо промислових викидів або вимог сертифікації;
- Посилення правил імпорту сталі до ЄС в рамках CBAM;
- Відтермінування екологічної експертизи.

Соціальні та кадрові ризики:

- Опір персоналу до змін, особливо в процесі закриття мартенівського виробництва;

- Недостатній рівень кваліфікації працівників для роботи з EAF/DRI;
- Плинність кадрів у ключових інженерних підрозділах.

Проектні ризики:

- Порушення координації між підрядниками;
- Недостатній рівень контролю за якістю робіт;
- Зрив термінів введення об'єктів в експлуатацію.

Для структуризації ризиків було застосовано методикау "краватка-метелик" (Bow-Tie), яка дозволяє візуалізувати причинно-наслідкові зв'язки та сформулювати запобіжні та коригувальні дії.

Крім того, у фінансову модель проекту закладено резерви на покриття ризиків у розмірі 10–15% від загального CAPEX (так званий contingency fund). Ризик-менеджмент інтегрується в систему SAP та Power BI з метою постійного моніторингу індикаторів реалізації, KPI та динаміки ризиків.

Таким чином, управління ризиками є невід'ємною частиною системи проектного управління модернізацією ПАТ «Запоріжсталь» і гарантує своєчасне виявлення загроз, оперативну реакцію на події та забезпечення сталості реалізації інвестиційної стратегії.

3.6 Цифрова трансформація: впровадження SAP, Power BI, MES для підтримки модернізації

Реалізація інвестиційного проекту модернізації ПАТ «Запоріжсталь» передбачає не лише фізичне оновлення виробничих потужностей, а й глибоку цифрову трансформацію всіх рівнів управління. Це включає впровадження сучасних інформаційних систем управління підприємством (ERP), моніторингу виробництва (MES) та бізнес-аналітики (BI), які забезпечують прозорість, оперативність та точність управлінських рішень.

Основними цифровими платформами, що інтегруються в межах проєкту, є:

SAP S/4HANA (ERP-система):

- Забезпечує централізоване управління фінансами, закупівлями, логістикою, запасами, технічним обслуговуванням обладнання;
- Включає модуль Budget Planning для формування та контролю інвестиційних бюджетів;
- Підтримує інтеграцію з іншими системами (MES, CEMS, Power BI);
- Дозволяє вести план-фактний аналіз у режимі реального часу.

MES (Manufacturing Execution System):

- Реалізується для управління виробничими операціями в цехах DRI, EAF, МБЛЗ;
- Забезпечує диспетчеризацію, контроль параметрів плавки, облік продуктивності обладнання;
- Передає дані в ERP та BI-систему для аналітики і прийняття рішень;
- Дозволяє формувати цифровий паспорт партії сталі.

Power BI (Business Intelligence):

- Інструмент інтерактивної візуалізації даних та аналітики проєкту;
- Використовується для контролю KPI модернізації, ризиків, бюджету, прогресу реалізації;
- Дозволяє створення дашбордів для менеджменту та зовнішніх стейкхолдерів;
- Може інтегруватися з SAP і MES через API.

Ключові переваги цифрової трансформації:

- Скорочення часу прийняття рішень за рахунок автоматизації обробки даних;
- Підвищення прозорості та підзвітності виконання робіт;
- Виявлення вузьких місць у виробництві в реальному часі;
- Можливість моделювання сценаріїв та стрес-тестування інвестиційної стратегії;
- Удосконалення ризик-менеджменту через інструменти Business Continuity.

Управління цифровою трансформацією координується спеціально створеним Digital Office при департаменті трансформації «Запоріжсталі», який відповідає за стратегічну архітектуру IT-ландшафту, впровадження нових платформ, навчання персоналу та цифрову культуру на підприємстві.

Таким чином, цифрова трансформація є не допоміжним, а стрижневим елементом модернізації, що забезпечує зрощення технологій з управлінням і відкриває шлях до побудови «розумного металургійного підприємства» (Smart Steelworks).

3.7. Програма підготовки персоналу, reskilling та управління змінами

Одним з ключових викликів реалізації проекту модернізації ПАТ «Запоріжсталь» є трансформація кадрового потенціалу підприємства. Перехід до нових технологій (DRI, EAF, MES, SAP) вимагає від працівників нових знань, навичок та адаптації до цифрового виробничого середовища. Зважаючи на це, у структурі проекту окремий напрямок займає система перекваліфікації (reskilling), підвищення кваліфікації (upskilling) та управління змінами (change management).

3.7.1 Аналіз кадрового складу та виклики

На підприємстві працює понад 11 000 співробітників. Середній вік працівників у мартенівському та доменному переділах перевищує 50 років. Значна частина персоналу не має досвіду роботи з DRI/EAF-технологіями або цифровими системами (ERP, BI, SCADA).

Виведення з експлуатації застарілих цехів (мартен, аглофабрика, коксовий) потребує переведення та перекваліфікації близько 2500–3000 осіб. Ще щонайменше 1500 фахівців мають бути залучені для обслуговування нових установок і цифрової інфраструктури.

3.7.2 Аналіз кадрового складу та виклики

У рамках модернізації впроваджується багаторівнева програма навчання персоналу (див. Таблицю 3.1).

Таблиця 3.1 – Графік навчання персоналу

Категорія працівників	Напрями навчання	Формат	Тривалість
Інженери EAF, DRI	Технології плавки, автоматизація	Очні курси, VR	3 міс.
Оператори обладнання	MES, SCADA, охорона праці	Практикум + симуляції	1,5 міс.
Менеджери середньої ланки	SAP, управління змінами	Онлайн-курси + тренінги	1 міс.
Топменеджмент	ESG, фінанси, стратегії управління	Стратегічні сесії	2 тижні

Партнерами програми виступають «Метінвест Політехніка», IT Academy, внутрішній навчальний центр. Навчальні курси інтегруються в індивідуальні плани розвитку працівників через LMS (Learning Management System).

3.7.3 Управління змінами (Change Management)

Окрема програма змін (Change Program) передбачає:

- Визначення Change Agents у кожному структурному підрозділі;
- Регулярні комунікації щодо ходу модернізації;
- Мотиваційні програми для тих, хто успішно проходить адаптацію;
- Впровадження принципів Agile у командній роботі;
- Формування корпоративної культури інновацій.

Таким чином, підготовка персоналу є ключовим фактором успіху реалізації інвестиційного проєкту. Вона дозволяє зберегти кадровий потенціал, зменшити соціальну напругу, підвищити продуктивність і забезпечити сталість змін.

3.8 Соціально-економічний ефект для регіону та громади

Модернізація ПАТ «Запоріжсталь» несе значний позитивний соціально-економічний вплив на регіон, у якому розташоване підприємство. Реалізація масштабного інвестиційного проєкту трансформації виробництва змінює не лише технічну архітектуру заводу, а й сприяє розвитку інфраструктури, покращенню умов життя, праці та соціального клімату у місті Запоріжжя.

3.8.1 Збереження та створення робочих місць

- Незважаючи на поступове виведення з експлуатації застарілих виробництв (мартен, аглофабрика, коксовий цех), підприємство реалізує програму збереження зайнятості:
- близько 2500 працівників будуть переведені на нові ділянки після перепідготовки;
- створюється понад 1200 нових робочих місць у сфері автоматизації, ІТ, обслуговування цифрових систем, водневої інфраструктури;

- залучення молоді через партнерство з вишами — «Метінвест Політехніка», ЗНУ, КПУ.

3.8.2 Підвищення рівня заробітної плати та соціальних стандартів

Високотехнологічний профіль праці в DRI/EAF-підрозділах передбачає суттєве зростання кваліфікаційних вимог, що супроводжується:

- підвищенням середньої зарплати на 25–30% у порівнянні з рівнем 2023 року;
- введенням гнучких форм зайнятості, зокрема віддаленої підтримки SAP, MES;
- розвитком програм добровільного медичного страхування, професійного страхування, корпоративного транспорту.

3.8.3 Розвиток міської інфраструктури та локальної економіки

Інвестиційний проєкт сприяє зростанню ділової активності в регіоні:

- зростання локального замовлення на будівельні роботи, послуги, транспорт;
 - залучення підрядників із сусідніх громад та малого бізнесу;
 - розвиток суміжних галузей: машинобудування, логістика, інжиніринг.
- Значну роль відіграє оновлення соціальної інфраструктури за підтримки підприємства:
- ремонт шкіл, медичних закладів, культурних установ;
 - участь у муніципальних програмах «Безпечне місто», «Зелений район»;
 - запуск нових соціальних ініціатив: цифрові бібліотеки, STEM-лабораторії для учнів.

3.8.4 Сталий розвиток та інтеграція з ESG-стратегією

Уся діяльність модернізованого підприємства спрямована на досягнення цілей сталого розвитку (SDGs):

- забезпечення гідної праці (SDG 8);
- сталий індустріальний розвиток (SDG 9);
- зменшення викидів (SDG 13);
- партнерство заради цілей (SDG 17).

Таким чином, модернізація «Запоріжсталі» — це не лише промисловий проєкт, а й інструмент довгострокового соціального та економічного оновлення регіону. Вона формує нову модель взаємодії підприємства, громади та держави на основі принципів соціальної відповідальності, екологічної ефективності та економічної користі.

3.9 Висновки до розділу

У результаті дослідження, проведеного в межах третього розділу, встановлено, що модернізація ПАТ «Запоріжсталь» має всебічний, глибоко інтегрований характер, що охоплює технологічну трансформацію, економічну доцільність, управлінську ефективність, екологічну відповідність та соціальний вплив. Реалізація бездоменної схеми виробництва сталі за технологіями DRI–EAF–МБЛЗ є не просто інженерним проєктом, а трансформаційною платформою для переходу до нової промислової моделі на основі принципів ESG.

На рівні технологій доведено переваги нового циклу, зокрема: зниження енерговитрат, скорочення часу плавки, підвищення якості продукції, автоматизація процесів, цифровий контроль параметрів та інтеграція з ERP/MES. Розроблена цільова модель виробничого потоку дозволяє зменшити часові втрати, покращити логістику між цехами, забезпечити гнучкість у плануванні та реакцію на зміну ринку.

З фінансової точки зору, реалізація чотирьохфазного інвестиційного плану з бюджетом понад \$10 млрд демонструє високу ефективність. Розрахункові показники NPV (\$600 млн), IRR (34,7%) та строк окупності (менше 8 років) свідчать про доцільність модернізації та її здатність генерувати значну додану вартість. Інтеграція цифрових платформ SAP, Power BI та MES забезпечує прозоре бюджетування, контроль KPI, ризик-менеджмент і гнучке управління ресурсами.

Екологічна складова відображає глобальні тренди декарбонізації: перехід на DRI з воднем, сертифікація ISO 14067, відповідність CBAM, зменшення CO₂ до 0,35 т/т сталі, ліквідація аглофабрики та коксу. Це створює підґрунтя для виходу продукції на ринки ЄС без додаткових вуглецевих зборів.

З управлінської точки зору обґрунтовано важливість впровадження системи перекваліфікації персоналу (reskilling), програм change management, підготовки кадрового резерву, а також формування цифрової культури. У роботі показано, що близько 2500 працівників буде переведено на нові дільниці, понад 1200 робочих місць буде створено у нових секторах.

Соціально-економічний ефект включає зростання заробітних плат, підтримку локального бізнесу, оновлення міської інфраструктури, взаємодію з вишами, створення цифрових лабораторій та освітніх програм. Вплив модернізації виходить за межі підприємства та сприяє розвитку регіону в цілому.

Таким чином, третій розділ демонструє, що інтегрована модель модернізації «Запоріжсталі» є прикладом гармонійного поєднання інженерії, економіки, екології, менеджменту та соціальної відповідальності, що забезпечує сталу трансформацію великого промислового об'єкта у XXI столітті.

4 ІНТЕГРОВАНІ ЕФЕКТИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕРНІЗАЦІЙНОГО ПРОЄКТУ БЕЗДОМЕННОГО ВИРОБНИЦТВА НА ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

4.1 Техніко-економічна ефективність проєкту

Модернізаційний проєкт на ПАТ «Запоріжсталь» є масштабною інвестицією, що передбачає перехід від традиційного аглодоменого + мартенівського циклу до технології прямого відновлення заліза (DRI) та електродугових печей (Electric Arc Furnace, EAF). Обсяг капіталовкладень для будівництва нового комплексу потужністю ~3 млн тонн сталі на рік оцінюється в кілька мільярдів доларів США. Для прикладу, аналогічний проєкт компанії Meranti Green Steel (Таїланд) інвестує близько \$2 млрд у будівництво ЕДП-комплексу продуктивністю 2,5 млн т/рік. Відповідно, для «Запоріжсталі» з продуктивністю 3 млн т/рік інвестиції можуть сягати ~\$2,4–3 млрд (що еквівалентно приблизно 90–110 млрд грн залежно від курсу).

Чиста приведена вартість (NPV) – ключовий показник економічної доцільності, який дорівнює різниці між теперішньою вартістю грошових відтоків (інвестиційні витрати) та надходжень (генеровані проєктом прибутки) за певний період ставка дисконту (норматив рентабельності або вартість капіталу), – початкові інвестиційні витрати. Позитивне значення NPV свідчить про привабливість проєкту, оскільки означає, що дисконтовані доходи перевищують вкладення. Для даного проєкту NPV розраховується на основі прогнозних грошових потоків від продажу сталі та побічних продуктів, скоригованих на витрати (сировина, енергоносії, операційні витрати), з урахуванням очікуваного зростання доходів від преміальної «зеленої» сталі та економії на екологічних платежах (наприклад, уникнення значних витрат за викиди CO₂ завдяки механізму CBAM). За попередніми оцінками, за базового сценарію (ціна сталі ~700

\$/т, ціна електроенергії ~50–60 \$/МВт·год, помірне зростання цін на водень) NPV проекту є додатним. Це означає, що модернізація здатна генерувати чистий економічний ефект для компанії, підвищуючи її вартість. Важливим фактором є **ціна вуглецевих квот** у ЄС: за поточної ціни ~80 €/т CO₂ різниця у витратах на викиди між «зеленою» та традиційною сталлю може становити близько 100 € на тонні, що суттєво підвищує прибутковість екологічно чистого виробництва.

Внутрішня норма рентабельності (IRR) – це ставка дисконту, за якої NPV проекту дорівнює нулю. IRR показує очікувану дохідність проекту: якщо IRR перевищує вартість капіталу (наприклад, середньозважену ціну капіталу компанії), то інвестиція приваблива. Для модернізації на «Запоріжсталі» розрахунковий IRR залежить від сценаріїв цін і витрат: у базовому сценарії IRR може сягати, наприклад, 12–15%, що вище бар'єрного значення ~10% і є прийнятним рівнем дохідності. В оптимістичному сценарії (вищі ціни на сталь або отримання «зеленого» преміуму від покупців, зниження вартості водню та електроенергії) IRR може зрости до 20% і більше. Зарубіжні дослідження демонструють, що за сприятливих умов (дешевша відновлювана електроенергія, продаж побічних продуктів як-от кисень) воднева металургія може мати IRR ~27% і окупність ~4 роки, однак для консервативніших умов окупність ближче до 7–10 років. Наш проект закладає термін окупності (Payback Period) близько 8–9 років – за цей період накопичені грошові потоки компенсують стартові інвестиції. Індекс прибутковості (PI), що обчислюється як відношення теперішньої вартості майбутніх грошових надходжень до обсягу інвестицій, перевищує 1 (орієнтовно 1,2–1,3 у базовому сценарії), що підтверджує ефективність проекту (PI > 1 вказує, що на кожен інвестовану гривню генерується більше 1 грн приведенного доходу).

Для техніко-економічного обґрунтування важливо також проаналізувати чутливість проекту до зміни ключових параметрів.

Здійснено аналіз сценаріїв, як зміниться NPV та інші показники за різних умов:

- **Ціни на сталь:** Зниження ринкової ціни реалізації на 10% може зменшити NPV на значну величину і подовжити окупність ще на 2–3 роки. Навпаки, зростання ціни на готову продукцію (наприклад, через попит на низьковуглецеву сталь) покращує показники – NPV зростає, IRR збільшується.
- **Вартість енергоносіїв:** Оскільки нова технологія вимагає електроенергії і (на перших етапах) природного газу чи «сірого» водню, зростання тарифів на електроенергію або газ погіршує економіку проекту. Натомість поступове здешевлення «зеленого» водню та сонячної/вітрової електроенергії (очікуване з масштабуванням ВДЕ) суттєво покращить економічні результати, роблячи сталь «Midrex H₂+EAF» ще конкурентнішою.
- **Ціна вуглецевих квот (CO₂):** Цей фактор особливо впливає на відносну привабливість. За відсутності плати за викиди (наприклад, на внутрішньому ринку) «зелена» технологія дещо поступається за прямими витратами класичній (через дорожчі енергоносії). Однак при еквіваленті \$50–100 за тонну CO₂ (через податки чи CBAM) проект стає більш вигідним за рахунок уникнення цих витрат. Таким чином, чим жорсткіша екологічна політика, тим вищий фінансовий стимул до модернізації.
- **Капітальні витрати:** Перевищення бюджету будівництва на, скажімо, 20% знизить показники (NPV, IRR) і може зробити строк окупності надто довгим. Тому управління проєктними ризиками і оптимізація кошторису – критично важливі. Втім, наш аналіз закладає резерви та можливі грантові/пільгові фінансування (наприклад, кредити ЄБРР чи програми декарбонізації), що можуть компенсувати частину капексу. За оцінкою експертів ОЕСР, прямі субсидії або гранти на ~15–20% від капекс можуть підвищити NPV

водневого сталеплавильного проекту від'ємного до додатного значення.

Отже, техніко-економічне обґрунтування демонструє, що за умови належного фінансування та врахування ринкових трендів модернізація «Запоріжсталі» є економічно виправданою. Проект має позитивний NPV і привабливий IRR у базових сценаріях, а також прийнятний запас міцності до помірних коливань цін. Таким чином, інвестиція не лише оновить виробництво технологічно, але й забезпечить довгострокове зростання вартості підприємства.

4.2 Екологічні ефекти модернізації

Перехід на технологію DRI–EAF матиме драматично позитивний екологічний ефект, що є однією з головних рушійних сил проекту. **Викиди парникових газів (CO₂)** знизяться у кілька разів. Традиційний аглодоменний цикл з конвертером чи мартеном продукує приблизно 2,0–2,5 тонни CO₂ на тонну сталі (а зі застарілим мартенівським переділом може сягати 3 т/т). Для порівняння, електросталеплавильний маршрут зі скрапом і прямим відновленням заліза викидає значно менше. При використанні природного газу як відновника (технологія Midrex на метані) емісія становить біля ~0,6 т CO₂ на тонну сталі. Якщо ж перейти на «зелений» водень, вироблений з відновної електроенергії, прямі викиди CO₂ можуть наблизитися до нуля – фактично обмежуватись лише непрямими емісіями від графітових електродів (порядку 5–20 кг CO₂ на тонну). Отже, потенційне скорочення вуглецевого сліду – понад **75–90%**. Це колосальний внесок у боротьбу зі зміною клімату та вагомий крок до цілі кліматичної нейтральності.

Окрім парникових газів, значно скоротяться і **інші промислові викиди**. Зокрема, **оксиди азоту (NO_x)** утворюються при спалюванні коксу та інших палив у доменних печах, агломераційних та мартенівських процесах. Ліквідація цих стадій означає зменшення NO_x. Електропеч EAF не потребує спалювання великої кількості палива (основна енергія –

електричний струм), тож утворення NO_x мінімізується. Невеликі кількості оксидів азоту можуть генеруватися тільки від пальників додаткового підігріву або при плавці домішок у скрапі, і ці викиди значно нижчі та легше очищуються. Подібно, майже повністю усуваються **оксиди сірки (SO_x)** – вони в основному походять від сірки у вугіллі та коксовому газі. Без вугілля у процесі, викиди SO_2 будуть мінімальними, обмеженими лише слідами сірки в брухті чи руді. В цілому, технологія EAF характеризується істотно меншим обсягом забруднюючих газів: як зазначається в оглядах, перехід на електродуговий процес знижує викиди CO_2 , NO_x і SO_x у порівнянні з доменним виробництвом, повністю відповідаючи глобальним зусиллям із покращення якості повітря.

Пилові викиди та інші забруднювачі. Агломерація руди і доменна плавка супроводжуються значними викидами пилу (дрібнодисперсні частинки оксидів, незгорілого вугілля, шлаку тощо). На старих аглофабриках і мартенах пил часто потрапляв в атмосферу, впливаючи на здоров'я працівників і мешканців міста. Перехід на DRI–EAF практично усуває ці джерела: немає агломераційного процесу – немає пилу від агломашин; немає горіння коксу – значно менше твердих часток від димових газів. Основним джерелом пилу у EAF є випаровування і викиди при плавці брухту (так званий електропічний пил, що містить оксиди заліза, цинку, свинцю тощо). Проте сучасні електропечі оснащуються високоефективними системами пилоочистки (фільтри, рукавні фільтри), які вловлюють до 99% пилових часток. Частинки, що все ж викидаються, здебільшого дрібні (близько 60% < 10 мкм), але їх обсяг значно менший порівняно з комбінатом повного циклу. До того ж, цей пил збирається і може утилізуватися (наприклад, цинковмісний EAF-пил передають на переробку для вилучення цинку). Таким чином, навантаження на атмосферу по твердих частках та важких металах різко знизиться. За рахунок закриття мартенівського цеху покращиться і стан повітря в

робочих зонах – нові електропечі мають локальні аспірації і більш чисті з точки зору запиленості робочі простори.

Механізм CBAM та вплив на екологічні витрати. Європейський Союз впроваджує Carbon Border Adjustment Mechanism – механізм вуглецевого коригування імпорту, який передбачає, що імпортери сталі в ЄС платитимуть за вміст вуглецю в продукції за ціною, еквівалентною ціні квот ЄС. Для «Запоріжсталі», що орієнтується на експорт, це означає пряму фінансову мотивацію скоротити викиди. Орієнтовно, для традиційної технології з 2 т CO₂/т сталі при ціні €80/т CO₂, митний податок склав би ~€160 з тонни – фактично штраф за «брудну» сталь. При переході на DRI–EAF з ~0,6 т CO₂/т, цей платіж зменшиться до €48, економія ~€112 на тонні. Якщо ж досягти майже безвуглецевого виробництва на водні, то імпорт взагалі не обкладатиметься значними вуглецевими зборами. Отже, проєкт модернізації не тільки прямо скорочує викиди, а й захищає підприємство від майбутніх витрат на вуглець, підвищуючи його конкурентоспроможність на ринку ЄС. Важливо зазначити, що CBAM поступово набуватиме сили з 2026 року і повністю запрацює до 2034 тому діяти на випередження – стратегічно правильно.

Зелений водень та відновлювані джерела. Проєкт передбачає використання водню (H₂) як відновника в процесі Midrex. Наразі водень може частково отримуватися з природного газу (блакитний водень з уловлюванням CO₂) або як побічний продукт, але стратегічна мета – перехід на «зелений» водень, вироблений електролізом води на основі відновної електроенергії (СЕС, ВЕС тощо). Це інтегрує металургію із сектором відновлюваної енергетики. Попит на зелений водень стимулюватиме розвиток електролізерів і нових ВДЕ-потужностей в Україні. Крім того, «Запоріжсталь» зможе скористатися програмами ЄС зі стимулювання водневих технологій (Innovation Fund, H2Global тощо). Використання водню також усуває такі екологічні проблеми, як утворення побічних продуктів на кшталт смол, фенольних вод та коксового газу, що

супроводжують коксохімічне виробництво. Відмова від коксу означає **скорочення видобутку вугілля**, зменшення навантаження на шахти і пов'язані екологічні ризики (відвали породи, метанові виброси).

Раціональне використання ресурсів. Екологічний ефект проявиться і через зниження споживання природних ресурсів. Класичний цикл потребує значних обсягів залізної руди, коксу, вапняку. Модернізація дозволяє частково замінити руду металобрухтом (до 20–30% шихти може становити брухт, що переробляється в EAF), а отже, збільшується рівень recycling (переробки) металів. Кожна тонна використаного брухту економить ~1,5 т залізної руди і до 0,5 т коксу. В масштабі 3 млн т/рік це означає скорочення споживання рудної сировини на мільйони тон і аналогічне зменшення видобутку корисних копалин. Як зазначається в оглядах ринку, EAF-металургія сприяє економії ресурсів, адже переробка брухту знижує потребу в видобутку первинної руди та утворенні відвалів. Крім того, зникає потреба у випалюванні вапняку в таких обсягах – вапно все ще потрібне для шлакоутворення в електропечі, але його витрати нижчі, ніж в доменному процесі, де флюси додаються і в агломерацію, і в доменну піч у значних кількостях.

Водні ресурси та вплив на ґрунти. Нове виробництво є менш **водоємним**. Коксохім і аглофабрика споживають багато води (для охолодження коксу, газів, технологічні потреби) і створюють забруднені стічні води (феноли, аміак від коксохіму). Електропечний цех потребує воду переважно для охолодження систем (водообіги для охолодження печей, конденсаторів тощо), але ці системи замкнуті і не утворюють значних скидів. Відтак зменшиться навантаження на Дніпро від промислових стоків комбінату. Щодо відходів, то припинення агломерації означає відсутність агломераційного шламу, менше шлакових відвалів (залишатиметься лише сталеплавильний шлак від EAF, який, до речі, може використовуватися в будівництві доріг). Також не буде вловлюватися і складатися токсичний газовий пил агломерації. Звичайно,

електропід дає свій шлак та пил, але вони контролюються і значно менш об'ємні, а частину можна рециркулювати.

Таким чином, екологічні вигоди проекту охоплюють зниження викидів парникових газів, суттєве очищення атмосфери від забруднень (NO_x , SO_2 , пил), зменшення навантаження на водні та земельні ресурси, а також сприяння глобальній декарбонізації. «Запоріжсталь» з модернізованим виробництвом стане одним з піонерів «зеленої» металургії в Україні, що підвищить екологічні стандарти в регіоні та сприятиме виконанню міжнародних зобов'язань України у сфері клімату.

4.3 Порівняння енергоспоживання та ресурсозатратності старих і нових технологій

Одним із найважливіших інтегрованих результатів модернізації є різке **підвищення** енергетичної ефективності виробництва сталі. Старі технології на «Запоріжсталі» – агломерація, доменне виробництво чавуну та мартенівські печі – відзначаються високою енергоємністю та матеріаломісткістю. Натомість новий маршрут DRI–EAF споживає інші види енергії та значно оптимізує ресурсні потоки. Розглянемо порівняння ключових показників ПЕР (див. таблицю 4.1).

Як видно з таблиці, нова технологія значно знижує споживання викопних видів палива. Кокс взагалі не використовується – доменний процес відсутній, отже відпадає потреба у ~1,5 млн тон коксу на рік (для 3 млн т сталі), що економить близько 2 млн тон вугілля щорічно. Природний газ – у старому виробництві газ іде на підігрів доменного дуття, опалення мартенів, тоді як у новому він може споживатися лише на етапі запуску чи резервно (або для виробництва сірого водню). Повний перехід на зелений водень усуває і цю статтю витрат.

Енергетичний коефіцієнт корисної дії процесу зростає: замість спалювання коксу з великими втратами тепла, електрична енергія

безпосередньо перетворюється на тепло в дуговій печі з високою ефективністю та можливістю рекуперації (наприклад, відведення тепла з відпрацьованих газів ЕДП для попереднього нагріву).

Таблиця 4.1 – Орієнтовне порівняння енерго- та ресурсоспоживання на тонну сталі для старого і нового процесу

Показник	Стара технологія: аглодомен + Мартен	Нова технологія: DRI–EAF (Midrex H₂ + ЕДП)
Загальне енергоспоживання, ГДж/т сталі	~25–30 (в основному за рахунок коксу, газу)	~12–15 (електроенергія, H ₂ , частково природний газ)
Електроенергія, кВт·год/т сталі	~400–500 (в основному допоміжні потреби)	~900–1100 (дугове плавлення + компресія H ₂)
Кокс/вугілля, кг/т сталі	~500–600 (кокс для домни + паливо мартена)	0 (немає домни; лише вуглецеві добавки ~20 кг/т)
Природний газ, м³/т сталі	~100–150 (підігрів повітря, мартенівський газ)	~100–120 (для нагріву реактору Midrex, якщо не H ₂)
Залізна руда, т/т сталі	~1.6 (враховуючи втрати на агломерації)	~1.1 (при частковому використанні 20–30% брухту)

Варто зазначити, що хоча споживання електроенергії в технології EAF більше, загальний вміст первинної енергії (якщо врахувати хімічну енергію коксу у старому процесі) значно нижчий у DRI–EAF. Це підтверджує і досвід світової металургії: електропічний процес потребує менше сумарної енергії на тонну сталі, особливо при використанні скрапу. До того ж електроенергія може надходити з відновлюваних джерел, що істотно знижує "енергетичний слід" продукції.

Показник ресурсоємності (витрати сировини на 1 т продукції) також покращується. Завдяки частковому використанню металобрухту (який уже містить залізо в металевій формі), потрібно менше залізорудної

сировини. Навіть для решти руди – Midrex працює на окатках високої якості, які ефективніше відновлюються, ніж агломерат, а відсутність доменних втрат (шлакування, вигорання) дає вищий вихід придатного металу. Як наслідок, металургійний вихід (відсоток готової сталі від маси вихідної сировини) підвищується. Зменшення витрат вапняку і інших флюсів пояснюється тим, що у доменному процесі значна їх частина йшла на утворення шлаку з пустої породи руди; в DRI-процесі руда високоякісна (окатки з вмістом Fe > 67%), отже менше пустої породи і потреби у флюсах. Електропічний шлак зазвичай легший за доменний, його менше на тонну сталі.

Електроспоживання: цифри показують, що електропіч витрачає ~340–500 кВт·год на плавку тонни сталі (залежно від частки DRI vs брукхту, температури завалки тощо), тоді як традиційне виробництво витрачало електроенергію на приводи, дуттьові машини тощо (~100–200 кВт·год/т). Отже, навантаження на електромережу підприємства зростає. Це виклик, але й можливість для інтеграції з енергосистемою: можна встановити власні генеруючі потужності (наприклад, сонячні панелі на території, газотурбінну станцію на відновленому доменному газі перший час). У перспективі, з огляду на курс України на «зелену» енергетику, підвищення електроємності виправдане, бо вуглецевий слід 1 кВт·год буде постійно зменшуватися.

Продуктивність і гнучкість: DRI–EAF дозволяє легше регулювати потужність виробництва. Електропечі можна оперативно вмикати/вимикати або змінювати потужність (в певних межах) залежно від кон'юнктури ринку та доступності дешевої електроенергії (наприклад, у нічні години або при піковій генерації ВДЕ). Це неможливо у випадку доменної печі, яка має працювати безперервно. Гнучкість означає кращу інтеграцію з енергоринком (можливість участі у програмах зрівноваження попиту, отримання доходів від регулювання навантаження тощо).

Таким чином, нова технологія забезпечує значно нижчі питомі витрати енергії та ресурсів на одиницю продукції. Це підвищує конкурентоздатність комбінату, оскільки знижує собівартість (особливо у довгостроковій перспективі, коли ціни на викопне паливо та вуглець зростають). Досягнення вищої енергоефективності також сприяє виконанню стандартів ISO 50001 (системи енергоменеджменту) та інших міжнародних норм, що укріплює позиції підприємства на глобальному ринку.

4.4 Соціальні наслідки та вплив на громаду

Модернізаційний проєкт матиме значний соціальний вплив як на трудовий колектив ПАТ «Запоріжсталь», так і на ширшу громаду міста Запоріжжя. Ці ефекти можна розділити на декілька аспектів: ринок праці та зайнятість, розвиток навичок (reskilling/upskilling), співпраця з освітніми установами, соціальна відповідальність та добробут населення.

Зайнятість і нові робочі місця. Будівництво нового металургійного комплексу – це великий інвестиційний проєкт, який у пікові періоди залучатиме тисячі працівників: будівельників, монтажників, інженерів. Це стимулюватиме місцевий ринок праці протягом 2–3 років будівництва, з'являться *нові робочі місця* у суміжних сферах (логістика, виробництво будматеріалів, послуги тощо). Після запуску комплексу структура постійної зайнятості на комбінаті зміниться. Традиційні професії (доменної плавки, агломератники, мартенівці) будуть заміщені іншими – операторами DRI-установки, сталеплавильниками ЕДП, фахівцями з автоматизації, електриками високої кваліфікації. Кількість персоналу в сталеплавильному переділі, ймовірно, зменшиться через вищий рівень автоматизації EAF у порівнянні з трудомістким мартенівським цехом. Однак компанія прагне уникнути соціальної напруги: скорочення будуть компенсовані перепідготовкою (reskilling) працівників і їх переведенням на

нові ділянки. Наприклад, досвідчені сталевари можуть пройти навчання і стати операторами електропечей; фахівці з обслуговування домен – стати механіками чи енергетиками нового обладнання.

Крім того, запуск сучасного виробництва створить робочі місця майбутнього, привабливі для молодих спеціалістів. Високотехнологічний характер DRI–EAF вимагає IT-навичок, знання автоматизованих систем – тобто привабить молодь із технічною освітою, яка раніше могла не розглядати «стару металургію» як кар'єрну можливість. Це сприятиме зупиненню відтоку кадрів за кордон та «старінню» персоналу. Компанія «Метінвест» уже зробила кроки у цьому напрямі, заснувавши власний гірничо-металургійний університет – Метінвест Політехніка – перший недержавний технічний університет в Україні. На його базі готуються фахівці за сучасними програмами (матеріалознавство, автоматизація, комп'ютерні науки, бізнес-аналітика тощо), що прямо відповідають потребам оновленої промисловості. Показово, що Метінвест Політехніка отримала відзнаку як «Місце для амбітних» у рейтингу найкращих роботодавців України – за внесок у навчання і перекваліфікацію кадрів. Це означає, що група інвестує в re/up-skilling не тільки на словах, а й на практиці, забезпечуючи навчання співробітників новим компетенціям.

Співпраця з освітніми та науковими установами. Проект модернізації вже породив партнерства з профільними закладами. Комбінат співпрацює із Запорізькою політехнікою, надаючи базу для практики студентам-металургам, автоматникам. Планується створення навчального центру на підприємстві, де буде тренажер електропечі, симулятор управління DRI-установкою – щоб і чинні працівники, і молоді спеціалісти здобували практичні навички ще до пуску. Можливе залучення європейських експертів та партнерство з університетами ЄС (наприклад, технічними вузами Німеччини, де подібні водневі проекти впроваджуються) для обміну досвідом. Також «Запоріжсталь» розглядає програми стажування персоналу на заводах, де вже працюють

електропечі (наприклад, італійські чи турецькі EAF-заводи) – аби перейняти культуру виробництва і найкращі практики. Інвестиції в людей – невід’ємна частина інвестицій у технології.

Підвищення рівня оплати та добробуту. Сучасне виробництво потребує висококваліфікованих кадрів, яких треба мотивувати й утримувати. Очікується *зростання середньої заробітної плати* на підприємстві, особливо для операторів нових установок, IT-спеціалістів, інженерів з обслуговування. Багато з цих позицій вимагатимуть вищої освіти і складніших навичок, тому будуть краще оплачувані, ніж нинішні робітничі спеціальності. Це позитивно вплине на доходи сімей працівників, підвищить їх купівельну спроможність і якість життя. Ефект мультиплікатора: вищі зарплати у металургів означають більше коштів, що витрачаються у місцевій економіці (торгівлі, сервісі), отже зростають і суміжні сектори в регіоні. За оцінками економічного впливу, кожне робоче місце в металургії генерує 3–4 робочих місця у суміжних галузях, тож стабільна робота комбінату з сучасними умовами – це запорука зайнятості для тисяч людей у Запоріжжі.

Умови праці та безпека. Новий комплекс спроектований з урахуванням найвищих стандартів промислової безпеки. Автоматизація і дистанційне керування процесами зменшують присутність людей у небезпечних зонах (наприклад, біля печі чи редуктора DRI). Робочі місця операторів будуть в сучасних пультах у кондиціонованих приміщеннях з комп’ютерними консолями, що значно комфортніше і безпечніше, ніж праця біля мартенівської печі з екстремальними температурами. Ризики травматизму повинні знизитися завдяки впровадженню систем контролю доступу, датчиків, автоматичного відключення при аварійних ситуаціях. Пріоритетом компанії є нульовий рівень травматизму (Zero Injury), і нові технології дають інструменти для цього – від роботизації операцій (скажімо, автоматична подача електродів, завалювання шихти) до застосування дронів чи дистанційних візуальних систем для огляду

обладнання. Покращення умов праці позитивно впливає і на імідж підприємства як роботодавця: комбінат буде більш привабливим місцем роботи для молодих фахівців, у тому числі і для тих груп населення, які раніше рідко йшли в металургію (наприклад, жінки-інженери, IT-фахівці тощо).

Різноманітність і інклюзія (D&I). Модернізація супроводжується і змінами в корпоративній культурі. Впровадження нових технологій часто йде рука об руку зі змінами в управлінні персоналом – акцентом на *різноманітність та інклюзивність*. Металургійна галузь традиційно була чоловічою сферою, але сучасне автоматизоване виробництво стирає багато фізичних бар'єрів. «Запоріжсталь» планує активно залучати жінок до інженерних та IT-позицій у нових цехах, забезпечуючи рівні можливості в навчанні і кар'єрному зростанні. Політика D&I також стосується інтеграції ветеранів (колишніх військовослужбовців) та людей з інвалідністю на відповідні посади – компанія вже відзначена як лідер з найму ветеранів. Інклюзивність означає, що кожен працівник, незалежно від статі, віку чи інших ознак, матиме доступ до програм перепідготовки і розвитку, аби знайти своє місце в оновленій структурі підприємства. Це не лише соціальна місія, а й практична необхідність: дефіцит кадрів стимулює ширше залучати усі категорії талановитих працівників.

Соціальна інфраструктура і громада. Металургійний комбінат історично відігравав велику роль у житті Запоріжжя – утримував соціоб'єкти, підтримував міську інфраструктуру. Після модернізації фінансові можливості компанії зростуть, що дозволить продовжувати і розширювати програми корпоративної соціальної відповідальності (CSR). Зокрема, можна очікувати інвестицій у модернізацію гуртожитків, будівництво нового житла для молодих спеціалістів, підтримку шкіл та професійних коледжів, екологічних акцій у місті. Зниження промислових викидів покращить стан здоров'я населення: менше респіраторних захворювань, вищий комфорт життя (зникнуть пилові бурі від шлакових

відвалів, неприємні запахи коксового виробництва). Це опосередковано зменшить навантаження на медицину та підвищить тривалість життя в регіоні. Таким чином, проект має *позитивний соціально-демографічний ефект*.

Підсумовуючи, інтегровані соціальні результати модернізації – це створення якісних робочих місць, розвиток людського капіталу, поліпшення умов і безпеки праці, зростання добробуту родин працівників та підтримка регіональної спільноти. «Запоріжсталь» укріпиться як соціально відповідальний бізнес-лідер, що інвестує не лише в обладнання, а й в людей. Це сприятиме і довгостроковій стійкості підприємства: мотивований, навчений персонал – запорука ефективної роботи нових технологій.

4.5 Роль цифрової трансформації у реалізації проекту

Цифрова трансформація є невід’ємним чинником успішного впровадження модернізаційного проекту і подальшої ефективної експлуатації нового виробництва. ІТ-рішення, автоматизація та аналітика пронизують всі аспекти – від проектування та будівництва до управління виробництвом, фінансами і ризиками на оновленому комбінаті. ПАТ «Запоріжсталь» як частина Групи Метінвест вже кілька років впроваджує стратегію Industry 4.0, спираючись на експертизу дочірньої компанії Metinvest Digital. Розглянемо ключові елементи цифрової складової проекту:

ERP-система (SAP) та інтеграція бізнес-процесів. Для управління ресурсами підприємства використовується сучасна ERP-платформа SAP S/4HANA. Модернізація виробництва ускладнює ланцюжки постачання (наприклад, закупівлі окатків DRI, водню, облік брухту), змінює структуру витрат і продуктів. SAP дозволяє інтегровано планувати та обліковувати всі ці процеси: від фінансового планування інвестицій до оперативного

обліку витрат енергії на тонну продукції. Група Metinvest мігрувала свою SAP-інфраструктуру в хмару Microsoft Azure, що підвищує надійність та масштабованість систем. Впроваджуються спеціалізовані модулі – наприклад, SAP для управління ремонтами нового обладнання, SAP Arriba для оптимізації закупівель матеріалів, SAP SuccessFactors для HR-процесів. Завдяки SAP керівництво матиме прозору картину KPI виробництва майже в реальному часі, а співробітники – зручні інструменти для виконання своїх задач (самообслуговування, електронний документообіг тощо). Особливо важливо, що SAP SuccessFactors інтегровано систему управління ефективністю персоналу з можливістю постановки цілей і відстеження KPI працівників – це мотивує персонал до досягнення цілей проекту (наприклад, зниження витрат енергії, підвищення продуктивності), пов'язуючи їх з системою винагород.

MES (Manufacturing Execution System) і автоматизація виробництва. Новий DRI–EAF комплекс буде оснащений сучасною системою управління технологічним процесом (АСУТП) на основі промислових контролерів і програмного забезпечення реального часу. MES-рівень буде збирати дані з тисяч датчиків: температури, тиску, складу газів, електричних параметрів дуги тощо, – і надавати операторам інтерактивний інтерфейс для контролю. Це дозволить *точно вести процес* відновлення заліза і плавки сталі за оптимальними параметрами. Наприклад, система автоматично регулюватиме подачу водню в реактор Midrex для підтримання потрібної температури і ступеня металізації, або керуватиме графіком ввімкнення дуг печі для підтримання максимальної електричної ефективності і рівномірного плавлення. Всі ці операції були б неможливі без високорівневої автоматизації – людина фізично не може зреагувати на таку кількість змінних в режимі реального часу.

Аналітика даних і AI. Збір великих даних з виробництва відкриває шлях до використання штучного інтелекту для оптимізації і передбачення. Metinvest Digital вже реалізував пілотні проекти з машинного навчання,

наприклад, для прогнозування вмісту кремнію у чавуні на домні за допомогою Azure Machine Learning. На модернізованому комбінаті передбачається запровадити системи прогнозової аналітики: прогноз виходу DRI на основі якості окатків і параметрів реакції, або прогноз зносу футеровки електропечі, щоб вчасно її ремонтувати. Такі AI-рішення зменшать кількість неполадок і простоїв (predictive maintenance), підвищать вихід придатного металу. Також вони допоможуть у управлінні енергоспоживанням: наприклад, оптимізація графіка вмикання електропечей з урахуванням тарифів на електроенергію, прогнозування ціни електрики на добу вперед та автоматичне коригування плану виплавки для мінімізації витрат. Це вписується в концепцію розумного виробництва (Smart Factory), де алгоритми допомагають приймати рішення.

Цифрові двійники та моделювання. На етапі проектування було використано комп'ютерне моделювання процесів. Створено «цифровий двійник» заводу – віртуальну модель DRI-установки і EAF, на якій інженери перевірили різні режими роботи, оцінили теплообміни, міцність конструкцій. Це дозволило оптимізувати дизайн ще до будівництва. В експлуатації цифровий двійник продовжить служити: на ньому можна тестувати нові рецептури (наприклад, використання окатків іншого постачальника чи вищого вмісту брухту) без ризику для реального обладнання. Також двійник, підживлюваний поточними даними з датчиків, зможе в режимі реального часу сигналізувати про відхилення – фактично виконуючи роль розширеної системи контролю.

Системи звітності та BI (Business Intelligence). Управлінські рішення базуються на оперативній інформації. Для цього впроваджується середовище BI – зокрема, Microsoft Power BI використовується для створення інтерактивних аналітичних панелей. Керівники різних рівнів (від майстра ділянки до директора комбінату) матимуть налаштовані дашборди з ключовими показниками: продуктивність печей за годину,

витрата електроенергії проти плану, випуск сталі по змінах, рівень втрат металу в шлаку, показники якості продукції, екологічні параметри (викиди, споживання води) тощо. Це дає прозорість процесів і можливість швидко реагувати. Як відзначає GMK Center, цифровізація підвищує прозорість виробництва і продажів, знижує вплив людського фактора. Зручний доступ до даних через BI не лише економить час на підготовку звітів, а й стимулює культуру даних – коли рішення приймаються на основі фактів і цифр, а не інтуїції.

Управління ризиками та безпекою. Цифрові інструменти допомагають і в сфері ризик-менеджменту. На підприємстві буде впроваджено систему моніторингу техногенних ризиків: сенсори газу і пилу, контролери стану конструкцій (напруження, вібрації) – все це під'єднано до єдиного центру, де програма аналізує і попереджає про загрози (наприклад, можливий витік газу або перегрів агрегату). Система **MES + ERP** також відстежує відхилення в технологічних параметрах і може створювати автоматичні інциденти/наряди на обслуговування. Наприклад, якщо витрата електроенергії на тонну раптом зросла вище нормативу – сигнал для енергетика перевірити електроди або трансформатор. Для кібербезпеки, враховуючи, що виробництво цифровізоване, впроваджено засоби захисту промислових мереж, резервування даних та системи двофакторної аутентифікації для критичних доступів. Metinvest як група входить до лідерів за рівнем цифрової зрілості, і на 2020 рік вже 45% виробничих процесів були автоматизовані; новий проект цю цифру ще збільшить.

Цифрова культура і організація. Компанія створила окремий підрозділ Metinvest Digital, що акумулює експертизу з IT і впроваджує проекти цифровізації. Це забезпечує системний підхід: проект модернізації з самого початку включав IT-фахівців у команду. Проводились IDEF0-моделювання бізнес-процесів бюджетування проекту (для виявлення неефективностей) – приклад, як цифрові методи (нотація

IDEF0) застосовані до управління проектом. В майбутньому працівників мотивують опанувати нові цифрові інструменти – від планшетів для оперативних завдань до «розумних окулярів» для ремонтників (з доповненою реальністю, коли інструкції накладаються на поле зору). Такі smart devices вже тестуються на інших підприємствах групи. Пандемія COVID-19 прискорила цифровізацію, навчила працювати віддалено, що і на виробництві проявляється: наприклад, дистанційний технагляд за будівництвом через онлайн-камери, використання дронів для огляду будмайданчика або кар'єрів (для гірничих підрозділів).

Отже, цифрова трансформація виконує роль *«нервової системи»* модернізаційного проекту. Вона забезпечує високу точність і керованість технологічних процесів, ефективність і прозорість управління, підвищує безпеку та гнучкість виробництва. У підсумку, саме поєднання новітнього обладнання із сучасними ІТ-рішеннями дасть синергійний ефект: металургійний комбінат перетвориться на високотехнологічне підприємство, здатне конкурувати на рівні Industry 4.0. Це підвищує імовірність успішної реалізації проекту в строк і бюджет, а також забезпечує максимальну віддачу від інвестицій у довгостроковому періоді.

4.6 Інституційне значення проекту та стратегічні перспективи

Впровадження модернізаційного проекту на ПАТ «Запоріжсталь» матиме резонанс, що виходить за межі власне підприємства. Мова йде про інституційні ефекти – вплив на галузь, інвестиційний клімат, імідж промисловості України та інтеграцію у європейський економічний простір.

Підвищення інвестиційної привабливості галузі. Успішна реалізація проекту стане «історією успіху», яка продемонструє, що великі промислові інновації в Україні можливі і вигідні. Це сигнал для інвесторів (вітчизняних та іноземних), що металургія України переходить на новий рівень технологій і може приносити прибуток навіть у умовах

декарбонізації. З точки зору макроекономіки, проект сприятиме покращенню позиції України у міжнародних рейтингах сталого розвитку та залучення «зелених» фінансів. Наприклад, успіх «Запоріжсталі» може зацікавити міжнародні фінансові інститути (ЄБРР, IFC) інвестувати в подальші «зелені» проекти металургії, або випуск «зелених облігацій» під decarbonization проекти. Це також підвищує довіру до українського ринку капіталу: інвестори бачитимуть, що регуляторне середовище і уряд підтримують модернізацію (наприклад, через доступне кредитування, податкові стимули), а отже ризики менші. Загалом, зросте інвестиційна привабливість не лише «Метінвесту», а й усього сектору ГМК (гірничо-металургійного комплексу) України.

Імідж та конкурентоспроможність Групи «Метінвест». Для «Метінвесту» як материнської компанії проект має стратегічне значення. По-перше, це закріпить імідж «Метінвесту» як інноваційної, екологічно відповідальної компанії. Сьогодні світові сталеві гіганти (ArcelorMittal, Thyssenkrupp, SSAB та ін.) оголосили плани до 2030–2040 років перейти на водневу металургію або EAF. Реалізуючи проект вже зараз, «Метінвест» стане в один ряд з технологічними лідерами. Це важливо і для бренду: клієнти, особливо в Європі, все більше звертають увагу на «зеленість» продукту. Можна буде маркувати свій прокат як «low-carbon steel», що відкриє нові ринки збуту та дозволить укладати контракти з вимогливими споживачами (автомобільними концернами, будівельними компаніями, які декларують скорочення вуглецевого сліду). По-друге, «Метінвест» здобуде унікальний досвід реалізації масштабного водневого проекту в регіоні Східної Європи. Цей досвід можна капіталізувати – консультувати інші заводи, масштабувати рішення на свої активи (наприклад, перспективно модернізувати «Каметсталь» за аналогією). В інформаційному просторі компанія отримає позитивне висвітлення, що особливо цінно на фоні викликів воєнного часу. Можна очікувати нагород та рейтингів: наприклад, World Steel Association може відзначити

«Запоріжсталь» за скорочення викидів, а Україна – визнати проект інновацією року.

Вплив на галузеву політику і нормативи. «Запоріжсталь» фактично стане пілотним майданчиком для відпрацювання регуляторних та технічних умов зеленої металургії. Результати проекту можуть бути використані українським урядом при оновленні стратегій та стандартів. Наприклад, досвід експлуатації водневого DRI дозволить розробити національні норми для поводження з воднем на промислових об'єктах, адаптувати правила техніки безпеки. На рівні екологічного регулювання – держава отримає реальні кейси, скільки і як можна скоротити викиди, скільки це коштує, що може вплинути на формування підтримки (пільги на електроенергію для зелених виробництв, прямі дотації тощо). Проект також сприятиме розвитку суміжних інститутів – ринку водню, сертифікації «зеленого» металу. Можливо, виникне необхідність створити систему верифікації низьковуглецевої продукції, щоб та ж «Запоріжсталь» могла офіційно підтвердити клієнтам свій рівень CO₂ на тонну. Це веде до появи нових інституцій – сертифікаційних органів, лабораторій, які стануть частиною економічної екосистеми.

Інтеграція з ринком ЄС та виконання євроінтеграційних вимог. Україна взяла курс на євроінтеграцію, і ратифікована Угода про асоціацію передбачає поступове наближення промислових стандартів та екологічної політики до європейських. Модернізація «Запоріжсталі» фактично випереджає вимоги: підприємство добровільно досягає рівня екологічних норм ЄС, зокрема Директиви про промислові викиди (IED) та найкращих доступних технологій (BAT) для сталеливарної галузі. Це стане аргументом на користь України в переговорах – демонструється, що навіть важка індустрія реформується відповідно до «зеленого курсу» ЄС. Більш практичний бік – збереження ринків збуту. Європейські замовники все більше впроваджують вимоги до постачальників щодо декарбонізації. Вже зараз окремі сталевироби сертифікуються за рівнем CO₂ (наприклад,

«зелені» рейки або автомобільна сталь). «Запоріжсталь» після модернізації зможе відповідати цим запитам, що гарантує стабільний експорт в ЄС. Без модернізації, навпаки, існував ризик поступового витіснення української сталі з євrorинку через невідповідність новим стандартам і додаткові бар'єри (СВАМ). Таким чином, проект – це квиток до збереження і розширення присутності на європейському ринку. Це важливо і на тлі потенційного вступу України до ЄС: промисловість має бути конкурентною всередині спільного ринку, і «Запоріжсталь» показує готовність до цього.

Локалізація та розвиток суміжних секторів. Інституційно проект стимулює розвиток кластерів – енергетичного (ВДЕ, воднева економіка), машинобудівного (виробництво обладнання, його обслуговування), науково-дослідного (співпраця з НАНУ, наукові розробки в галузі металургії). Наприклад, для забезпечення DRI-установки воднем може бути збудовано електролізерний парк у Запорізькій області, що стане окремим інвестиційним проектом і створить новий ринок газу водню. Машинобудівні заводи України можуть долучитись до постачання частини обладнання чи комплектуючих, якщо для них будуть трансфер технологій і відповідні замовлення (це питання локалізації, яке можна вирішити державною підтримкою). Таким чином, один проект тягне за собою розвиток суміжних виробництв і технологій, формуючи ланцюжок доданої вартості всередині країни.

Довгострокова конкурентоспроможність та стійкість. Інституційне значення також проявляється в тому, що підприємство стає набагато більш стійким до зовнішніх викликів. Коливання цін на сировину: при власному DRI-циклі «Запоріжсталь» менше залежатиме від імпортного коксу чи енергетичного вугілля; перехід на брухт частково захищає від цін на залізну руду (власні рудники Метінвесту плюс відкритий ринок брухту). Коливання політики: введення глобальних вуглецевих податків чи екологічних квот вже не застане зненацька – підприємство

наперед відповідає цим вимогам, тож отримає конкурентну перевагу перед тими, хто зволікатиме. Фактично, «Запоріжсталь» після модернізації – це підприємство нового типу, готове до викликів ХХІ століття (кліматичних, ринкових, технологічних). Це може вплинути і на державну політику в плані визначення пріоритетів: держава побачить, що підтримка інноваційних проектів дає плоди, і, ймовірно, розширить програми стимулювання (спецкредити, експортні гарантії для «зелених» товарів тощо).

На міжнародному рівні, реалізація проекту може посилити позиції України як учасника глобальної боротьби зі зміною клімату. Україна зможе заявити на COP та інших форумах про конкретне досягнення – скорочення викидів у сталевій галузі на X мільйонів тон CO₂ на рік завдяки цьому проекту. Це підвищує міжнародний імідж країни і може конвертуватися у фінансову підтримку (гранти, технічну допомогу на інші проекти декарбонізації).

4.7 Висновки до розділу

Модернізаційний проект на ПАТ «Запоріжсталь» створює синергію техніко-економічних, екологічних, соціальних та управлінських результатів. Він демонструє нову модель розвитку важкої промисловості – інноваційної, екологічно чистої, орієнтованої на людей та інтегрованої у світові ринки. Цифрова трансформація виступає інструментом, що пов'язує всі ці аспекти воедино і максимізує їх віддачу. Інституційно проект закладає фундамент для конкурентного, привабливого для інвестицій і євроінтегрованого металургійного сектору України. Таким чином, впровадження цього модернізаційного проекту має комплексний позитивний результат і стратегічне значення як для ПАТ «Запоріжсталь», так і для економіки та суспільства в цілому.

5 ОЦІНКА ВПЛИВУ МОДЕРНІЗАЦІЇ НА БЕЗПЕКУ ПРАЦІ ТА УМОВИ РОБОТИ ПЕРСОНАЛУ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

5.1 Загальна характеристика безпеки праці у металургії

Забезпечення високого рівня охорони праці на сучасних промислових підприємствах є обов'язковою умовою сталого розвитку, конкурентоспроможності й дотримання міжнародних стандартів. Металургійна галузь традиційно відноситься до сфер з підвищеними професійними ризиками, оскільки виробничий процес поєднує високі температури, токсичні та пилові викиди, роботу з вибухо- та пожежонебезпечними матеріалами.

В умовах глобальних тенденцій декарбонізації, цифровізації та автоматизації ключове значення має поєднання модернізації технологій і оновлення систем безпеки праці. Інтеграція сучасних технічних рішень, автоматизованих систем моніторингу та дистанційного керування дозволяє мінімізувати вплив шкідливих чинників на здоров'я працівників, знизити ризики аварій та травматизму.

Розробка та впровадження заходів з охорони праці повинні базуватися на комплексному аналізі технологічних ризиків і враховувати специфіку виробничих ділянок, особливо при переході на новітні методи плавки сталі.

5.2 Вплив стратегічної модернізації на умови праці на ПАТ «Запоріжсталь»

Проект модернізації ПАТ «Запоріжсталь» передбачає повний перехід від класичного аглодоменного циклу та мартенівського переділу до сучасної технології DRI–EAF. Це означає впровадження модулів прямого відновлення заліза з використанням водню та використання дугових

сталеплавильних печей для плавлення металу. Такий перехід значно змінює характер трудових процесів і умови роботи персоналу.

Насамперед, зменшується кількість операцій прямого контакту людини з високотемпературним розплавом і відкритим полум'ям. Високий рівень автоматизації управління процесами дозволяє перемістити оператора з небезпечних зон у спеціалізовані пульти або операторські кабінки з оптимальними умовами мікроклімату та захистом від шуму й пилу.

Застосування сучасних газоочисних установок знижує рівень запиленості у виробничих цехах у рази. Використання нових матеріалів для футеровки агрегатів та систем охолодження мінімізує теплове навантаження на робочі місця.

Водночас модернізація вимагає підвищеної уваги до питань електробезпеки, оскільки EAF-агрегати працюють з високими струмами і напругами. Для цього впроваджуються системи заземлення, автоматичного відключення при аваріях та багаторівневий контроль стану електрообладнання.

5.3 Особливості умов праці сталеплавильника при роботі з EAF

Сталеплавильник — ключова фігура у технологічному ланцюгу виплавки сталі. Навіть за умов автоматизації частина операцій залишається під безпосереднім контролем людини, що вимагає високого рівня професійної підготовки та суворого дотримання правил безпеки.

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами для сталеплавильника при роботі з дуговою сталеплавильною піччю є:

інтенсивне теплове та оптичне випромінювання електричної дуги;

ризик опіків від бризок металу і шлаку;

висока запиленість та токсичні газові викиди під час плавки;

сильний шум і вібрація від роботи трансформаторів та механізмів подачі шихти.

Для мінімізації цих ризиків сталеплавильник зобов'язаний використовувати повний комплект засобів індивідуального захисту: вогнетривкий спецодяг, каску, захисний щиток зі світлофільтром, респіратор або шланговий протигаз, рукавиці та жаростійке взуття. На сучасних ділянках обов'язковим є використання протишумових навушників і окулярів з захистом від ультрафіолету.

5.4 Технічні та організаційні заходи безпеки

Система безпеки на ПАТ «Запоріжсталь» передбачає впровадження низки технічних рішень: потужні системи аспірації, локальні витяжні зони, теплоізоляційні панелі й захисні кожухи навколо небезпечних вузлів. Зони завалки шихти, випуску сталі та розливу обладнуються тепловими екранами, а для уникнення аварійних ситуацій передбачено системи блокування і аварійного зливу металу.

Обладнання оснащується датчиками температури, вологості, витоку води у систему охолодження, що дозволяє запобігти вибухам при контакті води з розплавом. Операторські пульти винесені у безпечну зону з контрольованим мікрокліматом.

5.5 Цифровий моніторинг стану охорони праці

Важливою складовою модернізації є цифровий контроль за дотриманням норм охорони праці. На підприємстві впроваджується комплекс програмних рішень для реєстрації небезпечних ситуацій, аналізу ризиків та формування звітів у реальному часі. Це дозволяє своєчасно виявляти відхилення та оперативно усувати потенційні загрози.

Системи SAP EHSM та Power BI інтегруються з виробничими модулями, що дає змогу контролювати показники мікроклімату, рівень шуму, запиленості, концентрацію шкідливих газів. За допомогою персональних датчиків і систем трекінгу працівників у небезпечних зонах

можна уникнути перевищення гранично допустимих навантажень на організм.

5.6 Соціальний ефект та перспектива розвитку безпечного виробництва

Покращення умов праці стимулює зростання мотивації працівників, сприяє зниженню рівня травматизму і професійної захворюваності. Завдяки перекваліфікації та підвищенню культури безпеки персонал швидше адаптується до роботи з сучасними технологіями.

Модернізоване виробництво ПАТ «Запоріжсталь» відповідає кращим світовим практикам у сфері безпечного сталевих виробництва та може слугувати прикладом для інших підприємств металургійного комплексу України.

5.7 Висновки до розділу

У результаті проведеного аналізу можна зробити висновок, що стратегічна модернізація виробництва на ПАТ «Запоріжсталь» має не лише технологічне та економічне, а й значне соціальне та безпекове значення. Перехід від традиційних аглодоменних і мартенівських технологій до сучасних комплексів DRI–EAF істотно змінює підхід до організації праці, мінімізуючи безпосередній контакт працівників із джерелами небезпеки.

Комплекс технічних рішень, що включає автоматизацію процесів, модернізовані газоочисні системи, нові матеріали для футеровки й сучасні системи охолодження, дозволяє знизити рівень запиленості, теплового навантаження та шуму на робочих місцях. Окремо варто відзначити запровадження цифрових систем моніторингу — завдяки інтеграції SAP

EHSM і Power BI підприємство здатне відслідковувати критичні показники в реальному часі та оперативно реагувати на відхилення.

Особлива увага приділяється безпеці сталеплавильників, які безпосередньо працюють із дуговими сталеплавильними печами. Застосування повного комплексу засобів індивідуального захисту, використання локальних теплових екранів, блокувальних механізмів та автоматизованих систем аварійного зливу металу забезпечують високий рівень безпеки у зоні плавки.

Організаційні заходи, що супроводжують модернізацію, передбачають регулярне навчання, підвищення кваліфікації персоналу та впровадження культури нульового травматизму. Соціальний ефект виявляється у зниженні професійної захворюваності, підвищенні мотивації працівників та формуванні позитивного іміджу підприємства як відповідального роботодавця.

Таким чином, впровадження стратегічної модернізації ПАТ «Запоріжсталь» не лише підвищує ефективність і екологічність виробництва, а й гарантує покращення умов праці та високий рівень охорони праці всього персоналу відповідно до міжнародних стандартів безпечного виробництва.

ВИСНОВКИ

1. У результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи на тему «Управління проектом організації бездоменного виробництва сталі продуктивністю 3 млн тонн на рік з метою розширення сортаменту продукції» досягнуто мети — розроблено комплексну модель модернізації ПАТ «Запоріжсталь», яка враховує технічні, економічні, екологічні та соціальні чинники.

2. У теоретичній частині проаналізовано ключові підходи до управління стратегічними інвестиційними проектами та особливості бюджетування у металургії. Розкрито світові тенденції переходу до «зеленої» сталі, що визначає доцільність використання технології прямого відновлення заліза Midrex H₂ та дугових сталеплавильних печей (EAF).

3. Аналітична частина показала, що наявна технологія на ПАТ «Запоріжсталь» є морально і технічно застарілою. Поточне енергоспоживання мартенівського і аглодоменного переділів складає понад 600–700 кВт·год на тонну сталі, тоді як після переходу на EAF очікується зниження до 330–350 кВт·год на тонну. Розрахована річна програма виплавки становить 3 млн тонн сталі за умови експлуатації трьох електропечей об'ємом 150 т кожна при середньому циклі плавки 3,5 години.

4. Економічні розрахунки підтвердили ефективність інвестицій. Чистий дисконтований дохід (NPV) проекту оцінюється на рівні понад 600 млн дол. США. Внутрішня норма рентабельності (IRR) перевищує 34 %, а період окупності капіталовкладень складає близько 7–8 років.

5. Завдяки впровадженню Midrex H₂ та EAF викиди CO₂ на одиницю продукції скорочуються орієнтовно на 45–50 % — з 2,0 т CO₂/т сталі до 1,1–1,2 т CO₂/т сталі. Розраховано, що річне скорочення викидів складе понад 2 млн тонн CO₂ у порівнянні з традиційною схемою.

6. Розглянуто енергетичні та матеріальні витрати: річне споживання електроенергії оцінено на рівні 990–1 050 млн кВт·год при питомому споживанні 330–350 кВт·год/т сталі. Орієнтовна річна потреба у графітових електродах складає близько 16–18 кг/т сталі, що дорівнює 50–54 тис. тонн на рік.

7. Окремо проведено розрахунки екологічних показників: витрати технічної води знижуються до 1,2–1,5 м³/т сталі, що на 30–35 % менше, ніж у традиційних технологіях. Передбачено систему повторного використання води та ефективного очищення від шкідливих домішок.

8. Важливою частиною дослідження стало визначення чітких управлінських підходів. Сформовано принципи ефективного проектного менеджменту для управління комплексом заходів модернізації, які включають багатоступеневу систему контролю витрат, інтеграцію управлінських рішень у загальний стратегічний план розвитку підприємства та впровадження системи безперервного моніторингу ризиків.

9. Окремо підкреслено важливість переходу до гнучкої моделі управління змінами. Для цього у роботі обґрунтовано доцільність використання цифрових інструментів управління бюджетами (SAP), аналітичних дашбордів (Power BI) та сценарного моделювання, що забезпечує оперативне коригування планів під час реалізації проекту. Це дозволяє швидко реагувати на зовнішні виклики та знижувати фінансові ризики.

10. Значну увагу приділено безпеці праці. Підготовлено комплекс заходів для сталеплавильників, які працюють з EAF: встановлення сучасних витяжних систем, автоматизованих пультів керування, теплових екранів, локальних систем блокування аварійних ситуацій. Визначено оптимальний мікроклімат у зоні керування (температура 22–24 °С, рівень шуму не вище 80–85 дБА).

11. Результати дослідження підтвердили, що запропонована модернізація дає не лише економічний ефект, а й значну екологічну та соціальну користь: створюються умови для збереження понад 3 500 робочих місць через програму перекваліфікації та перенавчання персоналу.

12. Отримані висновки та розроблені пропозиції можуть бути використані як приклад для інших підприємств гірничо-металургійного комплексу України, що прагнуть підвищити свою конкурентоспроможність та відповідати вимогам європейських ринків і стандартів сталого розвитку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тимошенко Д. О., Кухар В. В., Воловненко І. В. Порівняння енергоспоживання при виробництві сталі застарілими аглодоменим та мартенівським переділами із сучасною технологією прямого відновлення заліза Midrex H2 та виплавою в дуговій сталеплавильній печі. Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки. 2024. № 2. С. 49–54. DOI:10.32782/3041-2080/2024-2-8

2. Кухар В. В., Тимошенко Д. О., Кононюк Д. В., Малій Х. В., Навольнєв І. Ю. Доменні печі в епоху декарбонізації: пошук альтернатив коксу. Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки). Тематичний випуск "До 95 річчя кафедри металургії ім. професора В.І. Логінова Дніпровського державного технічного університету". 2024. № 3. С. 36–43. DOI:10.31319/2519-2884.tm.2024.3

3. Тимошенко Д. О., Кухар В. В., Шаульська Л. В., Кононюк Д. В. Порівняльний аналіз екологічної ефективності металургійних технологій виробництва сталі в контексті "зеленого" переходу. Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. 2024. Вип. 38. С. 282–291. DOI:10.52150/2522-9117-2024-38-282-291

4. Tymoshenko D. O., Kukhar V. V., Volkova V. Ye., Chub N. S., Kyrychenko I. H. Comparing the Environmental Performance of Steelmaking Technologies. Науковий журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки. 2025. № 3. С. 177–182. DOI:10.32782/3041-2080/2025-3-23

5. Кухар В., Грибков Е., Малій Х., Крюков Р., Тимошенко Д. Управління викидами в металургійній галузі України в умовах декарбонізації, шляхи досягнення вуглецевої нейтральності та застосування інструментів менеджменту. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2025. Вип. 1 (150). С. 65–73. DOI:10.32782/1995-0519.2025.1.8

6. Tymoshenko D. O., Kukhar V. V., Navolniev I. Yu., Malii Kh. V., Buturlin O. S. Strategic modernization of PJSC "Zaporizhstal" for decarbonization and adaptation to CBAM requirements. Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наук. пр. / ДВНЗ «ПДТУ». Дніпро. 2025. Серія: Технічні науки. Вип. 50. Т. 1. [Прийнято до друку]

7. Chang Y., Wan F., Yao X., Wang J., Han Y., Li H. Influence of hydrogen production on the CO₂ emissions reduction of hydrogen metallurgy transformation in iron and steel industry. Energy Reports. 2023. Vol. 9. P. 3057–3071. DOI:10.1016/j.egy.2023.01.083.

8. Okosun T., Nielson S., Zhou C. Blast Furnace Hydrogen Injection: Investigating Impacts and Feasibility with Computational Fluid Dynamics. JOM. 2022. Vol. 74. P. 1521–1532. DOI:10.1007/s11837-022-05177-4

9. Gerasev A.P., Bundschuh, P., Schenk J., Viertauer, A., Trummer B., Arth G., Rössler R., & Reisinger P. Evaluation of the Potential for Reduction of CO₂ Emissions at the Secondary Metallurgy. RHI bulletin : the journal of refractory innovations. 2016. Vol. 1. P. 28–34. URL: <https://pure.unileoben.ac.at/en/publications/evaluation-of-the-potential-for-reduction-of-co2-emissions-at-the>

10. Tang J., Chu M., Li F., Feng C., Liu Z., Zhou Y. Development and progress on hydrogen metallurgy. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. 2020. Vol. 27. P. 713–723. DOI:10.1007/s12613-020-2021-4

11. Mauret F., Baniyadi M., Saxén H., Feiterna A., Hojda S. Impact of Hydrogenous Gas Injection on the Blast Furnace Process: A Numerical Investigation. Metallurgical and Materials Transactions B. 2023. Vol. 54. P. 2137–2158. DOI:10.1007/s11663-023-02822-4

12. Lan C., Hao Y., Shao J., Zhang S., Liu R., Lyu Q. Effect of H₂ on Blast Furnace Ironmaking: A Review. Metals. 2022. Vol. 12. P. 1864. DOI:10.3390/met12111864

13. Magacho G.R., Espagne É., & Godin, A. Impacts of the CBAM on EU trade partners: consequences for developing countries. *Climate Policy*. 2023. Vol. 24. No. 2. P. 243–259. DOI:10.1080/14693062.2023.2200758
14. Beschkov V., Ganey E. Perspectives on the Development of Technologies for Hydrogen as a Carrier of Sustainable Energy. *Energies*. 2023. Vol. 16. No. 17. P. 6108. DOI:10.3390/en16176108
15. Gołdasz A., Matuszewska D., Olczak P. Technical, economic, and environmental analyses of the modernization of a chamber furnace operating on natural gas or hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022. Vol. 47. No. 27. P. 13213–13225. DOI:10.1016/j.ijhydene.2022.02.090.
16. Neacsu A., Eparu C.N., Stoica D.B. Hydrogen–Natural Gas Blending in Distribution Systems—An Energy, Economic, and Environmental Assessment. *Energies*. 2022. Vol. 15. No. 17. P. 6143. DOI:10.3390/en15176143
17. Yan J. Progress and Future of Breakthrough Low-carbon Steelmaking Technology (ULCOS) of EU. *International Journal of Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. 2018. Vol. 3. Issue 2. P. 15–22. DOI:10.11648/j.ijmpem.20180302.11
18. Meijer K., Denys M., Lasar J., Birat J.-P., Still G., Overmaat B. ULCOS: Ultra-low CO₂ steelmaking. *Ironmaking & Steelmaking*. 2009. Vol. 36. No. 4. P. 249–251. DOI: 10.1179/174328109X439298
19. Ishaq H., Dincer I., Crawford C. A review on hydrogen production and utilization: Challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022. Vol. 47. Issue 62. P. 26238–26264. DOI:10.1016/j.ijhydene.2021.11.149
20. Ahmed S. F., Mofijur M., Nuzhat S., Rafa N., Musharrat A., Lam S. S., Boretti A. Sustainable hydrogen production: Technological advancements and economic analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022. Vol. 47. Issue 88. P. 37227–37255. DOI:10.1016/j.ijhydene.2021.12.029

21. Zou C., Li J., Zhang X., Jin X., Xiong B., Yu H., Liu X., Wang S., Li Y., Zhang L., Miao S., Zheng D., Zhou H., Song J., Pan S. Industrial status, technological progress, challenges, and prospects of hydrogen energy. *Natural Gas Industry B*. 2022. Vol. 9. Issue 5. P. 427–447. DOI:10.1016/j.ngib.2022.04.006
22. Rampai M. M., Mtshali C. B., Seroka N. S., Khotseng L. Hydrogen production, storage, and transportation: recent advances. *Royal Society of Chemistry Advances*. 2024. Issue 10. P. 6699–6718. DOI:10.1039/D3RA08305E
23. Siddiqui M. I. H. Innovative green steelmaking process for sustainable steel production, *VW Applied Sciences*, vol. 5, no. 1, pp. 171–176, April 2023, DOI:10.36297/vw.applsci.v5i1.48
24. Lopez G., Farfan J., Breyer C., Trends in the global steel industry: Evolutionary projections and defossilisation pathways through power-to-steel”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 375, pp. 134182, November 2022, DOI:10.1016/j.jclepro.2022.134182
25. Oliinyk A., Dmytrenko Y. Prospects of Ukraine on the world steel market, *Effective Economy*, no. 9, September 2023, DOI:10.32702/2307-2105.2023.9.44
26. Jacko P., Kovalchuk V., Mlynár P., Prus V., Somka O. Sun-tracking solar panel with battery charger based on the MPPT technology, 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, IEEE, 2023, pp. 1-6, January 2024, DOI:10.1109/MEES61502.2023.10402437
27. Geletukha G., Zheliezna T., Prospects for bioenergy development in Ukraine: Roadmap until 2050, *Ecological Engineering and Environmental Technology*, vol. 22, no. 5, pp. 73–81, September 2021, DOI:10.12912/27197050/139346

28. Antuña G. Industrial path creation, a business case approach: Daniel Alonso Group from steelmaking to wind power, *Business History*, pp. 1–27, January 2024, DOI:10.1080/00076791.2024.2304791

29. Ajbar A., K. Alhumaizi, Soliman M. A., Ali E. Model-based energy analysis of an integrated Midrex-based iron/steel plant, *Chemical Engineering Communications*, vol. 201, no. 12, pp. 1686–1704, January 2014, DOI:10.1080/00986445.2013.825835

30. Na H., Sun J., Yuan Y., Qiu Z., Zhang L., Du T. Theoretical energy consumption analysis for sustainable practices in iron and steel industry, *Metals*, vol. 14, no. 5, pp. 563, May 2024, DOI:10.3390/met14050563

31. He K., Wang L. A review of energy use and energy-efficient technologies for the iron and steel industry, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 70, pp. 1022–1039, April 2017, DOI:10.1016/j.rser.2016.12.007

32. Karnaukh S. G., O. Markov E., Aliieva L. I., Kukhar V. V. Designing and researching of the equipment for cutting by breaking of rolled stock, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 109, no. 9–12, pp. 2457–24641, August 2020, DOI:10.1007/s00170-020-05824-7

33. Zagirnyak M., Prus V., Nikitina A. Special features of energy consumption and quality of electricity in low-voltage networks of industrial and utility enterprises, *Technical Electrodynamics*, vol. 2016, no. 4, pp. 74–76, July 2016, DOI:10.15407/techned2016.04.074

34. Mousa E. Modern blast furnace ironmaking technology: potentials to meet the demand of high hot metal production and lower energy consumption, *Metallurgical and Materials Engineering*, vol. 25, no. 2, pp. 69–104, July 2019, DOI:10.30544/414

35. Khrebtova O., Shapoval O., Markov O., Kukhar V., Hrudkina N., Rudych M. Control systems for the temperature field during drawing, taking into account the dynamic modes of the technological installation, 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES),

Kremenchuk, Ukraine, IEEE, 2022, pp. 1–6, January 2023, DOI:10.1109/MEEES58014.2022.10005724

36. Ruth M. Steel Production and Energy, Encyclopedia of Energy, Ed.: C. J. Cleveland, Elsevier, 2004, pp. 695–706, DOI:10.1016/B0-12-176480-X/00371-5

37. Guo H. Physicochemical principles of hydrogen metallurgy in blast furnace, Journal of Iron and Steel Research International, vol. 31, pp. 46–63, February 2024, DOI:10.1007/s42243-023-01057-6

38. Yang L., Li Z., Hu H., Zou Y., Feng Z., Chen W., Chen F., Wang S., and Guo Y. Evaluation of energy utilization efficiency and optimal energy matching model of EAF steelmaking based on association rule mining, Metals, vol. 14, no. 4, pp. 458, April 2024, DOI:10.3390/met14040458

ДОДАТОК А

ЗАГАЛЬНА СХЕМА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА

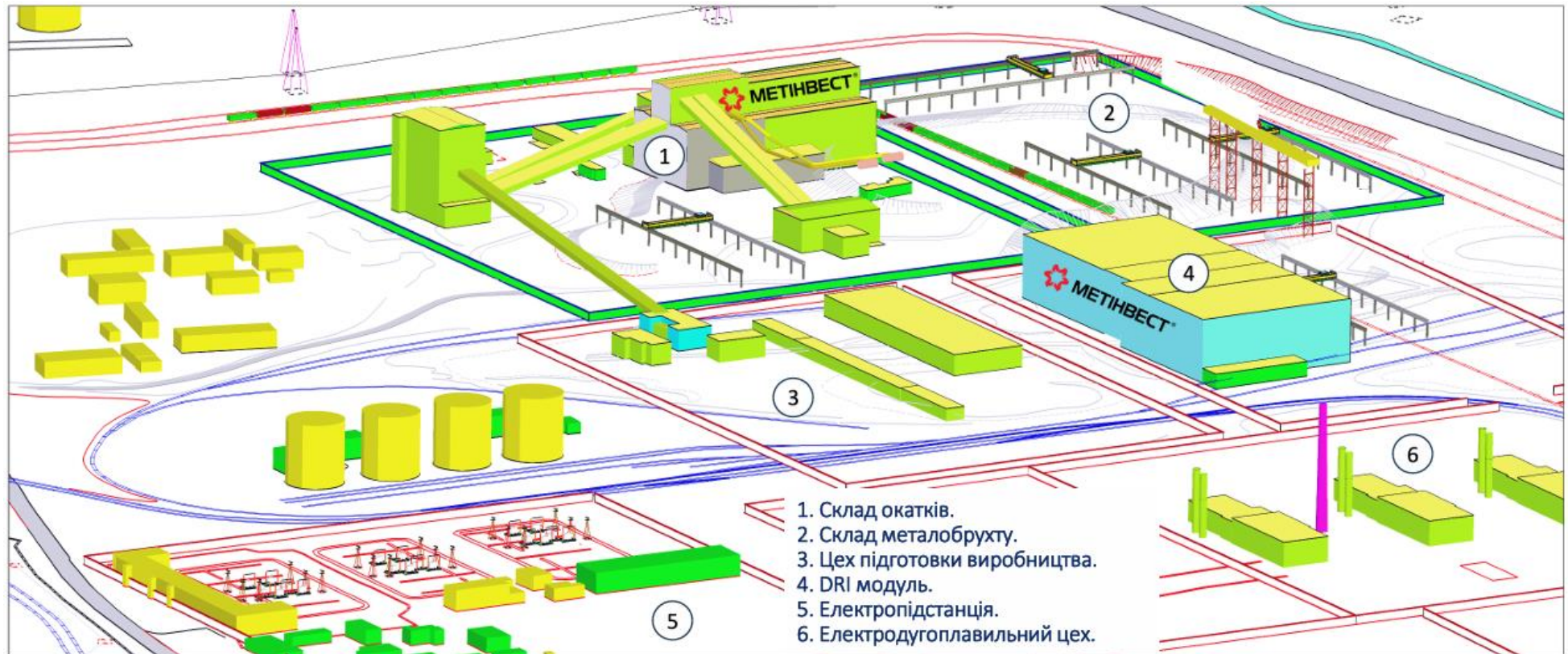


Рисунок А1 – Основний цикл виробництва

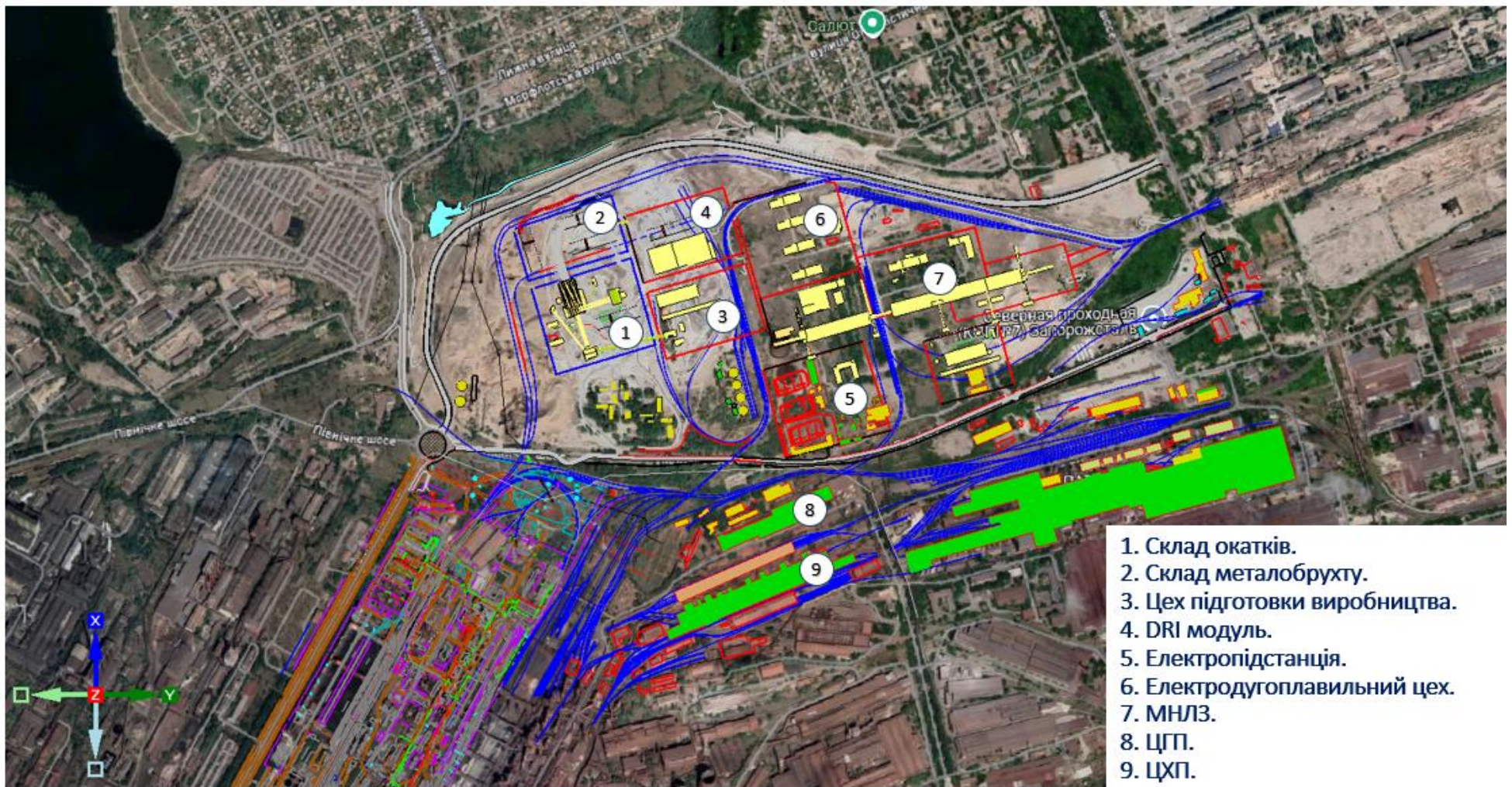


Рисунок А2 – Генеральний план нового виробництва