

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ ТА МАРКЕТИНГУ
КАФЕДРА МЕНЕДЖМЕНТУ ПІДПРИЄМСТВ**

«На правах рукопису»
УДК 658:005:004

До захисту допущено:
Завідувачка кафедри
_____ Вікторія ДЕРГАЧОВА
« 15 » _____ грудня 2025р.

**МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою
«Менеджмент і бізнес-адміністрування»
спеціальності 073 Менеджмент
на тему: «Управління цифровою трансформацією підприємства
для досягнення цілей сталого розвитку»**

Виконала:

здобувачка 2-го курсу, групи УВ-42мп
СОКОЛЕНКО Софія Сергіївна _____

Науковий керівник:

завідувачка кафедри менеджменту підприємств,
к.е.н., проф. ДЕРГАЧОВА Вікторія Вікторівна _____

Рецензент:

доцент кафедри міжнародної економіки,
к.е.н., доц. САВЧЕНКО Сергій Миколайович _____

*Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань*

Здобувачка _____

Київ – 2025 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ ТА МАРКЕТИНГУ
КАФЕДРА МЕНЕДЖМЕНТУ ПІДПРИЄМСТВ**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 073 Менеджмент

Освітньо-професійна програма «Менеджмент і бізнес-адміністрування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри

_____ Вікторія ДЕРГАЧОВА

« 01 » квітня 2025 року

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію здобувачці

СОКОЛЕНКО СОФІЇ СЕРГІЙВНІ

1. Тема дисертації «Управління цифровою трансформацією підприємства для досягнення цілей сталого розвитку»,

науковий керівник дисертації Дергачова Вікторія Вікторівна, к.е.н., проф.,
затверджені наказом по університету від 03.11.2025 р. № 4740-с.

2. Строк подання студенткою дисертації: 8 грудня 2025 року.

3. Об'єкт дослідження: процес цифрової трансформації промислового підприємства в контексті досягнення цілей сталого розвитку.

4. Предмет дослідження: концепції, моделі, методи та інструменти використання цифрової трансформації для покращення діяльності підприємства у сфері сталого розвитку.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

а) теоретико-методологічна частина:

- розкрити сутність, принципи та напрями сталого розвитку;
- визначити сутність цифрової трансформації підприємства, охарактеризувати її форми, моделі, інструменти та рівні цифрової зрілості;
- узагальнити теоретичні та науково-методичні підходи до оцінювання впливу цифрових технологій на економічні, екологічні, соціальні та цифрові показники сталого розвитку підприємства;

б) дослідницько-аналітична частина:

- надати організаційно-економічну характеристику діяльності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та визначити ключові фактори впливу на сталий розвиток підприємства;
- проаналізувати екологічні, соціальні та економічні показники діяльності підприємства за 2020-2024 рр.;
- оцінити рівень цифрової трансформації ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»;
- виявити проблемні аспекти, бар'єри та резерви у сферах цифрової трансформації та сталого розвитку підприємства.

в) проектно-рекомендаційна частина:

- обґрунтувати та сформулювати пріоритетні напрями цифрової трансформації ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» в контексті досягнення Цілей сталого розвитку;
- розробити портфель проєктів цифрової трансформації, спрямованих на удосконалення економічних, екологічних, соціальних і цифрових показників ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»;
- здійснити економічне обґрунтування запропонованих проєктів, провести розрахунки ефективності та ризик-орієнтовану оцінку їх реалізації;
- спрогнозувати результати впровадження проєктів та оцінити очікуваний вплив на подальший розвиток підприємства;
- розробити дорожню карту впровадження проєктів та надати рекомендації щодо їхньої реалізації.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу

- 1) Взаємозв'язок принципів сталого розвитку та відповідних напрямів цифрової трансформації;
- 2) Огляд різних міжнародних методик оцінки цифрової трансформації та зрілості підприємства;
- 3) Огляд основних напрямів цифрової трансформації та її інструментів;
- 4) Карта метрик Цілей сталого розвитку;
- 5) Модель сталого розвитку;
- 6) Структура виробництва ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»;
- 7) Динаміка основних фінансових показників операційної діяльності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за 2020-2024 рр.;
- 8) Напрями вдосконалення діяльності підприємства та їх ефект на аспекти сталого розвитку;
- 9) Огляд соціальних / економічних / екологічних показників для оцінки сталого розвитку на підприємстві;
- 10) Огляд показників цифрової трансформації (цифрових показників) для оцінки сталого розвитку на підприємстві;
- 11) Оцінка досліджуваних показників різних сфер сталого розвитку підприємства;
- 12) Оцінка впровадження різних інструментів цифрової трансформації на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

8. Дата видачі завдання: 28 березня 2025 року.

9. Календарний план

<i>№ з/п</i>	<i>Назва етапів виконання магістерської дисертації</i>	<i>Строк виконання етапів магістерської дисертації</i>	<i>Примітка</i>
1.	Збір необхідної інформації, вивчення та аналіз наукових джерел щодо досліджуваної тематики	28.02.2025– 30.04.2025	виконано
2.	Вивчення теоретико-методичних засад за обраною тематикою дослідження	01.05.2025 – 11.06.2025	виконано
3.	Аналіз діяльності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та концерну ArcelorMittal	01.09.2025 – 15.09.2025	виконано
4.	Аналіз екологічних, економічних та соціальних показників сталого розвитку ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Оцінка рівня цифрової трансформації та впровадження цифрових інструментів на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	16.09.2025 – 30.09.2025	виконано
5.	Підготовка та надання на перевірку другого розділу роботи	01.10.2025 – 11.10.2025	виконано
6.	Розроблення портфеля проєктів цифрової трансформації ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» для покращення показників сталого розвитку на підприємстві	12.10.2025 – 17.10.2025	виконано
7.	Обґрунтування розроблених практичних рекомендацій щодо реалізації цифрових проєктів та надання на перевірку третього розділу роботи	18.10.2025 – 21.11.2025	виконано
8.	Оформлення магістерської дисертації	22.11.2025 – 28.11.2025	виконано

Здобувачка

Софія СОКОЛЕНКО

Науковий керівник

Вікторія ДЕРГАЧОВА

РЕФЕРАТ

Соколенко С.С. Управління цифровою трансформацією підприємства для досягнення Цілей сталого розвитку – Кваліфікаційна робота на правах рукопису, містить 148 сторінок, 40 таблиць, 19 рисунків, 13 формул, 14 додатків. Перелік посилань нараховує 77 найменувань.

Актуальність теми зумовлена постійним загостренням екологічних та соціальних викликів, перед якими постає сучасне суспільство, в умовах швидкого поширення цифрових технологій під час четвертої промислової революції. Цифрова трансформація стає наразі не лише засобом підвищення продуктивності підприємства, а й ключовим інструментом реалізації Цілей сталого розвитку, оскільки традиційні виробничі моделі вже не відповідають сучасним вимогам до ефективності, екологічності та гнучкості управління. Для України питання цифровізації промисловості є особливо актуальним через наслідки війни, зношеність інфраструктури, дефіцит ресурсів і необхідність відповідати екологічним та соціальним стандартам Європейського Союзу. ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» як провідне металургійне підприємство країни відчуває потребу одночасно модернізувати виробництво, зменшувати негативний вплив на довкілля та підвищувати економічну стійкість. Цифрова трансформація у цьому випадку виступає не просто технічним оновленням, а стратегічним напрямом розвитку підприємства. Її розгляд як інструмента досягнення Цілей сталого розвитку дозволяє поєднати економічну ефективність, соціальну відповідальність та екологічну безпеку.

Зв'язок роботи із науковими програмами, планами та темами. Магістерську дисертацію на здобуття ступеня магістра виконано в Національному технічному університеті України «КПІ імені Ігоря Сікорського» (м. Київ) відповідно до планів науково-дослідних робіт кафедри менеджменту підприємств за темою «Стратегічне управління відновленням економіки України» (ДР 0123U101596).

Метою роботи є теоретичне обґрунтування цифрової трансформації підприємства як інструмента досягнення Цілей сталого розвитку та формування, оцінювання і впровадження проєктів цифрової трансформації задля покращення сталого розвитку підприємства на прикладі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Поставлена мета роботи обумовила необхідність вирішення таких **завдань**:

- розкрити сутність та принципи сталого розвитку та цифрової трансформації підприємства;
- узагальнити інструменти та методологічні підходи до оцінювання впливу цифрової трансформації на економічні, екологічні та соціальні показники сталого розвитку;
- надати характеристику діяльності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та оцінити його прогрес у сфері сталого розвитку;
- проаналізувати рівень цифрової трансформації підприємства та визначити наявні бар'єри та проблеми;
- сформулювати пріоритетні напрями цифрової трансформації для досягнення Цілей сталого розвитку підприємства;
- розробити та обґрунтувати проєкти цифрової трансформації для ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», оцінити їхню економічну доцільність та ефективність;
- розробити дорожню карту впровадження та систему моніторингу реалізації запропонованих проєктів.

Об'єктом дослідження є процес цифрової трансформації промислового підприємства в контексті досягнення цілей сталого розвитку.

Предметом дослідження є концепції, моделі, методи та інструменти використання цифрової трансформації для покращення діяльності підприємства в сфері сталого розвитку.

База дослідження – ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

У магістерській роботі було використано такі **методи дослідження**: аналіз та узагальнення наукової літератури, порівняльний аналіз,

систематизація та кваліфікація, метод логічного моделювання, статистичний аналіз (варіаційний, структурний, динамічний), графічне відображення інформації (для побудови діаграм, тенденцій, прогнозів), розрахунок індексів та коефіцієнтів, метод експертних оцінок, системний аналіз, розрахунок інтегрального показника, економічне обґрунтування, метод імовірнісного підходу до ризиків (для побудови матриці).

Наукова новизна дослідження полягає у формуванні комплексного підходу до використання цифрової трансформації як основного інструмента досягнення Цілей сталого розвитку промислового підприємства. Запропонований підхід відрізняється від наявних тим, що розширює класичну модель сталого розвитку до чотиривимірної, у якій цифрова трансформація виступає самостійним виміром та інтегрованим механізмом забезпечення економічних, екологічних й соціальних цілей сталого розвитку. У роботі розвинуто методичний підхід до оцінювання впливу цифровізації на сталий розвиток підприємства та удосконалено підхід до формування портфеля цифрових проєктів з урахуванням економічного, екологічного, соціального ефектів і рівня цифрової зрілості підприємства.

Практичним значенням є розробка проєктів цифрової трансформації та дорожньої карти їхнього впровадження, що дає можливість ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» підвищити свою економічну ефективність, а також поліпшити екологічні, соціальні й цифрові показники своєї діяльності.

Апробація результатів роботи: сутність роботи було представлено на IX міжнародній науково-практичній конференції: «Менеджмент XXI століття: глобалізаційні виклики» (Полтава, травень 2025). Тези на відповідну тему було опубліковано в матеріалах конференції: Менеджмент XXI століття : глобалізаційні виклики : матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції, 15 травня 2025 р. Полтава : ПДАУ, 2025, с. 138-140. URL:

<https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/node/14465/maketzbirnyka2.pdf>.

Ключові слова: сталий розвиток, цифровізація, цифрова трансформація, інструменти цифрової трансформації, цифрова трансформація промислового підприємства, Індустрія 4.0, Цілі сталого розвитку, модель сталого розвитку, цифрові технології, управління сталим розвитком, цифрова зрілість, управління цифровою трансформацією.

ABSTRACT

Sokolenko S.S. Managing the Digital Transformation of an Enterprise for Achieving Its Sustainable Development Goals – Qualification thesis on manuscript rights, includes 148 pages, 40 tables, 19 figures, 13 formulas, 14 attachments. The bibliography list consists of 77 items.

The urgency of the topic is determined by the continuous intensification of environmental and social challenges faced by modern society, alongside the rapid dissemination of digital technologies driven by the Fourth Industrial Revolution. Digital transformation today is not only a means of increasing enterprise productivity but also a key instrument for achieving the Sustainable Development Goals, as traditional production models no longer meet modern requirements for efficiency, environmental performance, and managerial flexibility. For Ukraine, the digitalisation of industry is particularly important due to the consequences of the war, infrastructure deterioration, resource shortages, and the need to comply with the environmental and social standards of the European Union. PJSC “ArcelorMittal Kryvyi Rih,” as the leading metallurgical enterprise in the country, must simultaneously modernise production, reduce environmental impact, and enhance economic resilience. In this context, digital transformation serves not merely as a technological upgrade but as a strategic direction for enterprise development. Considering it as an instrument for achieving the Sustainable Development Goals makes it possible to integrate economic efficiency, social responsibility, and environmental safety.

The master’s thesis for the master’s degree was performed at the National Technical University of “Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky” in accordance with the research plans of the Department of Management on “Strategic Management of Ukraine’s Economic Recovery” (№ DR 0123U101596).

The **purpose** of this work is to theoretically substantiate digital transformation as an instrument for achieving the Sustainable Development Goals and to develop, evaluate, and implement digital transformation projects to

improve the sustainable development performance of the enterprise, using PJSC “ArcelorMittal Kryvyi Rih” as a case study.

The purpose of the work necessitated the solution of the following **tasks**:

- to identify the essence and principles of sustainable development and digital transformation of an enterprise;
- to determine tools and methodological approaches for assessing the impact of digital transformation on economic, environmental, and social indicators of sustainable development;
- to analyse the activities of PJSC “ArcelorMittal Kryvyi Rih” and assess its progress in sustainable development;
- to analyse the level of digital transformation at the enterprise and identify existing barriers and issues;
- to formulate priority directions for digital transformation aimed at achieving the enterprise’s Sustainable Development Goals;
- to develop and justify digital transformation projects for PJSC “ArcelorMittal Kryvyi Rih” and assess their economic feasibility and effectiveness;
- to develop a roadmap for implementation and a monitoring system for the proposed projects.

The **object** of the research is the process of digital transformation at an industrial enterprise in the context of achieving the Sustainable Development Goals.

The **subject** of the research are the concepts, models, methods, and tools for using digital transformation to improve enterprise performance in the sphere of sustainable development.

Research base – PJSC “ArcelorMittal Kryvyi Rih”.

The following research methods were used in the master’s thesis: analysis and synthesis of scientific literature, comparative analysis, systematisation and classification, logical modelling, statistical analysis, graphical representation of information, calculation of indices and coefficients, expert evaluation, system

analysis, integral indicator calculation, economic justification, and probabilistic risk assessment (matrix construction).

The **scientific novelty of the research** lies in the development of a comprehensive approach of using digital transformation as an instrument for achieving the Sustainable Development Goals at an industrial enterprise. The proposed approach differs from existing ones by extending the classical sustainable development model to a four-dimensional framework in which digital transformation is considered both an independent dimension and an integrated mechanism for achieving economic, environmental, and social sustainability objectives. The study further develops a methodological approach to assessing the impact of digitalization on the sustainable development of an enterprise and improves the approach to forming a portfolio of digital projects by taking into account their economic, environmental, and social effects as well as the level of digital maturity of the enterprise.

The **practical significance** is reflected in the development of digital transformation projects and a roadmap for their implementation, enabling PJSC “ArcelorMittal Kryvyi Rih” to increase economic efficiency and improve its environmental, social, and digital performance indicators.

The **results of the study** were presented at the 9th International Scientific and Practical Conference “Management of the 21st Century: Globalisation Challenges” (Poltava, May 2025). The corresponding thesis abstract was published in the conference proceedings: *Management of the 21st Century: Globalisation Challenges: Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference, May 15, 2025. Poltava: PDAU, 2025, pp. 138–140.* URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/node/14465/maketzbirnyka2.pdf>.

Keywords: *sustainable development, digitalisation, digital transformation, digital transformation tools, digital transformation of industrial enterprises, Industry 4.0, Sustainable Development Goals, sustainable development model, digital technologies, sustainable development management, digital maturity, digital transformation management.*

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АСУТП – автоматичні системи управління технічними процесами;
ООН – Організація Об'єднаних Націй;
ЦТ – цифрова трансформація;
ЦСР – Цілі сталого розвитку;
ШІ – штучний інтелект;
AI – Artificial Intelligence (штучний інтелект);
CRM – Customer Relationship Management (система управління взаємовідносинами з клієнтами);
ERP – Enterprise Resource Planning (система планування ресурсами підприємства);
HR – Human Resources (людські ресурси);
HRM – Human Resources Management (управління людськими ресурсами);
IIoT – Industrial Internet of Things (промисловий Інтернет речей);
IoT – Internet of Things (Інтернет речей);
LTI – Lost Time Injury (травма з втратою робочого часу);
LTIFR – Lost Time Injury Frequency Rate (частота травм з втратою робочого часу);
MES – Manufacturing Execution System (система управління виробничими процесами);
MRP – Material Requirements Planning (планування потреб у матеріалах);
PLC – Programmable Logic Controller (програмований логічний контролер);
SAP – Systems Applications and Products (корпоративна система управління ресурсами);
OEE – Overall Equipment Effectiveness (загальна ефективність обладнання);
SAP – Systems Applications, and Products in Data Processing (система управління даними);
SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition (система диспетчерського керування та збору даних);
SCM – Supply Chain Management (система управління ланцюгами постачання);
TMS – Transport Management System (система управління транспортом);
TRIR – Total Recordable Incident Rate (показник загальної частоти травматизму);
WACC – Weighted Average Cost of Capital (середньозважена вартість капіталу);
WMS – Warehouse Management System (система управління складом).

ЗМІСТ

ВСТУП	14
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЦИФРОВОЮ ТРАНСФОРМАЦІЄЮ ПІДПРИЄМСТВА В КОНТЕКСТІ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ	19
1.1 Концепція сталого розвитку: сутність, принципи та роль бізнесу в досягненні Цілей сталого розвитку	19
1.2 Цифрова трансформація підприємства: сутність, моделі, рівні цифрової зрілості.....	26
1.3 Методологічні підходи до оцінювання впливу цифрових технологій на показники сталого розвитку підприємства	34
Висновки до розділу 1	51
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ РІВНЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТА ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА (НА ПРИКЛАДІ ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ»)	53
2.1 Організаційно-економічна характеристика підприємства та ключові фактори впливу на сталий розвиток	53
2.2 Оцінка екологічних, соціальних та економічних показників сталого розвитку підприємства.....	66
2.3 Виявлення проблем і резервів використання цифрових технологій для досягнення Цілей сталого розвитку на підприємстві	71
Висновки до розділу 2	80
РОЗДІЛ 3 ФОРМУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЦИФРОВОЮ ТРАНСФОРМАЦІЄЮ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА ..	82
3.1 Обґрунтування пріоритетних напрямів цифрової трансформації у контексті Цілей сталого розвитку.....	82
3.2 Формування портфеля цифрових проєктів сталого розвитку та критерії їх відбору й пріоритизації.....	85
3.3 Економічне та ризик-орієнтоване обґрунтування впровадження цифрових ініціатив на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	90
Висновки до розділу 3	111
ВИСНОВКИ.....	113
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	116
ДОДАТКИ	124

ВСТУП

Актуальність. Початок ХХІ століття характеризується паралельним загостренням глобальних екологічних і соціальних викликів та стрімким розвитком цифрових технологій. З одного боку, світова спільнота офіційно зафіксувала на рівні ООН необхідність переходу до сталого розвитку, ухваливши у 2015-му році 17 Цілей сталого розвитку на період до 2030-го року. З іншого – триває четверта промислова революція (Індустрія 4.0), що базується на масовому впровадженні цифрових рішень: промислового інтернету речей, великих даних і штучного інтелекту, цифрових двійників, ERP/MES/SCM-систем, систем віддаленого моніторингу та аналітики в реальному часі. Для промислових підприємств це означає, що досягнення економічних результатів більше не може відокремлюватися від екологічної відповідальності та соціальної складової. Підприємства мають одночасно забезпечувати ресурсо- та енергоефективність, зменшення викидів, безпечні й гідні умови праці, недискримінаційне середовище та прозорі практики управління. Цифрова трансформація в такому контексті виступає не лише засобом підвищення продуктивності, а стратегічним інструментом досягнення цілей сталого розвитку – через точні вимірювання, оптимізацію процесів, автоматизацію небезпечних операцій і підтримку прийняття рішень на основі даних.

Для України питання поєднання цифрової трансформації та сталого розвитку є особливо актуальним через військові дії, пошкодження інфраструктури, зростання навантаження на енергосистему, необхідність відбудови та одночасне дотримання вимог ЄС у сфері кліматичної політики, декарбонізації, соціальної відповідальності бізнесу. ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» – один із найбільших металургійних комплексів країни – є яскравим прикладом підприємства, яке, з одного боку, має суттєвий вплив на

економіку та довкілля, а з іншого – змушене модернізувати виробництво, зменшувати викиди та ризики, розвивати безпечніші й «зелені» технології.

При цьому більшість існуючих досліджень розглядають або трикласичну модель сталого розвитку (економічний, екологічний, соціальний вимір), або цифрову трансформацію як окремий процес підвищення ефективності. Питання ж цифрової трансформації підприємства як інтегрованого інструмента досягнення цілей сталого розвитку, із виокремленням цифрової складової як четвертого виміру сталості, методикою вимірювання такого впливу та прикладними рішеннями на рівні конкретного підприємства, досліджені недостатньо. Це зумовлює високу наукову й практичну актуальність обраної теми магістерської роботи.

Мета та завдання дослідження. Метою магістерської роботи виступає теоретичне обґрунтування цифрової трансформації підприємства як інструмента досягнення Цілей сталого розвитку, а також формування, оцінювання та впровадження проєктів цифрової трансформації задля покращення сталого розвитку підприємства на прикладі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Для досягнення поставленої мети в роботі було поставлено такі **завдання**:

- розкрити теоретичні засади сталого розвитку, зокрема його сутність, принципи, напрями та роль у формуванні сучасної промислової політики;
- визначити сутність, значення та напрями цифрової трансформації підприємства, охарактеризувати її форми, моделі та ключові інструменти;
- проаналізувати різні методологічні підходи до оцінювання впливу цифровізації на економічні, екологічні, соціальні та цифрові показники сталого розвитку підприємств;

- надати загальну характеристику діяльності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», визначити виробничі, соціальні, екологічні та економічні особливості діяльності підприємства;
- оцінити поточний стан цифрової трансформації та вплив діяльності підприємства на Цілі сталого розвитку, проаналізувати відповідні показники та тенденції;
- ідентифікувати проблемні аспекти та бар'єри у сферах сталого розвитку та цифрової трансформації, що обмежують ефективність діяльності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»;
- сформулювати пріоритетні напрями цифрової трансформації, орієнтовані на досягнення Цілей сталого розвитку та запропонувати найбільш актуальні проекти цифрової трансформації;
- обґрунтувати економічну ефективність та здійснити ризик-орієнтовану оцінку запропонованих проектів, визначити їхній вплив на діяльності підприємства та доцільність упровадження;
- розробити дорожню карту впровадження проектів цифрової трансформації, а також систему моніторингу їх реалізації та оцінювання результатів.

Об'єктом дослідження виступає процес цифрової трансформації промислового підприємства в контексті досягнення Цілей сталого розвитку.

Предмет дослідження є концепції, моделі, методи та інструменти використання цифрової трансформації для покращення діяльності підприємства у сфері сталого розвитку.

База дослідження – ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Методи дослідження. Під час написання даної роботи було використано сукупність загальнонаукових та спеціальних методів пізнання, а саме: аналіз та узагальнення наукової літератури, порівняльний аналіз, систематизація та кваліфікація, метод логічного моделювання, статистичний аналіз (варіаційний,

структурний, динамічний), графічне відображення інформації (побудова діаграм, тенденцій, прогнозів), розрахунок індексів та коефіцієнтів, метод експертних оцінок, системний аналіз, розрахунок інтегрального показника, економічне обґрунтування, метод імовірнісного підходу до ризиків (побудова матриці).

Наукова новизна дослідження полягає у розробці теоретичних положень, наданні методичних та практичних рекомендацій щодо використання цифрової трансформації як інструмента досягнення Цілей сталого розвитку на промисловому підприємстві. Найбільш **вагомі наукові результати** полягають в наступному:

- уточнено зміст і структуру концепції сталого розвитку промислового підприємства шляхом переходу від класичної тривимірної моделі (економічна, екологічна, соціальна складові) до чотиривимірної моделі, у якій цифрова трансформація розглядається як самостійний вимір та одночасно інтегрований інструмент досягнення всіх інших складових сталості;
- розвинуто методичний підхід до оцінювання впливу цифровізації на сталий розвиток підприємства, що передбачає формування карти метрик Цілей сталого розвитку, систему показників для економічної, екологічної, соціальної та цифрової сфер, а також ув'язку цих показників із джерелами даних (ІоТ-сенсори, MES, ERP, HSE-системи тощо) та корпоративною звітністю підприємства;
- удосконалено підхід до формування портфеля цифрових проєктів, орієнтованого на досягнення ЦСР, шляхом запровадження системи критеріїв пріоритизації (економічна результативність, екологічний та соціальний ефект, відповідність національним Цілям сталого розвитку, рівень цифрової зрілості підприємства) та механізму оцінки синергії між окремими цифровими ініціативами;

- запропоновано концептуальну модель використання цифрової трансформації як інструмента досягнення Цілей сталого розвитку ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», яка включає: ідентифікацію релевантних Цілей сталого розвитку для підприємства; побудову відповідної системи показників; відбір і структурування цифрових проєктів за напрямками Big Data & AI, IoT, цифрових двійників, ERP/MES/SCM; інтеграцію результатів впровадження в систему KPI та управлінські цикли підприємства.

Інформаційна база дослідження включає законодавчі та нормативно-правові акти України та ЄС, міжнародні стандарти сталого розвитку, матеріали офіційної звітності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та концерну ArcelorMittal, публічні наукові дослідження українських та зарубіжних вчених, оперативна інформація з Інтернет-ресурсів.

Практична значущість полягає у розробленні проєктів цифрової трансформації та дорожньої карти їхнього впровадження, що дає можливість ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» підвищити свою економічну ефективність, а також поліпшити екологічні, соціальні й цифрові показники своєї діяльності.

Структура та розмір роботи. Магістерська дисертація складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 148 сторінки. Робота містить 40 таблиць, 19 рисунків і 13 формул. Список використаних джерел нараховує 77 найменувань.

Апробація результатів роботи. Основні положення магістерської дисертації було обговорено на IX міжнародній науково-практичній конференції: «Менеджмент XXI століття: глобалізаційні виклики» (Полтава, травень 2025). Тези було опубліковано в матеріалах конференції: Менеджмент XXI століття : глобалізаційні виклики : матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції, 15 травня 2025 р. Полтава : ПДАУ, 2025, с. 138-140. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/node/14465/maketzbirnyka2.pdf>.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЦИФРОВОЮ ТРАНСФОРМАЦІЄЮ ПІДПРИЄМСТВА В КОНТЕКСТІ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

1.1 Концепція сталого розвитку: сутність, принципи та роль бізнесу в досягненні Цілей сталого розвитку

Згідно зі звітом Організації Об'єднаних Націй «Наше спільне майбутнє» (жовтень 1987 р.), сталий розвиток – це «розвиток, який задовольняє потреби теперішнього покоління, не ставлячи під загрозу спроможність майбутніх поколінь задовольняти власні потреби»[1].

У цілому, визначення сталого розвитку ґрунтується на двох ключових концепціях:

- на понятті «потреб», з особливим акцентом на нагальні потреби бідних верств населення, яким має надаватися пріоритет;
- на ідеї «обмежень», зумовлених рівнем розвитку технологій та станом соціальної організації, що впливають на здатність довкілля забезпечувати теперішні й майбутні потреби.

Задоволення базових і нагальних потреб охоплює, зокрема, потреби в їжі, питній воді, житлі, одязі, безпеці, зайнятості та стабільному доході, але цим не вичерпується. Бідність і нерівність підвищують ризики екологічних, соціальних, економічних та інших криз. Життя, що виходить за межі суто базових потреб, є сталим лише за умови відповідності довготривалим стандартам сталості.

У випадку невідновлюваних ресурсів (викопне паливо, корисні копалини) їх використання зменшує запаси, доступні майбутнім поколінням. Це не означає повну відмову від них; однак темпи виснаження мають

ураховувати критичність ресурсу, наявність технологій для мінімізації виснаження та ймовірність появи прийнятних замінників. Земля і пов'язані з нею екосистеми не повинні деградувати понад розумні межі відновлення. Для мінеральної сировини та викопного палива темпи використання, а також акцент на переробленні й ощадливому споживанні мають бути скориговані так, щоб ресурс не було вичерпано раніше, ніж з'являться ефективні альтернативи. Сталий розвиток вимагає обмеження темпів виснаження невідновлюваних ресурсів таким чином, щоб мінімізувати втрату майбутніх можливостей.

Так звані «безкоштовні блага» – повітря і вода – також є ресурсами. У виробничих процесах лише частка сировини та енергії перетворюється на корисну продукцію; решта переходить у відходи. Сталий розвиток передбачає мінімізацію негативного впливу на якість повітря, води та інших природних компонентів з метою збереження цілісності екосистем.

Існує велике різноманіття понять сталого розвитку, які були надані до цього (табл. 1.1), однак в межах даної роботи ми будемо розглядати визначення сталого розвитку як керований портфель ініціатив цифрової трансформації (надалі – ЦТ), спрямованих на вимірюване зниження екологічних і соціальних ризиків та зростання економічної цінності, що інтегровано у процеси і систему KPI (англ. *Key Performance Indicators*) підприємства.

Сталий розвиток у цифрову добу має враховувати, що цифрові технології не просто супроводжують розвиток, а виступають його інтегрованою складовою, тобто управління цифровою трансформацією підприємства може бути стратегічним засобом для досягнення сталості[2].

Для досягнення сталості мають бути встановлені вимірювані цілі. Їх конфігурація різниться між країнами та регіонами залежно від рівня розвитку, масштабів бідності, екологічного стану, наслідків війни, гуманітарних викликів тощо; з часом цілі актуалізуються. Глобальні Цілі сталого розвитку

(надалі – ЦСР) ухвалено у 2015-му році на період до 2030-го року, вони включають 17 цілей і 169 завдань.

Таблиця 1.1. – Огляд визначень сталого розвитку, наданих різними сучасними українськими науковцями

Автор(и)	Визначення	Джерело
Бездетко К., Серьогіна Д.	«...В Україні сталий розвиток – це не лише стратегічний дискурс, а й прагнення сформувати довготривалий вектор модернізації в умовах трансформаційного суспільства, децентралізації, війни та євроінтеграційного поступу. На цьому етапі концепція постає як інструмент не лише розвитку, а й відновлення, адаптації, безпеки й єдності.»	«Сталий розвиток: еволюція підходів до визначення та сучасні інтерпретації». Економіка та суспільство, № 76 (2025)[3]
Сабовчик А., Попович А.	«Сталий розвиток визначено як цілеспрямований процес, спрямований на гармонізацію трьох основних компонентів: соціального, економічного та екологічного. Його мета полягає у створенні умов, які забезпечують ефективне використання ресурсів, збереження природного середовища та високий рівень якості життя для нинішнього і майбутніх поколінь.»	«Визначення поняття та цілі сталого розвитку». Вісник права УжНУ, 2024[4]
Васильєва О., Васильєва Н.	«...сталий розвиток – це регульований процес гармонізації соціальних, економічних і екологічних складових продуктивних сил, спрямованих на використання, збереження та поетапне відновлення цілісності природного середовища, створення можливостей та досягнення високої якості життя людей.»	«Концептуальні засади сталого розвитку територіальних громад». Інвестиції: практика та досвід, №8 (2018)[5]
Самофатова В.	«...сталий розвиток – це холістичний (цілісний) процес збалансованого розвитку соціально-економічної і екологічної складових, спрямованих на ефективне використання ресурсного потенціалу, зміну споживчого менталітету та досягнення відповідної якості життя людей як у теперішньому, так і у майбутньому час.»	«Сталий розвиток агропродовольчої сфери регіону: теорія, методологія, управління. Монографія». Одеса. Астропринт (2017)[6]
Лелеченко А.	«...сталий розвиток – це процес якісних змін, що передбачає збалансування інтересів людини, суспільства і держави в поточному і майбутньому періодах на засадах досягнення в динаміці економічної ефективності, фінансової стійкості, економічного зростання та розвитку екологічної і соціальної підсистеми суспільства та, як наслідок, макросистем вищого рівня, з урахуванням раціональних обмежень, що накладаються національною безпекою, і впливу чинників зовнішнього середовища.»	«Феномен поняття “Сталий розвиток”». Електронний журнал «Державне управління: удосконалення та розвиток, № 12 (2017)[7]

Джерело: створено авторкою на основі [3-7]

Розглянемо більш детально перелік цілей, зазначених в Указі Президента № 722/2019 від 30-го вересня 2019-го року:

- подолання бідності;
- подолання голоду, досягнення продовольчої безпеки, поліпшення харчування та сприяння сталому розвитку сільського господарства;
- забезпечення здорового способу життя та сприяння благополуччю для всіх у будь-якому віці;
- забезпечення всеохоплюючої й справедливої якісної освіти та заохочення навчання впродовж життя;
- забезпечення гендерної рівності, розширення прав і можливостей усіх жінок і дівчат;
- забезпечення доступності та сталого управління водними ресурсами й санітарією;
- забезпечення доступу до недорогих, надійних, стійких і сучасних джерел енергії для всіх;
- сприяння поступальному, всеохоплюючому та сталому економічному зростанню, повній і продуктивній зайнятості та гідній праці для всіх;
- створення стійкої інфраструктури, сприяння всеохоплюючій і сталій індустріалізації та інноваціям;
- скорочення нерівності;
- забезпечення відкритості, безпеки, життєстійкості й екологічної стійкості міст та інших населених пунктів;
- забезпечення переходу до раціональних моделей споживання і виробництва;
- ужиття невідкладних заходів щодо боротьби зі зміною клімату та її наслідками;
- збереження та раціональне використання океанів, морів і морських ресурсів в інтересах сталого розвитку;

- захист і відновлення екосистем суші та сприяння їх раціональному використанню, сталому лісокористуванню, боротьбі з опустелюванням, зупинення деградації земель і втрати біорізноманіття;
- сприяння побудові миролюбного й відкритого суспільства, доступу до правосуддя для всіх і створенню ефективних, підзвітних та інклюзивних інституцій;
- зміцнення засобів реалізації і активізація глобального партнерства для сталого розвитку[9].

Цілі сталого розвитку України до 2030-го року визначено орієнтирами для розроблення проектів прогностичних і програмних документів та нормативно-правових актів з метою збалансування економічного, соціального та екологічного вимірів сталості. Перелік конкретних завдань і показників наведено у документі № 1190-р від 29-го листопада 2024-го року[10].

Спробуємо тепер структурувати ЦСР відповідно до 1) національних завдань щодо досягнення ЦСР та 2) пропонований варіант виконання кожного з поставлених завдань на підприємстві, яке розглядається. Результати наведено в таблиці А.1 додатку А. Таким чином стає зрозуміло, що кожне завдання відповідає покращенню певного показника, кожен з яких, в свою чергу, відноситься до певної ЦСР та відповідає сформульованому національному завданню. Покращення кожного показника має вплив на відповідні сфери: на соціальну, екологічну та економічну, причому остання несе найбільшу вигоду для підприємства. Відповідні виміри економічної сфери, такі як енергоефективність, використання води та утилізація відходів, інтенсивність викидів CO₂, безпека праці, а також показники оцінювання кожного з наведених вимірів відображено в таблиці 1.2. Окремо розписуємо також вплив кожного показника на довкілля та суспільство і рівень значущості (високий, середній або помірний) для ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Таблиця 1.2. – Виміри економічної складової сталого розвитку

Вимір	Показник оцінювання	Вплив на довкілля / суспільство	Рівень значущості для підприємства
Енерго-ефективність	ККД, енерго-споживання / тонну сталі	Підвищення енергоефективності виражається у виробленні більшої кількості ресурсів за допомогою тієї ж кількості енергії, що зменшує кількість викидів, особливо якщо енергія здобувається із викопного палива.	Високий, оскільки вартість виробництва є важливим фактором для рентабельності підприємства, оскільки низька енергоефективність є економічно не вигідною.
Використання води	тонна води / тонну сталі	Високе споживання води виснажує водні ресурси через що деградує водні екосистеми, а також після використання води стає вірогідним забруднення цих водних об'єктів стічними водами, що у свою чергу може мати негативний вплив не лише на екологічну ситуацію в регіоні, а також і на здоров'я людей, які споживають цю воду.	Середній, оскільки підприємства мають звертати увагу не лише на вартість води, а також і на регуляторні обмеження щодо забору води та забруднення водою і ґрунтів стічними водами.
Використання сировини / Утилізація відходів	тонни / тонни	З точки зору невикористаної сировини, зменшення відходів спричиняють зменшення видобутку викопних копалин. Якщо утилізується (частково) готова продукція, а не сировина, то також варто враховувати затрачені ресурси на його виробництво. З точки зору утилізації відходів, вони можуть виснажувати ґрунти, а при спалюванні – забруднювати повітря.	Високий, оскільки в залежності від матеріалоемності сировини, формується менше або більше відходів. Для підприємства важливо утворювати якомога менше відходів, тому що невикористана сировина несе економічні збитки, а висока кількість відходів потребує подальших дій від підприємства по їхній утилізації, що також несе додаткові грошові витрати.
Інтенсивність викидів CO ₂ , CO ₂ e, NO _x , SO _x)	тонна газу / тонну сталі	Зменшення викидів позитивно впливає на атмосферу, оскільки якщо це викиди парникових газів, то зменшується ефект на зміну клімату, а якщо це інші шкідливі гази, то так можна забезпечити зменшення ще більш негативних впливів на навколишнє середовище.	Середній, оскільки обмеження на викиди існує лише у вигляді регулювання: ліцензії на викиди парникових газів, норми та штрафи за викиди інших шкідливих газів.

Продовження таблиці 1.2

Вимір	Показник оцінювання	Вплив на довкілля / суспільство	Рівень значущості для підприємства
Безпека праці	кількість травматич-них випадків, LTIFR, TRIR	Зменшення травматичних випадків позитивно впливає на здоров'я працівників у галузі та результативність роботи.	Високий, оскільки процес пошуку та підготовки кадрів доволі складний та затратний (і в часовому, і в грошовому вимірах) для підприємства. Втрата та поранення працівників є не лише не вигідним через вкладені ресурси в них, а ще через складність їхньої заміни. До того ж, підприємству потрібно сплачувати грошові компенсації травмованому співробітнику чи його родичам.

Джерело: побудовано авторкою на основі [13-16]

За допомогою таблиці 1.2 ми можемо зорієнтуватися під час подальшого дослідження, як кількісно вимірювати вплив діяльності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» на різні сфери сталого розвитку (наприклад, оцінювати вплив від операційної діяльності підприємства на зміну клімату за допомогою розрахунку кількості викидів CO₂e), а також наочно продемонструвати, який результат нам можуть принести запропоновані проєкти з цифрової трансформації підприємства задля досягнення ЦСР.

Окрім цього, орієнтуючись на рівень значущості кожного з вимірів, ми можемо визначити, яким аспектам та сферами потрібно надавати пріоритет: у нашому разі це – енергоефективність підприємства, використання сировини та безпека праці на робочому місці.

У цілому, розвиток сучасних технологій наразі часто позиціонується як сталий, і одним з типових прикладів виступають цифрові технології. В останні роки все більшої уваги набирає Четверта індустріальна революція (або ж по-іншому кажучи «Індустрія 4.0», «Четверта промислова революція»), яка, на відміну від минулих, вирішує також екологічні проблеми, а не лише соціальні та насамперед економічні.

1.2 Цифрова трансформація підприємства: сутність, моделі, рівні цифрової зрілості

Почемо з визначення самої цифрової трансформації. Існують різні поняття, пов'язані з нею, такі як автоматизація, оцифрування або ж диджиталізація та цифровізація, тому розглянемо кожне з них більш детально.

Автоматизація – це процес впровадження технологій для виконання окремих операцій чи процесів швидше, дешевше та з меншою кількістю помилок. Її мета – підвищення операційної ефективності без зміни бізнес-моделі та загальної стратегії[17].

Оцифровування або диджиталізація – це процес перетворення інформації у форму, придатну для автоматичного зчитування і оброблення комп'ютерною технікою[18-19].

Цифровізація – це предметна дія (процес), пов'язана з цифровими технологіями[20].

У свою чергу цифрова трансформація – це діяльність, що має на меті використання цифрових технологій для вирішення традиційних проблем інноваційними способами[21-22].

Отже, можна підсумувати, що цифрова трансформація – це стратегічна, комплексна зміна логіки функціонування підприємства, що може зумовити появу нових продуктів і послуг, каналів взаємодії з клієнтами, методів управління та джерел створення вартості. Вона часто включає етапи автоматизації, але суттєво виходить за їхні межі, охоплюючи процеси, структури, культуру та бізнес-модель. Тобто цифрова трансформація – глибший і значно значущіший процес, ніж проста автоматизація окремих завдань: вона може містити автоматизацію, але не обмежується лише нею[23].

Для забезпечення економічного зростання та інноваційного розвитку промислові підприємства впроваджують новітні цифрові технології. Триває

четверта промислова революція; компанії, які швидше адаптують ці рішення, отримують конкурентні переваги. Важливо, що ці технології водночас сприяють екологічній ефективності та зменшенню участі людей у небезпечних виробничих операціях.

Розглянемо тепер основні напрями цифрової трансформації (табл. 1.3):

1) Великі дані (англ. *Big Data*) та штучний інтелект (надалі – ШІ або AI від англ. *Artificial Intelligence*).

Зростання обсягів даних і розвиток алгоритмів дозволяють прискорювати відкриття нових матеріалів і процесів у матеріалознавстві (актуально для металургії), підвищувати енергоефективність і екологічність технологічних маршрутів, здійснювати прогнозне обслуговування обладнання та автоматичне виявлення несправностей. Системи машинного зору допомагають розпізнавати небезпечні ситуації й запобігати травматизму.

2) Промисловий Інтернет речей (IIoT, від англ. *Industrial Internet of Things*)

Мережі датчиків збирають дані про стан доменних і сталеплавильних печей, прокатних станів, пресів, а також про умови на видобувних об'єктах (температура, тиск, склад повітря, освітленість тощо). Дані надходять до хмарної (або периферійної) інфраструктури для оброблення й прийняття рішень; команди повертаються на актуатори, що здійснюють керувальні дії – зокрема в важкодоступних чи небезпечних зонах[24].

3) Цифрові двійники (англ. *Digital Twins*)

Віртуальні моделі реальних об'єктів, процесів або систем, що функціонують на базі даних із датчиків, IIoT, AI та хмарних обчислень. Вони забезпечують моніторинг, аналіз і оптимізацію в реальному часі, пришвидшують експерименти «у цифрі», знижують вартість і ризики порівняно з реальними випробуваннями, прискорюють інновації та зменшують екологічний слід[25].

Загалом, впровадження рішень Індустрії 4.0 є не лише інноваційним і економічно вигідним (зростання ефективності та енергоефективності), а й суспільно значущим – скорочує участь людей у небезпечних процесах і допомагає компенсувати дефіцит кваліфікованих кадрів.

Таким чином, цифрова трансформація сприяє: зниженню споживання ресурсів (енергії, сировини, води) завдяки точнішому керуванню процесами; оптимізації виробничих процесів (зменшення простоїв, браку, втрат і відходів); підвищенню безпеки праці через моніторинг, прогнозування ризиків і роботизацію небезпечних операцій.

Таблиця 1.3. – Огляд основних напрямів цифрової трансформації та її інструментів

Напрямок цифрової трансформації	Головна ідея напрямку	Ключові інструменти та технології
Big Data та штучний інтелект (AI)	Використання великих масивів даних і алгоритмів штучного інтелекту для оптимізації виробництва, прогнозування та підвищення безпеки	Машинне навчання, нейронні мережі, комп'ютерний зір, predictive & prescriptive analytics, алгоритми розпізнавання аномалій
Промисловий Інтернет речей (IIoT)	Створення мережі взаємопов'язаних сенсорів і пристроїв для збору даних у реальному часі та автоматизованого керування процесами	Сенсори температури, тиску, газів; PLC-контролери, edge computing, хмарні платформи, автоматизовані актуатори
Цифрові двійники (Digital Twins)	Побудова віртуальної моделі фізичного об'єкта чи процесу з можливістю моделювання, аналізу та оптимізації в реальному часі	3D-моделі обладнання, симулятори технологічних процесів, AI-моделі оптимізації, інтеграція з IIoT-сенсорами, хмарні аналітичні платформи
Віддалений моніторинг і доступ	Контроль технологічних процесів без фізичної присутності персоналу для оперативного реагування та підвищення безпеки	SCADA-системи, веб-дашборди, мобільні панелі управління, відеоаналітика
Аналітика для прийняття рішень (AI-driven analytics)	Використання моделей прогнозування, оптимізації та сценарного аналізу для підвищення якості управлінських рішень	Predictive analytics, prescriptive analytics, ризикові AI-моделі, алгоритми оптимізації
ERP-системи	Формування єдиного інформаційного середовища підприємства для управління ресурсами, фінансами і виробництвом	ERP (SAP, Oracle), MRP / MRP-II, MES, HRM-модулі
CRM-системи	Цифрове управління відносинами з клієнтами, аналітикою попиту та персоналізацією обслуговування	CRM-платформи, аналітика клієнтських даних, автоматизація комунікацій
SCM-системи (управління ланцюгами постачання)	Оптимізація постачання, складів і логістики, підвищення прозорості руху ресурсів	SCM-платформи, WMS, TMS, Lean / Just-in-Time, Big Data у прогнозуванні

Джерело: створено авторкою на основі [24, 26-27]

Наприклад, як світовий гравець ArcelorMittal (тобто якщо розглядати не підприємство в Україні, а концерн загалом) вже демонструє позитивні результати в різних сфері виробництва: приріст продуктивності, підвищення точності контролю, зниження браку, зростання задоволеності клієнтів і ефективності витрат, а також покращення якості та логістики[26].

Окрім цього, потрібно зазначити, що у ArcelorMittal є чітке та цілісне бачення цифровізації, яке включає імплементацію у виробництво IoT, Big Data та ШІ:

- IoT забезпечує збирання всіх цих даних і робить їх доступними для платформи Big Data; IoT-платформа ArcelorMittal у свою чергу дає змогу компанії керувати всіма пристроями;
- Big Data дає можливість отримувати цінність із величезних обсягів інформації; вона зберігає масиви даних, консолідує джерела, централізує інформацію та забезпечує зручний інтерфейс для доступу й використання цих даних;
- штучний інтелект (AI) досліджує дані, визначає закономірності та отримує нові інсайти, моделює поведінку та застосовує алгоритми оптимізації для перетворення цього на рекомендації. Результати цих дій формують нові дані, що замикає цикл онлайн-навчання та безперервного вдосконалення[28].

Наразі ж концерн активно інвестує в глобальну цифровізацію: створює «цифрове підприємство» (англ. *Digital Enterprise*), у якому всі функції (виробництво, логістика, постачання, обробка даних) об'єднані в єдину систему управління[29].

Якщо ж розглядати роль цифровізації в управлінні підприємством і виробничими процесами у цілому, то вона пропонує підприємствам наступні інструменти:

1) Віддалений доступ і моніторинг: системи дистанційного спостереження забезпечують постійний доступ до виробничих процесів, своєчасне виявлення відхилень і, де можливо, оперативне втручання без фізичної присутності персоналу.

2) Аналітика та AI у прийнятті рішень: моделі, навчені на історичних даних, підтримують прогнозування та сценарний аналіз, підвищуючи обґрунтованість управлінських рішень.

3) ERP-системи (від англ. *Enterprise Resource Planning*) формують єдину інтегровану базу даних підприємства, що охоплює фінанси, виробництво, логістику, персонал і постачання. Окрім цього, вони підтримують планування та облік ресурсів за допомогою MRP (англ. *Material Requirements Planning*) або MES (англ. *Manufacturing Execution System*), контроль витрат і собівартості, інтеграцію бухгалтерського та управлінського обліку, HR-модулі (кадровий облік, навчання).

4) CRM-системи (англ. *Customer Relationship Management*) забезпечують керовані взаємини з клієнтами: зберігання та аналіз даних, сегментацію, персоналізацію пропозицій, сервісну підтримку й оперативне реагування на звернення. Результат – підвищення лояльності, зростання продажів і зниження маркетингових витрат[27].

5) SCM-системи (англ. *Supply-Chain Management*) у свою чергу оптимізують ланцюги постачання: планування закупівель і робота з постачальниками, моніторинг запасів у реальному часі (Lean, Just-in-Time), управління транспортом і складами (WMS, англ. *Warehouse Management System*), прогнозування попиту й пропозиції із застосуванням Big Data та AI.

З огляду на вище зазначену інформацію, можна скласти таблицю відповідності між принципами сталого розвитку та відповідними напрямками цифрової трансформації, які можуть допомогти при подальшому досягненні ЦСР. Результати наведено в таблиці Б.1 додатку Б.

Задля виконання даних завдань потрібна реалізація конкретних проєктів, тому створюємо таблицю 1.4, в якій наводимо відповідні проєкти цифрової трансформації:

- 1) моделювання віртуальних доменних печей;
- 2) впровадження моніторингу відходів;
- 3) використання розумних доменних печей.

В таблиці також наводимо показники, які ці проєкти покращують, а також загальний опис екологічного, соціального та економічного впливів. Окрім цього додаємо стовпчик з переліком ЦСР, на які відповідний проєкт впливає.

Треба однак зазначити, що успіх цифрової трансформації підприємства залежить не лише від технологічних рішень, але й від здатності організації ефективно управляти людськими ресурсами та процесами змін, тому що саме людський капітал виступає рушійною силою для впровадження нових технологій. Навіть найбільш інноваційні рішення не забезпечують очікуваного ефекту без належного рівня прийняття, залученості з боку персоналу. Наприклад, дослідження McKinsey&Company показують, що понад 70% трансформаційних проєктів зазнають невдачі саме через недооцінку «людського фактору»[30].

Розглянемо цю проблему більш детально шляхом аналізу показників, які потрібно брати до уваги під час проведення ЦТ. Таким чином, одним із ключових показників в цьому разі виступає так званий «рівень впровадження» (англ. *Adoption rate*), тобто ступінь прийняття цифрових рішень працівниками. Високий рівень цього показника свідчить про швидку інтеграцію нових систем у щоденні робочі процеси, водночас низький рівень свідчить про ризик «цифрового опору» персоналу. Для підвищення ступеня прийняття застосовуються програми навчання, внутрішні комунікації, менторство, а також активне залучення співробітників на ранніх етапах впровадження змін.

Таблиця 1.4. – Огляд проєктів цифрової трансформації на діяльність підприємства на три сфери сталого розвитку та Цілі сталого розвитку

Проект цифрової трансформації	Показник, що покращується:	Екологічний вплив	Соціальний вплив	Економічний вплив	Ціль сталого розвитку
1) Моделювання віртуальних доменних печей	Питомі викиди газів ↓, матеріалоемність ↓, LTIFR ↓, TRIR ↓	Зменшення викидів в атмосферу; зменшення кількості сировини, що застосовуються	Зменшення шкоди, що наноситься працівникам в результаті взаємодії із доменною піччю, врівноваження жіночих та чоловічих ролей на виробництві	Скорочення витрат на сировину, економія на квотах CO ₂ , прискорення впровадження інноваційних технологій, зменшення кількості аварій	№5 ↑, 7 ↑, 8 ↑, 9 ↑, 13 ↑, 15 ↑
2) Впровадження моніторингу відходів	Частка вторинного використання відходів ↑, обсяг утилізованих відходів ↓	Зменшення шкоди навколишньому середовищу внаслідок утилізації відходів та видобутку сировини, яку переробка компенсує	Зменшення шкоди населенню поруч внаслідок утилізації відходів та видобутку сировини, яку переробка компенсує	Зниження витрат на утилізацію, отримання доходів від продажу вторинних ресурсів, зменшення витрат на закупівлю частину сировини	№7 ↑, 9 ↑, 13 ↑
3) Використання розумних доменних печей	Час простою печі ↓, якість сталі ↑, частка використаної сировини ↓, частка залученості людей ↓	Зменшення шкоди навколишньому середовищу; оптимізація часу роботи печі	Зменшення шкоди здоров'ю працівникам	Зменшення енергетичних витрат, зменшення втрат від простоїв, збільшення ціни готової продукції за рахунок покращення її якості, зменшення виробничого браку	№7 ↑, 8 ↑, 9 ↑, 13 ↑, 15 ↑

Джерело: складено авторкою на основі [1, 14, 31]

1.3 Методологічні підходи до оцінювання впливу цифрових технологій на показники сталого розвитку підприємства

Тепер перейдемо до карти метрик цілей сталого розвитку (табл. 1.5). Цей інструмент допоможе систематизувати та відобразити кількісні та якісні показники, які характеризують внесок впровадження цифрової трансформації на підприємстві у досягнення цілей сталого розвитку. Вона складається із стратегічних цілей ЦСР, ключових метрик, за якими здійснюється оцінка, перелік джерел чи пристроїв, за якими здійснюються вимір вказаних показників, а також звітність, в якій ці показники можуть бути знайдені[32-33].

Таблиця 1.5. – Карта метрик Цілей сталого розвитку

Ціль сталого розвитку	Вимір / Формула	Метрика	Індикатор
Зменшення викидів CO ₂ (Ціль №13)	Питомі викиди (інтенсивність викидів), темп скорочення викидів до 2030 р.	т CO ₂ на 1 т сталі, % скорочення викидів до 2030-го р.	ПоТ-сенсори на печах, системи газоаналізу, MES, цифрові двійники енергоспоживання
Енерго-ефективність виробництва (Цілі №7, 12)	Питоме енергоспоживання	КВт · год / т, м ³ газу або електроенергії на 1 тону сталі	ERP (SAP), SCADA, MES Energy Module, цифрові лічильники споживання
Сталий менеджмент відходів (Ціль №12)	Частка перероблених відходів = (Перероблені відходи / Загальний обсяг) × 100%, вторинне використання шлаку	% відходів, що йдуть на переробку; т шлаку, що було повторно використано	MES Waste Module, ПоТ-датчики на лініях сортування, модуль управління відходами в ERP
Збереження води (Ціль №6)	Питома водна інтенсивність, частка оборотної води (%)	м ³ використаної води на виробництво 1 т сталі; % повторно використаної води	IoT-сенсори на системах водоочищення, MES Water, SCADA
Оцифровка виробничих процесів	Частка автоматизованих процесів = (Оцифровані процеси / Всі процеси) × 100%	% процесів у ERP / MES; частка автоматизованих дашбордів	ERP (SAP), MES, Power BI, Tableau, SCADA

Продовження таблиці 1.5

Ціль сталого розвитку	Вимір / Формула	Метрика	Індикатор
Соціальна безпека і добробут працівників (Цілі №3, 8)	$LTIFR = (LTI \times 1\,000\,000) / \text{годин роботи,}$ $TRIR = (\text{Кількість інцидентів} \times 200\,000) / \text{Годин роботи}$	кількість травм; LTIFR; TRIR; % персоналу, охопленого e-learning	HSE-система, HRM-система, LMS
Гендерний баланс та інклюзія (Ціль №5)	$\text{Частка жінок у колективі} = (\text{Кількість жінок} / \text{Усього персоналу}) \times 100\%$	частка жінок у керівництві підприємства; % жінок на виробництві	HRM (SAP SuccessFactors)
Фінансова ефективність цифрових інвестицій	$ROI = \frac{(ЧП - I)}{I}$ $NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0$	ROI від цифрових проєктів (%), NPV «зелених» ініціатив (грн)	ERP (SAP FI/CO), аналітика Power BI, фінансові цифрові панелі (дашборди)

Джерело: складено авторкою на основі [32-35]

Отже, цифрова трансформація нерозривно пов'язана зі сталим інноваційним розвитком, тому реалізуючи цифрові проєкти можна покращити екологічну, економічну та соціальні складові підприємства та регіону в цілому, в якому це підприємство знаходиться.

Для оцінки цифровізації та сталого розвитку підприємства використовуються різні показники, які можна виміряти та порівняти. Як вже було розглянуто в попередніх підрозділах, сталий розвиток складається із екологічної, соціальної та економічної сфер. На рисунку 1.1 відображено класичну модель, на якій представлено економічні, соціальні та екологічні цілі.

Економічні цілі охоплюють підвищення продуктивності, економічну ефективність, ринкову стійкість та інвестиційну привабливість підприємства. Водночас екологічні цілі спрямовані на збереження природних ресурсів, зниження викидів, зменшення відходів та мінімізацію впливу на довкілля. А соціальні цілі включають безпеку праці, добробут працівників, гендерну рівність, розвиток персоналу і взаємодію з суспільством[8].

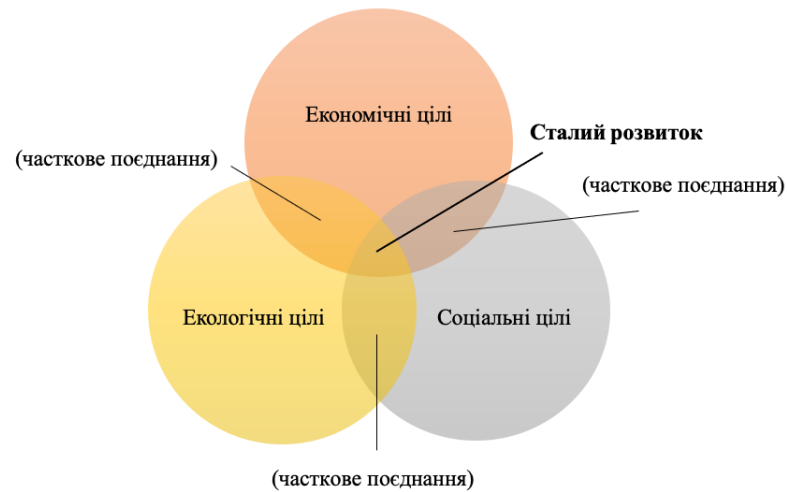


Рисунок 1.1. – Тривимірна модель сталого розвитку

Джерело: створено авторкою на основі [6]

Перетини «часткового поєднання», вказують на те, що у реальних умовах кожна пара сфер взаємодіє між собою та впливає одна на одну, в той самий час як центральна зона, де всі три кола накладаються, позначає сталий розвиток – тобто повну взаємодію, коли економічні, екологічні та соціальні пріоритети досягаються одночасно та збалансовано.

Таким чином, з рисунка 1.1 ще раз стає зрозуміло, що сталий розвиток є результатом інтеграції трьох сфер, а його досягнення можливе лише за умови їхнього взаємного узгодження. Однак, потрібно розуміти, що в умовах сучасності просто неможливо досягти ані економічного, ані екологічного, ані соціального розвитку без цифрової трансформації, а отже, цифрові технології виступають не просто допоміжним елементом, а необхідною структурною основою (рис. 1.2). для реалізації цілей сталого розвитку.

Потрібно розуміти, що цифрова трансформація впливає на кожну сферу сталого розвитку: вона дозволяє підвищувати продуктивність і ресурсоефективність (вплив на економічну сферу), забезпечувати мінімізацію впливу на довкілля через точні вимірювання та оптимізацію процесів (вплив на екологічну сферу), а також створює безпечніші умови праці, доступ до навчання та інклюзивний розвиток персоналу (вплив на соціальну сферу).

Таким чином цифрова трансформація стає не окремим компонентом сталого розвитку, а його фундаментальною умовою та інструментом реалізації.

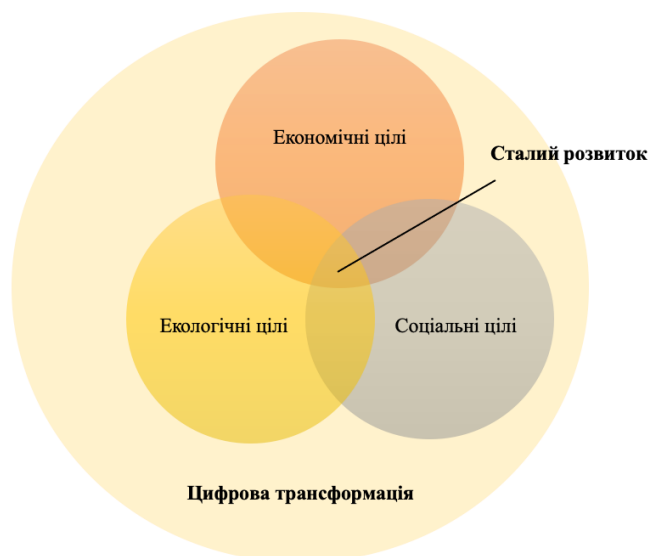


Рисунок 1.2. – Чотиривимірна модель сталого розвитку

Джерело: розроблено авторкою на основі рис. 1.1 [6]

Рисунки 1.1 та 1.2 демонструють еволюцію моделі сталого розвитку від тривимірної (до якої входять економіка, екологія та соціум) до модернізованої чотиривимірної, у якій цифровізація виступає основою для досягнення економічних, екологічних та соціальних цілей сталого розвитку.

У свою чергу всі сфери сталого розвитку вимірюються відповідними показниками, щоб оцінити наявні результати діяльності підприємства в кожній. Для початку розглянемо екологічні показники (табл. 1.6).

Таблиця 1.6. – Огляд екологічних показників для оцінки сталого розвитку на підприємстві на прикладі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Екологічний показник	Опис	Вимір
Ресурсоємність	Показує, скільки природних ресурсів підприємство витрачає для виробництва певної маси сталі.	т сировини / т сталі
1) Енергоємність	Відображає витрати енергії на виробництво продукції; складається з: а) загальної енергії та б) питомої енергії на 1 тону сталі.	кВт·год / т сталі
2) Електроємність	Показує кількість електроенергії, витраченої на виготовлення тонни продукції.	МВт·год / т сталі

Продовження таблиці 1.6

Екологічний показник	Опис	Вимір
3) Матеріалоемність	Показує, скільки маси сировини необхідно для отримання 1 тонни сталі.	т сировини / т сталі
Інтенсивність викидів	Показує кількість парникових газів та інших шкідливих речовин, які підприємство викидає під час виробництва.	т CO ₂ e / т сталі
Водовикористання	Відображає використання та втрати води під час виробництві сталі.	м ³ / т сталі або % повторного використання води
Втрати води	Показує кількість води, яку підприємство забирає з природних джерел або від постачальника для виробничих потреб.	м ³ / т сталі

Джерело: створено авторкою на основі [13-14]

Серед екологічних показників звертаємо увагу перш за все на різні підвиди ресурсоемності, яка демонструє, скільки відповідних ресурсів було затрачено на виробництво маси сталі.

Першим підвидом ресурсоемності виступає енергоемність, яка показує: а) скільки енергії витрачено на виробництво продукції та б) питому енергію на одиницю продукції. Для масових продуктів (наприклад, сталі) використовують витрати енергії на 1 т продукції; для готових виробів – витрати енергії на одиницю товару. Показник важливий для оцінки сталості, адже промислові підприємства здебільшого використовують невідновлювані джерела енергії, а перехід на «зелену» енергію відбувається повільно через її нестабільність. Теплова енергоемність є менш контрольованою та залежить від ККД обладнання та хімічних процесів у доменній печі (наприклад, теплота згоряння коксу). До енергоемності входить електроємність, що вимірює витрати електроенергії на масу продукції (МВт·год / т). Це один із найпростіших для вимірювання показників, оскільки він ґрунтується на даних лічильників. Зменшення електроспоживання важливе не лише для підприємства, а й для енергосистеми регіону, особливо в умовах воєнних ушкоджень інфраструктури. Під час війни ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» був

змушений працювати на 20-25% потужностей через дефіцит електроенергії[36].

Другим видом ресурсоемності є матеріалоемність, яка показує кількість сировини, витрачену на виробництво сталі (т сировини / т продукції або кг / т). До ключових складових належать: використання залізорудної сировини, витрати коксу, додаткові матеріали (флюси, вогнетриви, легуючі домішки).

Іншим важливим екологічним індикатором є інтенсивність викидів, що показує кількість газів, викинутих підприємством. Для порівнянності застосовується еквівалент CO_2 (CO_2e), який є базовим показником декарбонізації в ЄС. ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» також фіксує викиди NO_x , SO_x та інших газів у своїй звітності[37]. Інтенсивність вимірюється як обсяг викидів на 1 т продукції: чим менше значення, тим нижчий рівень впливу на довкілля. Усі сучасні промислові підприємства мають датчики, що фіксують викиди, оскільки це потрібно для дотримання норм і отримання дозволів на викиди.

Окремо оцінюються також водовикористання та втрати води. Водовикористання показує обсяг води, необхідної для виробництва, а втрати у свою чергу – обсяг забору прісної води з природних джерел (т води / т сталі). ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» працює за принципом замкнутого водопостачання, що суттєво зменшує забір води з довкілля. Новий забір фіксується лічильниками, а загальне споживання води відображається у звітності[37].

Тепер перейдемо до розгляду соціальних показників (табл. 1.7).

Насамперед розглянемо показники, які оцінюють безпеку праці. Основним таким індикатором виступає LTIFR (англ. *Lost Time Injury Frequency Rate*) – частота травм із втратою робочого часу або таких, що призвели до інвалідності чи смерті. Він вимірюється як кількість LTI на мільйон

відпрацьованих годин та часто аналізується по відділах. Чим нижче значення, тим вищий рівень безпеки.

Другим ключовим показником оцінки безпеки праці є TRIR (англ. *Total Recordable Incident Rate*), який визначає частоту всіх реєстрованих інцидентів, що дозволяє порівнювати умови праці між різними галузями. Його розрахунок базується на співвідношенні кількості інцидентів до умовної стандартної групи працівників (100 осіб × 40 годин × 50 тижнів).

Таблиця 1.7. – Огляд соціальних показників для оцінки сталого розвитку на підприємстві

Соціальний показник	Опис	Вимір
LTIFR	Показує частоту травм з втратою робочого часу (LTI): через травми, що спричиняють відсутність працівника на роботі понад 24 години або через випадки, що призводять до смерті або постійної інвалідності.	кількість LTI на 1 000 000 годин відпрацьованого часу
TRIR	Відображає загальну кількість зареєстрованих інцидентів з безпеки: травми, інциденти, що потребують медичного втручання, випадки обмеженої працездатності.	кількість інцидентів на стандартну групу працівників (100 працівників × 40 год / тиж × 50 тижнів)
Охоплення навчання	Показує частку працівників, які пройшли навчання протягом звітного року.	% працівників, що пройшли навчання
Ефективність навчання	Показує середню кількість годин, яку один працівник витрачає на навчання.	год / працівника
Виділені кошти на освіту працівників	Відображає, скільки підприємство інвестує у навчання одного працівника.	€ / працівника
Залученість колективу (eNPS)	Показує рівень задоволеності працівників роботою на підприємстві.	eNPS (від -100 до +100)
Гендерний баланс	Відображає частку жінок серед усіх працівників.	% жінок серед працівників або співвідношення жінки / чоловіки

Джерело: створено авторкою на основі [14, 38]

До соціальних показників належать і метрики навчання персоналу. Охоплення навчанням відображає частку працівників, які пройшли навчання протягом року, і має наближатися до 100%. Ефективність навчання показує кількість годин, витрачених на навчання одним працівником: низький показник свідчить про недостатній розвиток компетенцій. Фінансування

навчання (€ / працівника) демонструє, скільки коштів інвестовано в розвиток персоналу; недостатні витрати негативно впливають на якість навчання.

Ще одним важливим соціальним індикатором є eNPS (англ. *Employee Net Promoter Score*), який показує рівень задоволеності працівників умовами праці та їхню готовність рекомендувати підприємство як роботодавця.

Останній показник – гендерний баланс. Він оцінює частку жінок серед працівників та рівень соціальної справедливості: наявність рівних можливостей, недискримінаційних практик та відповідних умов праці. Показник може аналізуватися як у цілому по підприємству, так і за підрозділами чи посадами.

Тепер перейдемо до розгляду використовуваних економічних показників в сфері сталого розвитку (табл. 1.8).

Таблиця 1.8. – Огляд економічних показників для оцінки сталого розвитку на підприємстві

Економічний показник	Опис	Формула	Вимір
1. Загальна ефективність обладнання (OEE)	Показує, наскільки ефективно працює обладнання з точки зору доступності, продуктивності та якості; відображає втрати часу, швидкості та якості під час виробничих операцій.	$OEE = A \times P \times Q$	%
а) Доступність (Availability)	Відображає частку фактичного робочого часу відносно запланованого; показує втрати через позапланові простої: поломки, відсутність сировини тощо.	$A = \frac{OT}{PPT}$	%
б) Продуктивність (Performance)	Показує реальну швидкість виготовлення продукції у порівнянні з ідеально можливою.	$P = RRR \times ICT$ або $P = \frac{RRR}{IRR}$	%
с) Якість (Quality)	Відображає частку продукції, що відповідає стандартам якості; показує втрати від браку.	$Q = \frac{GC}{TC}$	%

Продовження таблиці 1.8

Економічний показник	Опис	Формула	Вимір
2. Частка «зелених» закупівель	Показує, яку частку в загальному обсязі закупівель становлять сертифіковані «зелені» товари.	-	% вартості «зелених» закупівель від загальної вартості закупівель
3. Штрафи за невідповідність нормам	Відображає прямі фінансові збитки та репутаційні наслідки через порушення екологічного законодавства або норм безпеки праці.	-	грн / рік або кількість штрафів
4. NPV «зелених» ініціатив	Показує фінансову вигоду від реалізації «зелених» ініціатив.	$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0$	грн, якщо $NPV > 0$, то проєкт доцільний
ROI «зелених» ініціатив	Показує рентабельність інвестицій у сталі технології та цифрові рішення.	$ROI = \frac{(ЧП - I)}{I}$	%, якщо $ROI > 0$, то проєкт прибутковий

Джерело: створено авторкою на основі [34-35, 38-40]

1. Показник ОЕЕ (англ. *Overall Equipment Effectiveness*) стосується ефективності обладнання та роботи за ним. Він складається з трьох компонентів: доступність (A), продуктивність (P) та якість (Q)[40].

а) Для розрахунку доступності (A) нам потрібно спочатку розрахувати плановий час на виробництво (PPT) за формулою 1.1:

$$PPT = POT - PSD \quad (1.1)$$

де PPT (англ. *Planned Production Time*) – плановий час роботи обладнання;

POT (англ. *Plant Operating Time*) – загальний час роботи підприємства;

PST (англ. *Planned Shut Down*) – час планових зупинок, що виключається з розрахунку.

Операційний час (OT) визначають за формулою 1.2:

$$OT = PPT - DTL \quad (1.2)$$

де OT (англ. *Operating Time*) – робочий час, який залишився після врахування зупинок;

DTL (англ. *Delay Time Lost*) – втрати часу внаслідок позапланових зупинок (поломки обладнання, дефіцит сировини, відсутність місця складування тощо).

Доступність (A) розраховується як співвідношення операційного робочого часу до запланованого за формулою 1.3[40]:

$$A = \frac{OT}{PPT} \quad (1.3)$$

б) Щоб розрахувати продуктивність (P), нам потрібно спочатку визначити дійсну норму виробництва RRR за формулою 1.4:

$$RRR = \frac{TC}{OT} \quad (1.4)$$

де RRR (англ. *Real Run Rate*) – фактична швидкість виробництва;

TC (англ. *Total Count*) – загальна кількість виготовленої продукції.

Таким чином, P розраховується за формулою 1.5 або 1.6:

$$P = RRR \times ICT \quad (1.5)$$

або

$$P = \frac{RRR}{IRR} \quad (1.6)$$

де ICT (англ. *Ideal Cycle Time*) – ідеальний час виготовлення одиниці продукції;

IRR (англ. *Ideal Run Rate*) – теоретично максимальна швидкість виробництва.

Показники ICT і IRR розраховуються не за формулою, а визначаються індивідуально відповідно до технологічних параметрів підприємства.

с) Критерій якості (Q) описує частку придатної продукції та обраховується за формулою 1.7[40]:

$$Q = \frac{GC}{TC} \quad (1.7)$$

де GC (англ. *Good Count*) – загальна кількість випущеної якісної продукції;

TC (англ. *Total Count*) – загальна кількість усієї випущеної продукції.

Загальний показник ефективності обладнання визначається добутком складових (формула 1.8)[39-40]:

$$OEE = A \times P \times Q \quad (1.8)$$

2. Наступним економічним показником виступає частка «зелених» закупівель, що відображає частку витрат на екологічно сертифіковану продукцію у загальному обсязі закупівель. «Зелені» закупівлі мають екологічний сертифікат, який показує, що придбаний товар виготовлений за підтвердження відповідності принципам сталого розвитку. Такі сертифікати можуть видаватися за стандартом ISO 20400:2017[38]. Прикладами таких сертифікатів є the EU Ecolabel, FSC, ISO 14024 тощо[41]. Даний показник відображає екологічність ланцюга постачання на підприємстві.

3. Наступний показник – штрафи за невідповідність екологічним та соціальним нормам – включає два аспекти: фінансовий та репутаційний. Фінансовий аспект виражається в сумі сплачених штрафів, їхній частоті та категорії порушень, а репутаційний – впливає на можливість експорту до певних країн, рішення контрагентів співпрацювати та на привабливість підприємства для потенційних працівників. Деякі штрафи можуть бути економічно меншими за витрати на модернізацію, що спонукає підприємства відкладати необхідні зміни, однак, в перспективі це завдає значної репутаційної шкоди[42].

4. NPV (англ. *Net Present Value*) «зелених» ініціатив визначає економічну доцільність реалізації сталих проєктів та розраховується за формулою 1.9[34]:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (1.9)$$

де CF_t – це чистий грошовий потік від проєкту в році t ;

r – дисконтна ставка (середньозважена вартість капіталу WACC (англ. *Weighted Average Cost of Capital*) або соціальна ставка дисконту);

t – період (рік, квартал);

I_0 – початкові інвестиції у «зелену» ініціативу;

T – строк реалізації проєкту.

Ініціативу можна вважати економічно доцільною, якщо $NPV > 0$.

5. Рентабельність «зелених» ініціатив використовується для оцінки їхньої економічної доцільності та розраховується за формулою 1.10[35]:

$$ROI = \frac{(ЧП - I)}{I} \quad (1.10)$$

де ROI (англ. *Return On Investment*) – рентабельність інвестицій від «зелених» ініціатив;

I – обсяг інвестицій у цифрові ініціативи;

ЧП – чистий прибуток.

ROI має бути більше 0, щоб ініціатива вважалася економічно доцільною.

Окрім розглянутих традиційних показників сталого розвитку, а саме тих, що стосуються його екологічної, соціальної та економічної складових, доцільно також розглянути таке поняття як «цифровий контур» (англ. *Digital enablement*) підприємства. Для оцінки рівня цифровізації на підприємстві обираємо наступні показники: покриття підприємства датчиками, якість даних, частка автоматизованих панелей управління («дашбордів») та частка процесів у ERP / MES (табл. 1.9). Розглянемо тепер кожен з них окремо.

Одним із найважливіших показників виступає саме покриття підприємства датчиками, оскільки саме від кількості та типу датчиків залежить можливість збирання даних для цифрової трансформації. Високий рівень покриття необхідний для IoT, комп'ютерного зору, систем автоматичного моніторингу. На окремих ділянках потрібні спеціалізовані сенсори як: камери для комп'ютерного зору в доменних печах; датчики температури; сенсори реєстрації хімічних сполук[31]. Показник вимірюється у відсотках як частка виробничих ліній, обладнаних датчиками.

Таблиця 1.9. – Огляд показників для оцінки цифрової трансформації підприємства на прикладі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Показник цифрової трансформації	Опис	Метод розрахунку	Вимір
Покриття підприємства датчиками	Відображає, яка частка виробничих ліній оснащена сенсорами, необхідними для збору даних та побудови цифрової інфраструктури.	Покриття = $(\text{Кількість ліній з датчиками} / \text{Загальна кількість ліній}) \times 100\%$	% виробничих ліній
Якість даних	Показує, наскільки зібрані дані є повними, точними та доступними у потрібний час.	-	-
1) Повнота даних	Характеризує частку даних, що реально доступні у системі, відносно очікуваної кількості даних.	Повнота = $(\text{Доступні дані} / \text{Очікувані дані}) \times 100\%$	%
2) Точність даних	Показує частку коректних даних у системі.	Точність = $(\text{Коректні дані} / \text{Всі зібрані дані}) \times 100\%$	%
3) Латентність даних	Відображає час між моментом збору даних і моментом їх появи в базі даних.	-	секунди або мілісекунди
Частка автоматизованих панелей управління (дашбордів)	Відображає рівень цифрової доступності даних для менеджменту.	Частка дашбордів = $(\text{Автоматизовані дашборди} / \text{Загальна кількість дашбордів}) \times 100\%$	%
Частка процесів, інтегрованих у ERP / MES	Показує рівень автоматизації та інтеграції бізнес-процесів у корпоративні системи (ERP, MES); відображає цифрову зрілість управління підприємством.	Покриття процесів = $(\text{Впроваджені процеси} / \text{Загальна кількість процесів}) \times 100\%$	%

Джерело: створено авторкою на основі [31, 43-44]

Наступним показником є якість даних (англ. *Data Quality*), який також є дуже важливим в контексті цифровізації, оскільки прямо впливає на ефективність цифрової трансформації[43]. У базі даних збираються багато різних даних, які потім мають бути використані, і якщо ці дані є недостатньо якісними, то ефективність їх використання буде невелика або взагалі негативна. Серед характеристик якості даних виділяють кілька основних показників, але для досліджуваного підприємства актуальними виступають лише наступні: повнота даних, точність даних та латентність даних.

Повнота даних (англ. *Data Completeness*) реалізується через співвідношення до скількох даних наявна інформація в базі даних до загальної кількості очікуваної інформації щодо її наявності[43]. Цей показник може залежати від несправності деяких датчиків чи їх відсутності коли очікується їхня наявність.

У свою чергу точність даних (англ. *Data Accuracy*) показує, наскільки інформація є достовірною[43]. Неточність інформації може вимірюватись по-різному в залежності від типу даних, які вимірюються. Загалом співвідношенням даних, які є інформацією, про які в базі даних є хибною до загальної кількості інформації в базі даних. Точність може погіршуватися чи при поломці датчиків, чи при програмній помилці.

Латентність даних (англ. *Data Latency*) описує те, наскільки швидко дані потрапляють в базу даних та можуть бути використані[43]. Вона вимірюється в одиницях часу, наприклад, в секундах і залежить від телекомунікаційної оснащеності підприємства та характеристик датчиків. Якщо датчики надсилають зібрану інформацію в реальному часі, тоді латентність даних вважається хорошою.

Для оцінки рівня цифрової трансформації з точки зору менеджменту використовуємо показник частки автоматизованих панелей управління, так званих «дашбордів» (англ. *Dashboards*)[43]. Він розраховується як

співвідношення кількості автоматизованих дашбордів до їхньої загальної кількості. Корисні для показнику наскільки є моніторинг в реальному часі та скільки відповідно менеджмент просунути цифровій трансформації.

Частка бізнес-процесів, які було вже автоматизовано та інтегровано в цифрову систему виробництва може бути оцінена за допомогою такого показника як відсоток впроваджених процесів у ERP та MES[44]. Цей показник обраховується як співвідношення бізнес-процесів, які вже наявні у системі, до усіх бізнес-процесів. Показник стосується готовності підприємства до цифрової трансформації в межах управління бізнес-процесами, але таким чином можна також відслідковувати, в яких департаментах підприємства та наскільки прогрес ЦТ вже наявний.

Проаналізувавши різні методології оцінки цифрової трансформації, наведені в таблиці В.1 додатку В, стає зрозуміло, що в межах цієї роботи нам найкраще підходять ті індекси, які оцінюють стан цифровізації локально на підприємствах, а не по країні або по галузі. Серед таких наявними є Industry 4.0 Maturity Index та Digital Capability Framework (DCF). Для подальшого аналізу ЦТ саме на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» було обрано перший показник – індекс Індустрії 4.0, оскільки він призначений саме для промислових підприємств і який був розроблений Німецькою академією технічних наук[48].

Industry 4.0 Maturity Index, або ж індекс зрілості Індустрії 4.0 (надалі – індекс Індустрії 4.0), визначає, на якому етапі цифрової трансформації перебуває підприємство. Усього існує шість рівнів зрілості, і чим вища оцінка зрілості, тим краща реалізація цифрової трансформації на підприємства (табл. Г.1 додатку Г)[48, 52].

Відповідно до цієї методології виділяють такі наступні рівні цифрової зрілості підприємства:

- 1) Комп'ютеризація (англ. *Computerisation*, нім. *Computerisierung*);

- 2) З'єднання (англ. *Connectivity*, нім. *Konnektivität*);
- 3) Видимість (англ. *Visibility*, нім. *Sichtbarkeit*);
- 4) Прозорість (англ. *Transparency*, нім. *Transparenz*);
- 5) Прогнозування (англ. *Predictive capacity*, нім. *Prognosefähigkeit*);
- 6) Адаптивність (англ. *Adaptability*, нім. *Adaptierbarkeit*).

Саме за допомогою індексу Індустрії 4.0 та відповідно до характеристик всіх рівнів (табл. Г.1 додатку Г) ми будемо оцінювати рівень цифрової зрілості ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» в пункті 2.3 даної роботи.

Тепер розглянемо кожен з зазначених рівнів більш детально.

Рівень 1 – «Комп'ютеризація» – характеризує початкову автоматизацію, що передбачає використання комп'ютерів та окремих автоматизованих систем без їхньої інтеграції в бізнес-процеси. Відбувається перехід від паперової документації до цифрової форми, проте зв'язність між пристроями та базами даних залишається низькою. Дані вводяться вручну, що зумовлює затримки, високий ризик помилок та значну залежність від персоналу, чия кваліфікація обмежується базовим умінням працювати з комп'ютером. Інформаційна система є фрагментованою, а обмін даними здійснюється вручну (через USB-носії або електронну пошту). Автоматизація охоплює лише окремі операції; штучний інтелект, Інтернет речей та інші технології Індустрії 4.0 ще не застосовуються. Організаційна структура на цьому етапі зазвичай централізована та малогнучка, а персонал – неготовий до масштабних цифрових трансформацій[48, 52].

На рівні 2 – «З'єднання» – вже відбувається інтеграція обладнання та систем через M2M-взаємодію, IoT та спільні бази даних. Обмін інформацією стає автоматизованим, дані структуруються та консоліднуються в єдиному цифровому середовищі, що дозволяє усунути дублювання та ручні операції з передавання інформації. Зменшується обсяг ручної праці оператора та з'являється можливість базової аналітики, хоча вона ще не забезпечує

повноцінний аналіз у реальному часі. Обмеженою залишається швидкість обробки даних та рівень візуалізації процесів, що ускладнює оперативне розуміння виробничої ситуації лише за даними системи[48, 52].

Наступний рівень 3 – «Видимість» – передбачає збирання, передачу та аналіз даних у реальному часі, що забезпечує персоналу прозоре уявлення про стан виробництва. Дані відображаються у структурованому вигляді, доступні для віддаленої роботи й оперативного коригування процесів. На цьому етапі формуються «цифрові тіні» – попередні версії цифрових двійників. Від персоналу вже вимагаються базові цифрові компетентності, а організаційна структура стає більш гнучкою й менш централізованою. Формується культура відкритості до цифрових змін[48, 52].

Рівень 4 – «Прозорість» – вже поглиблює можливості аналізу: система не лише відображає дані, але й інтерпретує їх причинно-наслідкові зв'язки за допомогою сучасних аналітичних інструментів (пошук кореляцій, інтерполяція, виявлення закономірностей, машинне навчання). Інформація набуває контекстності та використовується для підтримки прийняття рішень, генеруючи рекомендації операторам. З'являються повноцінні цифрові двійники, що дозволяють виявляти причини відхилень у якості чи продуктивності та пропонувати коригувальні дії. На цьому етапі формується культура навчання та інноваційності, а організаційна структура адаптується до нового цифрового середовища[48, 52].

Рівень 5 – «Прогнозування» – характеризується здатністю систем передбачати майбутні сценарії розвитку виробничих процесів та автономно запобігати потенційним проблемам. Прогнозна аналітика базується на ІІІ, цифрових двійниках і великих масивах даних, що дозволяє моделювати оптимальні виробничі рішення, підвищувати ефективність використання ресурсів, прогнозувати попит та адаптувати виробничі плани. Система набуває

спроможності до самонавчання та частково автономного прийняття рішень, що суттєво зменшує залежність від людського фактора[48, 52].

Останній рівень 6 – «Адаптивність» – вказує на досягнення повної автономності виробництва. Система здатна самостійно приймати рішення, оптимізувати параметри процесів і адаптуватися до зовнішніх змін без участі оператора. Інтеграція виходить за межі підприємства та охоплює постачальників, клієнтів і логістичні структури, формуючи єдиний цифровий ланцюг створення вартості. Система демонструє високий рівень самонавчання та стійкості до змін середовища. Організаційна структура стає децентралізованою та надзвичайно гнучкою, а корпоративна культура – самоорганізаційною; від персоналу вимагаються високі компетентності в управлінні цифровими технологіями та глибоке розуміння виробничих процесів[48, 52].

Висновки до розділу 1

У підрозділі 1.1 було сформульовано концепцію сталого розвитку, наведено офіційне визначення від ООН, визначення за сучасними дослідженнями на тему та надано особисту інтерпретацію. Надано перелік усіх 17-ти цілей, а також розглянуто національні завдання і розроблено на їх основі відповідні завдання для підприємства, яке досліджується, – ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

У підрозділі 1.2 розглянуто, як цифрова трансформація може вплинути на сталий розвиток підприємства, тобто на втілення цілей сталого розвитку підприємства. Надано визначення таким термінам як: оцифрування, цифровізація та цифрова трансформація, розглянуто основні напрями цифрової трансформації та Індустрії 4.0 (Big Data, штучний інтелект, промисловий Інтернет речей, цифрові двійники). Також наведено перелік інструментів управління підприємством за допомогою цифрової

трансформації такі як віддалений доступ і моніторинг, аналітика та штучний інтелект у прийнятті рішень, ERP-, CRM-, SCM-системи. Розглянуто, як такі напрями цифрової трансформації задовольняють принципи сталого розвитку. Висвітлено різні проєкти цифрової трансформації, а також як вони та відповідні показники покращують екологічний, соціальний, та економічний впливи.

У підрозділі 1.3 концепцію сталого розвитку було розглянуто у вигляді не тривимірної системи (екологічний, економічний та соціальний аспекти), а чотиривимірної, за якої екологічний, економічний та соціальний аспекти базуються на цифровій трансформації. Розглянуто методологічні підходи оцінки рівня цифрової трансформації та сталого розвитку підприємства. Усі показники було поділено на екологічні, соціальні, економічні показники та показники цифрової готовності. Проведено аналіз різних показників цифрової трансформації. Для подальшого дослідження було обрано показник Industry 4.0 Maturity Index (acatech), або ж індекс Індустрії 4.0, який було розглянуто окремо. Було описано шість рівнів зрілості цифрової трансформації підприємства за індексом: комп'ютеризація, з'єднання, видимість, прозорість, прогнозованість та адаптивність. Розглянуто також чотири виміри, який цей індекс враховує: ресурси, інформаційні системи, організаційної структура та культура підприємства. На основі цієї інформації було побудовано матрицю.

Саме описані в даному розділі методики та формули будуть використовуватися в подальшому дослідженні задля оцінки діяльності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» в сферах сталого розвитку та цифрової трансформації.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ РІВНЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТА ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА (НА ПРИКЛАДІ ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ»)

2.1 Організаційно-економічна характеристика підприємства та ключові фактори впливу на сталий розвиток

Публічне акціонерне товариство «АрселорМіттал Кривий Ріг» є одним із провідних підприємств гірничо-металургійного комплексу України та відіграє стратегічну роль у формуванні національного промислового потенціалу. Компанія є частиною міжнародної корпорації ArcelorMittal, що об'єднує понад 60 країн і є найбільшим виробником сталі у світі[53]. Підприємство розташоване у Кривому Розі та охоплює повний металургійний цикл: від видобутку залізорудної сировини до випуску готової металопродукції, включно з катанкою, арматурою та прокатом[54]. Загальну інформацію про підприємство наведено в таблиці 2.1 нижче.

Таблиця 2.1. – Основні відомості про ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Ознака	Характеристика
Код ЄДРПОУ	24432974
Повне найменування	Публічне акціонерне товариство «АселорМіттал Кривий Ріг»
Скорочене найменування	ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»
Дата реєстрації	08.04.2004
Керівник	Лонгобардо Мауро
Головний бухгалтер	Задорожний Павло Вікторович
Розмір статутного капіталу	3 859 533 000 грн
Організаційно-правова форма	Акціонерне товариство

Продовження таблиці 2.1

Ознака	Характеристика
Види діяльності	Основна: 24.10 Виробництво чавуну, сталі та феросплавів Інші: 07.10 Добування залізних руд 19.10 Виробництво коксу та коксопродуктів 43.29 Інші будівельно-монтажні роботи 85.32 Професійно-технічна освіта 85.59 Інші види освіти, н.в.і.у. 86.10 Діяльність лікарняних закладів 46.90 Неспеціалізована оптова торгівля 47.25 Роздрібна торгівля напоями в спеціалізованих магазинах 71.12 Діяльність у сфері інжинірингу, геології та геодезії, надання послуг технічного консультування в цих сферах 36.00 Забір, очищення та постачання води 41.20 Будівництво житлових і нежитлових будівель 42.21 Будівництво трубопроводів

Джерело: складено авторкою на основі [55]

Серед цінностей компанії можна виділити чотири основні: безпека, сталий розвиток, якість та лідерство[56]. Більш детально про кожну цінність розписано в таблиці 2.2, відповідно до положень, зазначених на офіційному сайті українського представництва ArcelorMittal.

Таблиця 2.2. – Огляд основних цінностей підприємства

Цінність компанії	Основна ідея	Ключові положення
Безпека	«Успіх починається з безпеки кожного співробітника»	Кожен нещасний випадок можна уникнути. Безпека – спільна відповідальність усіх працівників, від цеху до керівництва. Працівники повинні бути добре навчені й мати змогу відкрито говорити про ризики. Неухильне дотримання «Золотих правил». Керівництво має демонструвати пріоритет безпеки через постійну присутність у виробничих зонах.
Сталий розвиток	«Конкурентоспроможність через довгострокове бачення майбутнього»	Орієнтація на економічні, соціальні та екологічні мегатенденції. Ефективне управління бізнесом протягом усього циклу. Інвестиції у довгострокову перспективу. Підготовка до переходу на безвуглецеву економіку та розвиток циркулярності.

Продовження таблиці 2.2

Цінність компанії	Основна ідея	Ключові положення
Якість	«Якість як ключ до конкурентоспроможності»	Перевищення очікувань клієнтів щодо продукції та процесів. Поєднання виробничих знань із комерційним чуттям. Впровадження інновацій та розвиток нових функцій сталі. Орієнтація на досконалість у всьому.
Лідерство	«Лідерство через інновації та готовність змінюватися»	Далекоглядне мислення та виклик статус-кво. Постійне вдосконалення властивостей сталі. Переосмислення ролі сталі для нового покоління. Розвиток нових бізнес-моделей, партнерств і прийняття різноманітності.

Джерело: складено авторкою на основі [56]

Мета ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» («Більш інтелектуальніша сталь для людей та планети») відповідає загальній меті концерну: «Сталь із розумом: для людей та планети». Як ще зазначено на сайті підприємства: «Наша мета – допомогти побудувати кращий світ за допомогою розумнішої сталі»[54].

Саме такий підхід не лише забезпечує підприємству лідерські позиції на ринку, а ще допомагає підприємству привносити користь країні через значний соціально-економічний вплив. ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» забезпечує робочими місцями десятки тисяч працівників регіону, формує базу для розвитку суміжних галузей (енергетика, транспорт, машинобудування) та суттєво поповнює державний і місцеві бюджети через сплату податків. Однак, важливо зазначити, що діяльність ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» сильно залежить від зовнішніх факторів, а саме: від світової кон'юнктури ринку сталі, від рівня внутрішнього попиту, від політичної стабільності та, звичайно, від впливу військових дій на території України.

Як вже було зазначено, організаційно-правова форма підприємства – публічне акціонерне товариство. Таким чином, ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» зобов'язано оприлюднювати свої акції та звітність перед акціонерами й регуляторами відповідно до вимог законодавства України[57]. Окрім цього,

публічний статус підприємства передбачає обов'язкове розміщення фінансової звітності, проведення щорічних загальних зборів акціонерів та публікацію рішень щодо стратегічного розвитку. Усю дану інформацію та відповідні документи можна переглянути на офіційному сайті[54]. Однак, через наявні військові дії в країні деякі документи можуть бути приховані з причин безпеки.

Потрібно також розуміти, що ефективна діяльність підприємства визначається взаємодією ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» з основними зацікавленими сторонами, до яких можна віднести глобальний концерн ArcelorMittal, постачальників, клієнтів, партнерів, місцеві громади тощо. Більш детальний аналіз стейкхолдерів (табл. Д.1 додатку Д) дозволяє нам ідентифікувати ключові групи впливу, визначити їхні інтереси та проаналізувати способи взаємодії з підприємством, що, у свою чергу, направляє компанію не лише у питаннях цифрової трансформації та сталого розвитку, які ми будемо розглядати більш детально пізніше, а повне функціонування ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» загалом. Окрім цього, доцільно побудувати також структуру бізнес-моделі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (рис. Д.1 додатку Д) для більш глибокого розуміння діяльності підприємства. Для цього використаємо такий інструмент як канву бізнес моделі (англ. *Business-Model Canvas*), оскільки вона є найбільш наочною. Як вже зазначалося, ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є металургійним підприємством повного циклу і спеціалізується на виробництві таких видів продукції: довгомірний прокат; агломерат; залізорудний концентрат; кокс; чушковий чавун; сталь; сортований і фасонний прокат; доменний шлак; різні заготовки. Як зазначено на офіційному сайті, річне виробництво заводу, з його повним виробничим циклом, становить понад 6 мільйонів тонн сталі, понад 5 мільйонів тонн прокату та понад 5,5 мільйонів тонн чавуну[54]. На рисунку Е.1 додатку Е відображено повний виробничий цикл ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», а на рисунку 2.1 – структуру виробництва підприємства.

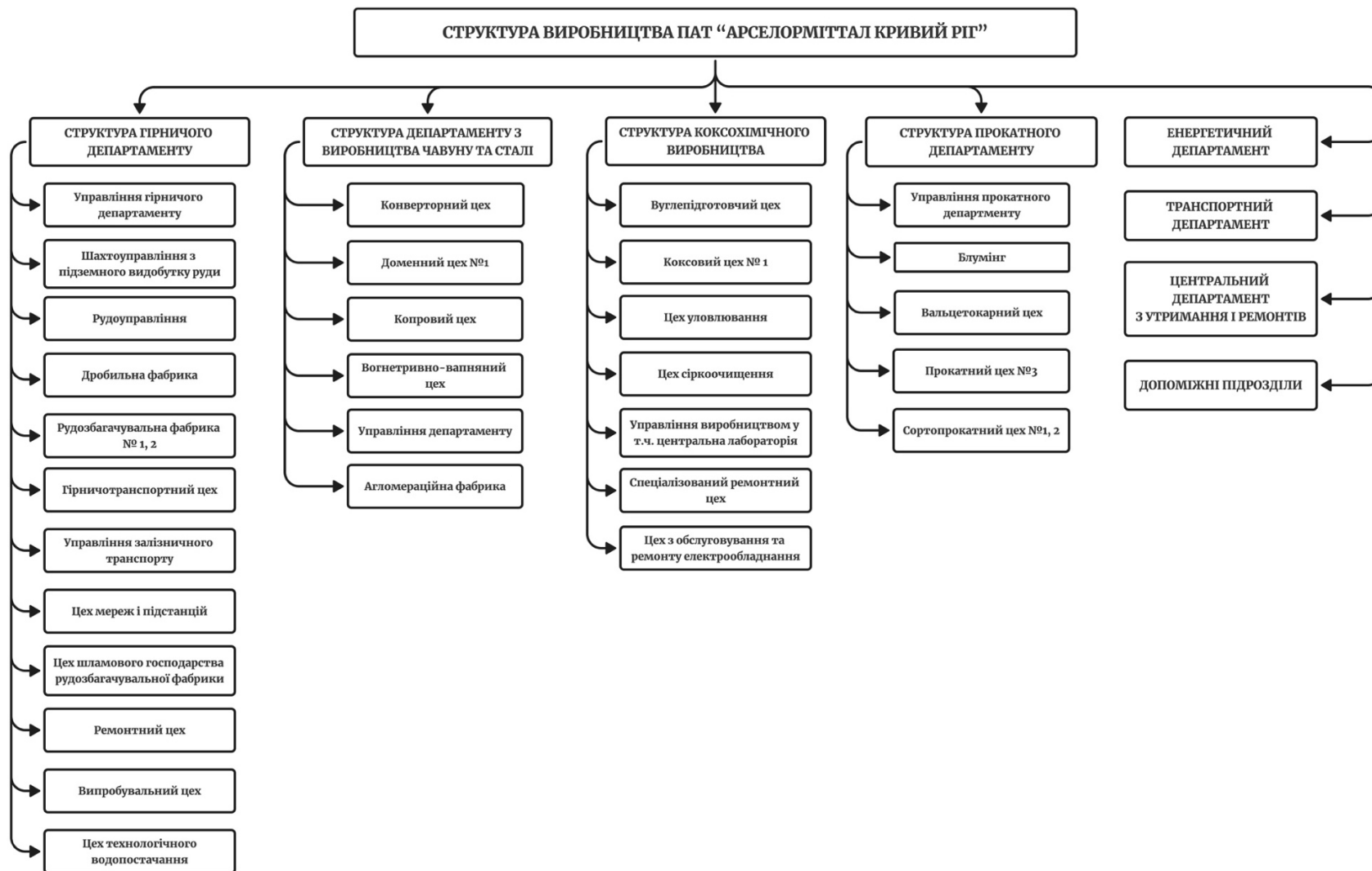


Рисунок 2.1. – Структура виробництва ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Джерело: створено авторкою на основі [62]

ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» має такі основні департаменти виробничого циклу: гірничий департамент, департамент з виробництва чавуну та сталі, коксохімічне виробництво та прокатний департамент. Всі виробничі відділи включають також різні підрозділи. Окрім цього, окремо виділяються ще енергетичний департамент, транспортний департамент, центральний департамент з утримання і ремонтів та допоміжні підрозділи.

Окрім виробництва, до початку війни ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» активно займалося також експортом своєї продукції, особливо заготовками. Так до повномасштабного вторгнення підприємство експортувало до 85% своєї готової продукції, що визначало його як одного з найбільших експортерів України, оскільки воно забезпечувало значні валютні надходження в країну[54]. Основними ринками збуту виступали Африка, Близький Схід, ЄС, США та Південна Америка (рис. 2.2). З 2022-го року експортна діяльність ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» знизилася, і більша частина експорту відправлялася на ринки США, Європи, Канади та Великобританії[54].



Рисунок 2.2. – Основні ринки збуту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» до повномасштабного вторгнення РФ

Джерело: [62]

До основних проблем з ринками збуту, з якими зіткнулося підприємство через початок війни, можна виділити наступні:

- 1) порушення логістичних ланцюжків, оскільки компанія тимчасово призупиняла роботу окремих виробничих агрегатів;
- 2) зменшення обсягів виробництва, тому що протягом 2022-го року виробничі потужності підприємства були завантажені в середньому

лише на 20-25%, наразі ж завантаження досягає усього лише позначки у 50%;

- 3) постійні обмеження в енергопостачанні;
- 4) необхідність пошуку та налагодження нових логістичних шляхів, бо компанії потрібно було перелаштовуватися на транспортування продукції залізницею[54].

У 2024-му році підприємство все ж змогло збільшити обсяги експорту, зокрема завдяки частковому розблокуванню морського коридору. Найбільшими товарними групами експорту комбінату виступили залізорудний концентрат, чавун та готова продукція[62]. Наразі основний збут продукції ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» зорієнтований на ринок саме України, а також до найближчих, логістично-привабливих країн, що є більш вигідним з точки зору вартості транспортування[62]. Таким чином, підприємство експортує близько 15% від виробленої продукції (зараз це 3 млн тонн сталі на рік) до країн ЄС, 20-30% – на ринок США, залишок же реалізується в Україні (рис. 2.3)[63].

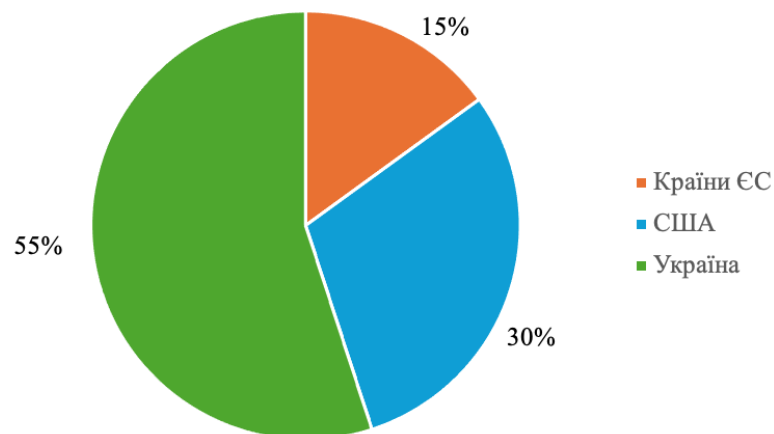


Рисунок 2.3. – Огляд ринків реалізації продукції ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» після повномасштабного вторгнення РФ, %

Джерело: складено авторкою на основі [63]

На цьому можна завершити загальний огляд діяльності підприємства і перейти до оцінки безпосередньо результативності виробничо-економічної

діяльності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Для цього доцільно провести аналіз фінансово-економічних показників підприємства, що дозволить визначити тенденції його розвитку, прибутковість, рівень ефективності використання ресурсів, фінансову стійкість тощо.

Для аналізу фінансового стану ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» проведемо шляхом оцінки його основних фінансових показників за останні п'ять років: з 2020-го по 2024-ий роки (табл. 2.3). Дані беремо з відкритих джерел, а саме – з загальнодоступного аналітичного сервісу YouControl[55].

Як можна побачити з таблиці, починаючи з 2022-го року, після початку повномасштабного вторгнення РФ, підприємство несе постійні збитки, але в порівнянні з 2022-им роком у 2023-му та 2024-му роках збиток стає поступово меншим, що є доволі позитивною тенденцією. Окрім цього, із таблиці можна зробити висновок, що з у 2022-му році товарообіг став менше, як і собівартість продукції, і хоча поступово всі показники відновлюються, що можна зрозуміти по результатам 2024-го року, але підприємство все ще залишається неприбутковим.

ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» – це промислове підприємство, і основна його діяльність виражається у видобутку корисних копалин та виплавці металів (в основному сталі), а також у виробництві прокату. Це підтверджується тим, що дохід та витрати на собівартість продукції є найбільшими у порівнянні з усіма іншими показниками.

Розглянемо також окремо такі показники діяльності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за 2020-2024 рр. як:

- 1) валовий прибуток (збиток) (рис. Ж.1 додатку Ж);
- 2) фінансовий результат до оподаткування) (рис. Ж.2 додатку Ж);
- 3) фінансовий результат від операційної діяльності (рис. Ж.3 додатку Ж);
- 4) чистий фінансовий результат (рис. Ж.4 додатку Ж);

Таблиця 2.3. – Основні фінансові показники операційної діяльності підприємства 2020-2024 рр.

Фінансовий результат	2020	2021	2022	2023	2024
Чистий дохід від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг), тис. грн	63.496.684	109.303.155	43.818.410	41.848.635	64.591.407
Собівартість реалізованої продукції (товарів, робіт, послуг), тис. грн	58.845.530	74.561.304	5.582.972	50.635.909	69.042.126
Валовий прибуток (збиток), тис. грн	4.651.154	34.741.851	-12.011.311	-8.787.274	-4.450.719
Інші операційні доходи, тис. грн	324.998	521.083	596.185	429.403	375.811
Адміністративні витрати, тис. грн	2.159.849	3.511.390	1.805.121	1.679.688	2.278.484
Витрати на збут, тис. грн	48.092	109.339	42.846	33.255	35.567
Інші операційні витрати, тис. грн	701.915	605.870	797.304	190.963	690.180
Фінансовий результат від операційної діяльності, тис. грн	2.066.296	31.036.335	-14.060.397	-10.261.777	-7.079.139
Інші фінансові доходи, тис. грн	22.373	195.131	25.141	48.123	64.246
Фінансові витрати, тис. грн	1.240.995	542.670	1.155.305	1.508.095	1.818.110
Інші витрати, тис. грн	0	0	36.169.884	0	0
Фінансовий результат до оподаткування, тис. грн	847.674	30.688.796	-51.360.445	-11.721.749	-8.833.003
Витрати (дохід) з податку на прибуток, тис. грн	-106.772	-5.472.728	2.351.341	-89.281	-15.960
Чистий фінансовий результат, тис. грн	740.902	25.216.068	-49.009.104	-11.811.030	-8.848.963

Джерело: побудовано авторкою на основі [55]

На рисунку Ж.5 додатку Г зображено всі вище вказані показники разом, на одному графіку, що гарно демонструє загальну тенденцію зміну показників.

Таким чином, фінансові результати підприємства у 2020-2021 роках демонструють стійке зростання. Чистий дохід у 2021 році збільшився на 72,14% порівняно з 2020 роком, а валовий прибуток зріс у понад шість разів – із 4,65 до 34,74 млн грн. Це стало результатом як зростання виручки, так і контрольованого зростання собівартості, що дозволило підприємству досягти операційного прибутку у 31 млн грн та чистого прибутку понад 25 млн грн – у 34 рази більше, ніж роком раніше.

У 2022 році ситуація кардинально погіршилася. Виручка зменшилася на 59,91%, собівартість – на 92,5%, але водночас валовий прибуток став від’ємним (-12 млн грн). Операційна діяльність завершилася збитком -14,06 млн грн, а чистий фінансовий результат – катастрофічним: -49 млн грн. Причинами стали падіння доходів на фоні суттєвого зростання адміністративних, збутових та інших витрат, а також поява надзвичайно великих інших витрат у розмірі понад 36 млн грн.

У 2023 році можна спостерігати часткове покращення – збитки зменшилися до -11,8 млн грн завдяки відсутності «інших витрат», зростанню інших операційних доходів та незначному приросту фінансових доходів. Проте при збереженні значного фінансового тиску (1,5 млн грн витрат) підприємство все ще залишалося збитковим.

У 2024 році зафіксовано певне відновлення: виручка зросла на 54,35%, а чистий збиток скоротився до -8,85 млн грн. Це свідчить про поступове відновлення після двох збиткових років, однак фінансовий результат все ще залишається від’ємним, що вказує на потребу в системному реформуванні структури витрат, підвищенні маржинальності та більш гнучкому управлінні фінансовими потоками.

З таблиці 2.4 можна побачити, що власний капітал підприємства постійно зменшується, водночас і довгострокові, і поточні зобов'язання ростуть. У 2022-му році необоротні активи підприємства зменшилися майже у 3 рази, але наразі поступово відновлюються.

Таблиця 2.4. – Тенденція зміни активів підприємства 2021-2024 рр.

Показник	2021	2022	2023	2024
Необоротні активи, тис. грн	60 187 446	22 979 342	25 330 277	27 262 639
Оборотні активи, тис. грн	45 613 529	29 703 419	21 701 441	24 463 016
Загалом активів, тис. грн	105 800 975	52 682 761	47 031 718	51 725 655
Власний капітал, тис. грн	76 552 000	28 212 939	16 016 794	7 396 436
Довгострокові зобов'язання і забезпечення, тис. грн	7 359 240	6 046 354	6 398 562	7 397 777
Поточні зобов'язання і забезпечення, тис. грн	21 889 735	18 423 468	24 616 362	36 931 442
Усього пасивів, тис. грн	105 800 975	52 682 761	47 031 718	51 725 655

Джерело: побудовано авторкою на основі [55]

Причина такого спаду – вплив від повномасштабного вторгнення РФ в Україну, а саме від постійних ракетних обстрілів, наближення РФ до території підприємства та через незникаючу загрозу окупації та руйнування. Також вплинули на стан необоротних активів підприємства фактори порушення логістики та зменшення попиту на ринку. Водночас зменшення вартості оборотних активів підприємства пояснюється перебоями його роботи: то через обмеження в подачі електроенергії, то через обстріли. Також зміна структури попиту та пропозиції та порушення логістичних ланцюгів зменшило потужності роботи підприємства.

У 2021-му році загальна оборотність (рис. 2.4) активів становила 1,03 рази, що є прийнятним показником для великого промислового підприємства. Однак, у 2022-му році цей показник впав до 0,83, що свідчить про неефективне використання ресурсної бази на фоні скорочення обсягів реалізації.

З 2023-го року почалось поступове відновлення: 0,89 у 2023 та 1,25 у 2024 році. Така динаміка пояснюється зростанням доходу на фоні стабілізації структури активів, зокрема – необоротних. Показник оборотності оборотних активів (рис. 2.5) у 2021 році був 2,40, тобто підприємство в середньому «повертало» оборотні активи понад двічі за рік. У 2022-му році – значне падіння до 1,48, викликане, ймовірно, зниженням ліквідності та подовженням періоду погашення дебіторської заборгованості. У наступні роки ситуація покращилась – 1,93 у 2023-му та 2,64 у 2024-му, що говорить про ефективну політику управління обіговими коштами, запасами і дебіторським боргом.

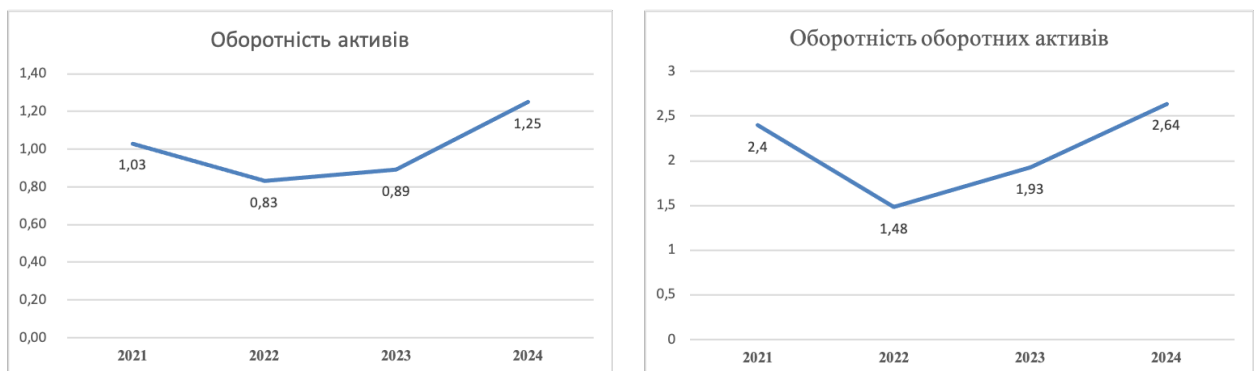


Рисунок 2.4. – Динаміка оборотності загальних активів підприємства за 2021-2024 рр.

Рисунок 2.5. – Динаміка зміни оборотності оборотних активів підприємства 2021-2024 рр.

Джерело: розроблено авторкою на основі таблиці 2.4, [55]

Показник оборотності необоротних активів (рис. 2.6) залишався стабільним у межах 1,65-2,37. Найнижчий рівень спостерігався у 2023-му році (1,65), що пов'язано із незаповненими виробничими потужностями. У 2024-му році – значне покращення до 2,37, що може бути наслідком оптимізації виробництва або відновлення попиту на продукцію підприємства.



Рисунок 2.6. – Динаміка зміни оборотності необоротних активів підприємства 2021-2024 рр.

Джерело: розроблено авторкою на основі таблиці 2.4, [55]

Динаміка вказує на те, що підприємство не лише експлуатує свої виробничі потужності, але й адаптує їх до ринкових умов.

Підвищення оборотності необоротних активів у 2024 році особливо важливе, оскільки свідчить про активізацію виробництва та зростання ефективності використання основних засобів. Також показник > 2 для необоротних активів на металургійному підприємстві – це свідчення високого рівня експлуатації основних фондів.

Отже, якщо підсумувати усе вищезазначене, то у 2021-му році підприємство перебувало у відносно стабільному стані: всі показники оборотності були в межах норми. 2022-ий рік став для ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» кризовим: помітне зниження всіх показників через зовнішні фактори (повномасштабна війна, логістичні перебої, зниження виробництва). У 2023-му році підприємство почало відновлюватись, зокрема за рахунок підвищення оборотності оборотних активів. У 2024-му році зафіксовано найкращі показники за аналізований період. Це свідчить про ефективні дії керівництва щодо стабілізації виробництва, активізації збуту та оптимізації обігових коштів.

Таким чином, на сьогодні ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» демонструє високий рівень адаптації до посткризової економіки і може слугувати прикладом гнучкого фінансового управління у промисловому секторі.

2.2 Оцінка екологічних, соціальних та економічних показників сталого розвитку підприємства

Друга з чотирьох ключових цінностей ArcelorMittal, а саме – сталий розвиток, має сильний вплив на всю діяльність компанії. Як вже відомо, класична концепція сталого розвитку базується на трьох основних аспектах: економічного, екологічного та соціального. Щоб в подальшому проаналізувати функціонування підприємства в сфері сталого розвитку, розглянемо цілі та орієнтири ArcelorMittal по кожному з аспектів.

Розгляд почнемо із економічного аспекту, який щільно пов'язаний з політикою діяльності підприємства, оскільки ArcelorMittal прагне трансформувати свою бізнес-модель від традиційної до сталої, тому активно інвестує в «зелені» активи, розвиває технологію виробництва низьковуглецевої сталі, встановлює електродугові печі, а також реалізує різні декарбонізуючі проєкти. Також компанія активно займається підвищення енергоефективності, що має на меті у тому числі зменшення операційних витрат. Однак, компанія вже ж таки стикається із деякими викликами, такими як: невисокий попит на екологічні, «зелені» технології, такі як низьковуглецева сталь, оскільки на даний час вона є дорожчою за традиційну сталь, а регулювання екологічного виробництва сталі в світі досі не є доскональним, тому наразі випуск «зеленої» сталі для металургійних підприємств є економічно не вигідним. ArcelorMittal також готується до покращення процесу подання своєї звітності, наприклад, щоб звіти було створено та сформульовано за особливими стандартами, а також підприємство збирається

підлаштовуватися до майбутніх вимог ЄС щодо інтегрованої фінансової звітності[64].

Переходячи до екологічного аспекту, компанія дотримується багатьох різних принципів та має закріплену Політику екологічного управління (англ. *Environmental Governance*) або ж Екологічну політику[64], а також Енергетичну політику[65] та Політику сталого розвитку[66].

Що стосується скорочення викидів парникових газів, то компанія постійно прогресує, що підтверджується річними звітами та поставленою метою кліматичної нейтральності до 2050-го року[64]. ArcelorMittal також має на меті перехід на замкнений цикл виробництва, а також збільшення кількості електродугових печей, які повторно використовують металобрухт замість виплавки сталі у доменних печах із викопного палива. У цілому, компанія намагається зменшити свій шкідливий вплив на природу, біорізноманіття, ґрунти, водойми шляхом зменшення викидів під час та внаслідок виробництва, а також шляхом зменшення об'ємів використання ресурсів.

Як щодо соціального аспекту сталого розвитку, то поважне ставлення до працівників є одним з важливих завдань діяльності підприємства (до того ж, це топ-1 цінність ArcelorMittal). Компанія дуже зосереджена на безпеці працівників, тому керівництвом була поставлена ціль по досягненню нульового рівня смертельних випадків та серйозних поранень на робочому місці. Окрім цього, ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» дотримується принципу рівних можливостей та недискримінації: наявним є Кодекс ділової поведінки (англ. *Code of Business Conduct*)[67], у якому описані принципи етичного прийняття рішень та відповідальних бізнес-практиків. Також є інші документи, які регулюють взаємовідносини між компанією та її працівниками як, наприклад, Політика з прав людини[68], Політика з охорони праці[69], Положення щодо боротьби з корупцією[70], Політика інформування керівництва про порушення[71] та Порядок розгляду скарг[72]. До того ж, на

підприємстві важливу роль відіграє виявлення та розвиток талантів співробітників ще на початку їхньої кар'єри. Таким чином вважається, що кожна особа повинна знайти свою посаду на підприємстві, яка відповідає її особистим цінностям та якостям.

Також можемо розглянути вплив кожного з основних департаментів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» на чотири сфери сталого розвитку (тобто економічний, екологічний, соціальний впливи та вплив на цифрову трансформацію від діяльності на підрозділах), а також на основі ЦСР, які розглядаються в межах даної роботи: №5, 7, 8, 9, 10, 12, 13 та 15 (табл. К.1 додатку К). Як можна побачити з таблиці, впливи є значними і більшою мірою негативними (особливо на екологічну сферу) через особливість характеристики діяльності підприємства, яка потребує великої кількості екологічних ресурсів. І хоча ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» має позитивні екологічні інтенції та починає реалізувати цифрові нововведення задля їхнього досягнення, наразі це приносить лише помірний результат.

Тепер перейдемо безпосередньо до розгляду динаміки змін показників різних сфер сталого розвитку на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Для початку сформуємо таблицю показників, які будемо аналізувати (табл. 2.5)

Таблиця 2.5. – Огляд досліджуваних показників різних сфер сталого розвитку

Сфера сталого розвитку	Показник / Категорія	Метод оцінки	Складові / Джерела даних
Економічна	OEE	Розрахунок	Доступність (A), Продуктивність (P), Якість (Q)
Економічна та екологічна	Надлишкова ресурсоемність	Розрахунок	Електроємність; матеріалоемність коксу, вогнетривників; витрати води
Екологічна	CO ₂ e на 1 т кінцевої продукції	Звітність	Звіт зі сталого розвитку
Соціальна	LTIFR	Звітність	Звіт зі сталого розвитку
Соціальна	Частка навчання	Звітність	Звіт зі сталого розвитку
Цифрова трансформація	Покриття IoT технологіями	Розрахунок	Покриття IoT сенсорів, оснащеність дашбордами
Цифрова трансформація	Інтегрованість даних (Data Quality Index)	Розрахунок	Повнота, точність, латентність

Джерело: побудовано авторкою на основі таблиць 1.7-1.9

Показник загальної ефективності обладнання OEE обраховуємо за допомогою описаних в підрозділі 1.3 формул 1.1-1.8. Такі показники як CO₂e на 1 т кінцевої продукції, LTIFR та частку навчання приблизно беремо з загального звіту зі сталого розвитку від концерну ArcelorMittal[37, 63, 73], а інші показники приблизно розраховуємо з огляду на діяльність ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Результати розрахунків наводимо в таблиці 2.6.

Окрім цього, призначаємо кожному з показників відповідний ваговий коефіцієнт (ω), який буде використовуватися в подальших розрахунках інтегрального показника (I).

Таблиця 2.6. – Динаміка змін показників різних сфер сталого розвитку на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» 2022-2024 рр.

Категорія	Показник	2022	2023	2024	Ваговий коефіцієнт (ω)
Надлишкова ресурсоемність	Електроємність, МВт·год / т	6,56	6,59	6,12	0,3
	Матеріалоємність коксу, кг / т	351	341	343	0,3
	Матеріалоємність залізної руди, кг / т	1513	1431	1395	0,1
	Матеріалоємність води, кг / т	3159	3253	3149	0,1
	Матеріалоємність вогнетривників, кг / т	11,3	11,7	11,5	0,1
	Матеріалоємність флюсів, кг / т	43,5	33,7	51,9	0,1
Покриття IoT технологіями	Покриття IoT-сенсорами, %	21	23	24	0,4
	Оснащеність дашбордами, %	9	12	13	0,3
	Покриття IoT-актуаторами, %	18	21	21	0,4
Інтегрованість даних	Повнота даних, %	71	73	67	0,4
	Точність даних, %	85	83	81	0,5
	Латентність даних, с	10	10	10	0,3

Джерело: побудовано авторкою на основі власних розрахунків

Задля розрахунку інтегрального показника сталого розвитку будемо використовуватися формулу 2.1:

$$I = \sum_i \omega_i \times l_{adj\ i} \quad (2.1)$$

де I – інтегральний показник;

ω_i – ваговий коефіцієнт показника l_i ;

$l_{adj\ i}$ – нормоване значення i -того показника.

Нормоване значення показника у свою чергу розраховується на формулою 2.2:

$$l_{adj} = \frac{l - l_{min}}{l_{max} - l_{min}} \quad (2.2)$$

де l_{adj} – нормоване значення показника;

l – значення показника на умовою;

l_{max} – ідеальне, найкраще можливе значення показника;

l_{min} – найгірше можливе значення показника.

У таблиці 2.7 та рисунку 2.7 відображено результати діяльності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» в різних сферах сталого розвитку за останні роки, яку було розраховано на основі даних зі звітності[37, 63, 73].

Таблиця 2.7. – Тенденція зміни інтегрального показника сталого розвитку
ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» 2022-2024 рр.

Складова сталого розвитку	Ваговий коефіцієнт (ω)	2022	2023	2024
Економічна	0,3	0,34	0,37	0,39
Екологічна	0,25	0,25	0,29	0,30
Соціальна	0,2	0,26	0,23	0,22
Цифрова	0,25	0,15	0,18	0,20
Загальна оцінка інтегрального показника сталого розвитку (I)	1	0,25	0,27	0,28

Джерело: побудовано авторкою на основі власних розрахунків, [37, 63, 73]

Оскільки підприємство є комерційним, і його основна мета – максимізація прибутку, то, відповідна, найбільшій ваги при розподілу ω було надано саме економічній складовій сталого розвитку. Екологічній та цифровій

сферам було надано по 0,25, оскільки їм в даній роботі приділяється найбільше уваги, а соціальну сферу було оцінено на 0,2.

У цілому, можна спостерігати позитивну тенденцію при аналізі показників економічної, екологічної та цифрової складових, оскільки з 2022-го року показники постійно зростають, хоч і дуже повільно. Тільки соціальний аспект демонструє негативну динаміку: зниження показника з 0,26 у 2022-го до 0,22 у 2024-му році. Основною причиною такого результату може бути зниження кадрів через початок воєнних дій в країні.

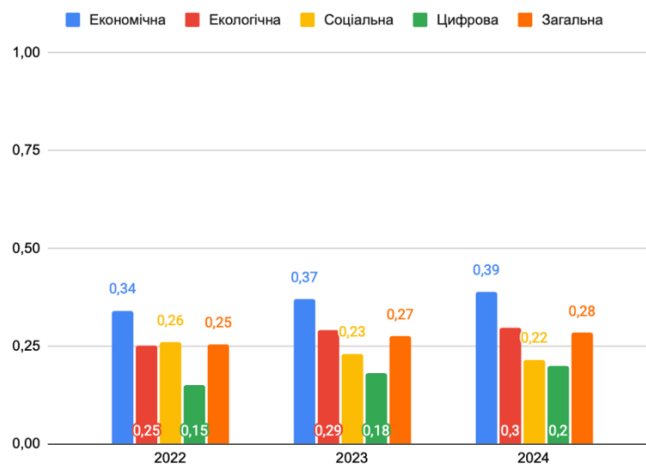


Рисунок 2.7. – Відображення тенденції зміни інтегрального показника сталого розвитку ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» 2022-2024 рр.

Джерело: побудовано авторкою на основі табл. 2.7

Як можна побачити з графіка, то тенденція змін не є сильно вираженою, що вказує на те, що за останні роки ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» не зверталася до ніяких глобальних змін в своїй діяльності. Невеличні зміни в показниках можна вважати звичайними коливаннями на фоні наявної ситуації в країні.

2.3 Виявлення проблем і резервів використання цифрових технологій для досягнення Цілей сталого розвитку на підприємстві

Тепер розглянемо проблемні аспекти діяльності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». У зв'язку із впровадженням сучасних технологій, реконструкції

та модернізації технологічного обладнання, а також зниженням потужностей виробництва через агресію РФ підприємством з 2021-го по 2023-ий рік було знижено викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря на 70%: з 210,6 тис. тонн у 2021 році до 63,6 тис. тонн у 2023 році (рис. 2.8).

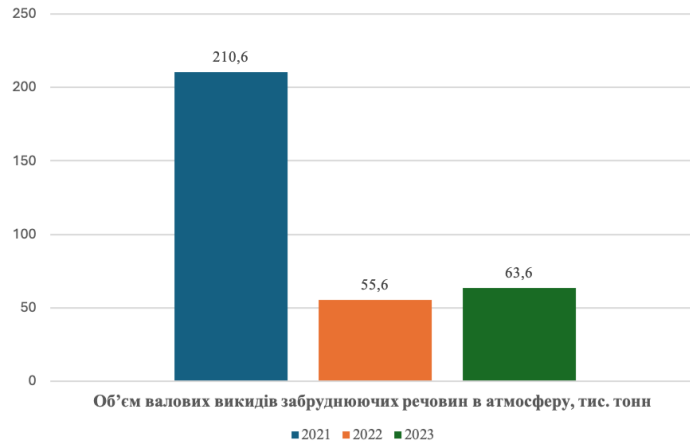


Рисунок 2.8. – Тенденція викидів забруднюючих речовин підприємством в атмосферу за 2021-2023 рр.

Джерело: побудовано авторкою на основі [74]

Також за період за 2021-2023 рр. було виконано низку екологічних заходів, а саме: в АЦ № 2 реконструйовано агломашину №3 з будівництвом нової сучасної ГОУ, а також збудовано нову ГОУ від перевантажувальних вузлів, що дозволило знизити викиди орієнтовно на 500 тонн з урахуванням номінальної потужності технологічних агрегатів; виведено з експлуатації застарілі технологічні потужності: коксові батареї №1 та №2, 5 агломашин агломераційного цеху металургійного виробництва, доменну піч №5, а також обертову піч №1 вогнетривно-вапняного цеху. Загальне зниження викидів від зупинки агрегатів склало 40,9 тис. тонн з урахуванням номінальної потужності технологічних агрегатів. Також, у 1-му кварталі 2024-го року було виведено з експлуатації доменну піч №7. Очікуване зниження викидів забруднюючих речовин складає 5,7 тис. тонн. Важливо ще зазначити, що в залежності від погоди та року, частка зеленої енергетики на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» може досягатися 27%[74], і ця частка постійно росте.

Ще інформацію, яку потрібно обов’язково взяти до уваги, – це кількість викидів CO₂e на різних заводах ArcelorMittal по всьому світі на 1 МВт·год (рис. 2.9).

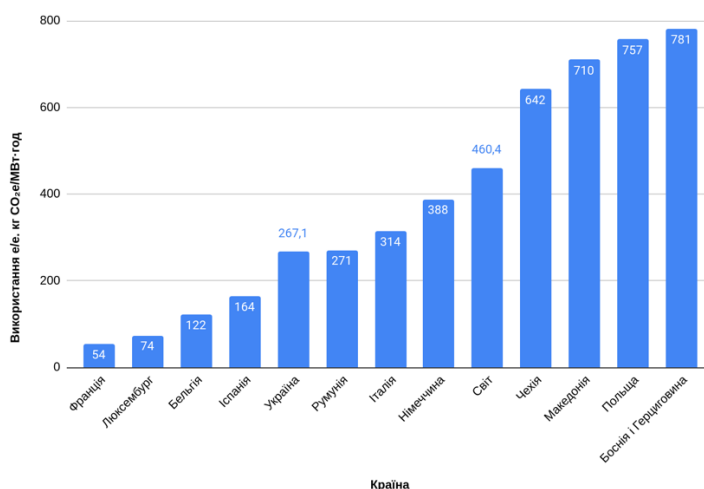


Рисунок 2.9. – Порівняння викидів CO₂e при споживанні енергії в різних країнах присутності ArcelorMittal

Джерело: побудовано авторкою на основі [74]

Як можна побачити з порівняння, в Україні значення кращі за середні, оскільки в енергосистемі України значна частка електроенергії виробляється за допомогою екологічної атомної енергії та лише мала частка із вугільних теплових електростанцій та газу. Однак, цей показник можна ще більше покращити шляхом побудови електростанцій з використанням відновлюваних енергій: сонячних та вітрових. Також потрібно взяти до увагу соціальний аспект сталого розвитку підприємства. Наприклад, на рисунку 2.10 відображено різницю кількості втраченого часу через травми та поранення на робочому місці (LTIFR) в різних країнах присутності ArcelorMittal між 2023-им та 2024-им роками.

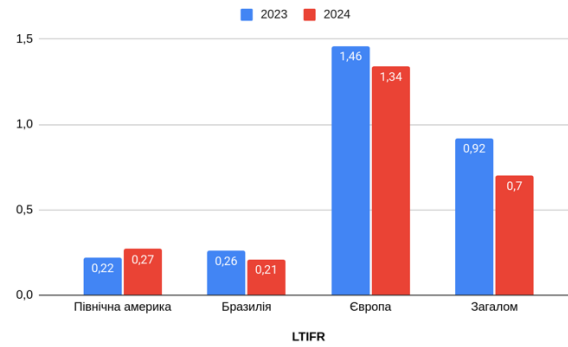


Рисунок 2.10. – Порівняння показника LTIFR в різних країнах присутності ArcelorMittal за 2023-2024 рр.

Джерело: складено авторкою на основі [74]

LTIFR (Lost Time Injury Frequency Rate), який позначає кількість травм з втратою працездатності, що сталися на робочому місці на 1 мільйон відпрацьованих годин. Тобто, як можна зрозуміти, за останні два роки найбільше втрат часу було саме у Європейському підрозділі корпорації, що також потрібно було б взяти до уваги та удосконалювати на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Тепер перейдемо до оцінки цифрової трансформації підприємства за допомогою міжнародної методики, яку ми розглядали детально в 1.3, а саме – індексу Індустрії 4.0. За експертною оцінкою, ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» має характерний стан цифровізації для другого рівня – «З'єднання» (табл. 2.8).

Таблиця 2.8. – Оцінка рівня цифрової трансформації на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» відповідно до індексу Індустрії 4.0 та експертних оцінок

Вимір	Ситуація на досліджуваному підприємстві	Перший рівень	Другий рівень	Третій рівень
Матеріальна база: сенсори	Деяке зчитування можливе лише вручну, а деяке – вже автоматизоване; деякі дані доступні в реальному часі. Відповідає рівням 1, 2 та 3.	Зчитування даних здійснюється вручну.	Зчитування даних автоматизоване.	Зчитування даних в реальному часі.
Матеріальна база: база даних	Деякі бази даних синхронізовані по підприємству, або загалом по корпорації, деякі доступні лише в межах підрозділу. Відповідає рівням 2 та 3.	Немає єдиної, синхронної бази даних.	Бази даних між підрозділами не поєднані між собою.	Є єдина база даних, доступ до якої є усюди.
Матеріальна база: машини	Печі та інші машини не мають дистанційного керування. Відповідає рівням 1 та 2.	Немає дистанційного керування.	Дистанційне керування обмежене.	Можливе дистанційне керування з мобільних пристроїв.
Культура	Культура відповідає третьому рівню цифрової трансформації.	Культура ієрархічна, низька ініціативність, гнучкість мислення, низьке сприйняття змін.	Трохи краще сприйняття змін, ніж на першому рівні, але мислення, в цілому, залишається тим самим. Цифровізація сприймається як виклик, а не як можливість полегшити роботу.	Формується культура навчання та інновацій, бачення процесів стає гнучкішим.
Організаційна структура	Організаційна структура відповідає другому рівню.	Структура процесів статична, обмін здійснюється файлами.	Можливість ділитися інформацією через спільні цифрові інструменти, наявна швидка комунікація між підрозділами.	Структура процесів стає подібна до структури компанії, можна відслідковувати процеси в компанії у реальному часі.

Джерело: побудовано авторкою на основі [48, 52] та експертних оцінок

Під час аналізу було оцінено такі аспекти функціонування підприємства як: наявність та рівень впровадження сенсорів, баз даних і машин, а також було розглянуто особливості культури та організаційної структури ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та їхню відповідність ідеям цифрової трансформації. В залежності від наявної ситуації на підприємстві кожному аспекту розгляду було присуджено рівень 1, 2 або 3 з обґрунтуванням, а також надано короткий огляд, чому та чим саме кожен аспект відповідає або не відповідає відповідному рівню.

Таким чином, комп'ютери на підприємстві з'єднані між собою у певну мережу, за допомогою якої здійснюється обмін даних, але ці системи є фрагментованими, що притаманно цьому рівню цифрової трансформації. На третьому рівні системи мають бути вже добре поєднані між собою і дані мають бути добре доступними усюди. На підприємстві також вже наявні деякі джерела даних, такі як датчики, але їх кількість недостатня для аналітики третього рівня. Також деякі датчики застарілі і не мають автоматичної передачі даних, тобто оператор має здійснювати зчитування даних вручну, як і їхнє введення, без можливості керувати ними віддалено. Організаційна ІТ-структура ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» розпорошена, а культура демонструє ієрархічне мислення, низьку ініціативність та гнучкість, що характерно для перших двох рівнів ЦТ.

Оцінимо також окремо наявність та ступінь впровадження різних цифрових інструментів на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за допомогою методу експертної оцінки від 0 до 10, де 0 – повна відсутність на підприємстві, а 10 – повна налагодженість та використання на підприємстві. Результати наводимо в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9. – Оцінка впровадження різних інструментів цифрової трансформації на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Напрямок цифрової трансформації	Ключові інструменти та технології	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	Загальна оцінка
Big Data та штучний інтелект (AI)	Машинне навчання	6	7	5	6
	Нейронні мережі	4	5	4	4,3
	Комп'ютерний зір	5	3	3	3,7
	Predictive & prescriptive analytics	3	2	4	3,0
	Алгоритми розпізнавання аномалій	5	3	3	3,7
Промисловий Інтернет речей (IIoT)	Сенсори температури, тиску, газів	9	6	7	7,3
	PLC-контролери	5	4	3	4,0
	Edge computing	4	5	4	4,3
	Хмарні платформи	6	5	4	5,0
	Автоматизовані актуатори	7	6	5	6,0
Цифрові двійники (Digital Twins)	3D-моделі обладнання	1	0	1	0,7
	Симулятори технологічних процесів	3	2	3	2,7
	AI-моделі оптимізації	2	4	3	3,0
	Інтеграція з IIoT-сенсорами	3	2	4	3,0
	Хмарні аналітичні платформи	4	4	3	3,7
Віддалений моніторинг і доступ	SCADA-системи	4	3	5	4,0
	Веб-дашборди	5	4	4	4,3
	Мобільні панелі управління	3	2	4	3,0
	Відеоаналітика	6	4	3	4,3
Аналітика для прийняття рішень (AI-driven analytics)	Predictive analytics	4	3	2	3,0
	Prescriptive analytics	5	4	3	4,0
	Ризикові AI-моделі	3	4	2	3,0
	Алгоритми оптимізації	4	3	4	3,7
ERP-системи	ERP (SAP, Oracle)	7	4	2	4,3
	MRP/MRP-II	5	3	4	4,0
	MES	6	6	3	5,0
	HRM-модулі	5	3	3	3,7

Продовження таблиці 2.9

Напрямок цифрової трансформації	Ключові інструменти та технології	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	Загальна оцінка
CRM-системи	CRM-платформи	3	2	3	2,7
	Аналітика клієнтських даних	2	3	4	3,0
	Автоматизація комунікацій	4	3	2	3,0
SCM-системи (управління ланцюгами постачання)	SCM-платформи	3	3	3	3,0
	WMS	2	2	4	2,7
	TMS	3	3	1	2,3
	Lean / Just-in-Time	5	2	2	3,0
	Big Data у прогнозуванні	4	4	3	3,7

Джерело: розроблено авторкою на основі таблиці 1.3 та експертних оцінок

Отже, з даного аналізу можна зробити висновок, що на підприємстві наразі багато з розглянутих раніше інструментів цифрової трансформації досі не достатньо впроваджені, тому знаходяться, відповідно, в «червоній» зоні, і багато з яких імплементовано лише частково, тому їх розміщено в «помаранчевій» зоні. Єдиний інструмент, який знаходиться в «зеленій» зоні – це сенсори температури, тиску та газів, які ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» активно залучає під час виробничих процесів.

А тепер розглянемо, як саме недостатня цифровізація підприємства впливає на його сталий розвиток, тобто на досягнення цілей ЦСР (табл. Л.1 додатку Л). Отже, на основі аналізу різних груп проблем на підприємстві, а саме: технічні проблеми; проблеми, пов'язані з цифровою інфраструктурою; структурно-управлінські (організаційні) проблеми; проблеми, пов'язані з людським капіталом; проблеми фінансування (додаток М), можна сформулювати декілька проблемних аспектів діяльності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», які потрібно удосконалити, щоб пришвидшити цифрову трансформацію підприємства в межах її сталого розвитку.

По-перше, потрібно звернути увагу на технічну базу підприємства, оскільки доменні та прокатні цехи наразі функціонують на базі застарілого обладнання, що в свою чергу ускладнює впровадження інтегрованих цифрових систем управління.

По-друге, на підприємстві відсутня чітка та цілісна цифрова інфраструктура, тобто хоча окремі виробничі ділянки вже мають автоматизовані системи моніторингу, однак вони не інтегровані у єдине інформаційне середовище, що призводить до проблем із достовірністю даних, обмежує можливість аналітики «в реальному часі» і в результаті унеможливорює впровадження штучного інтелекту та інших інструментів цифровізації для оптимізації процесів.

По-третє, енергетична та екологічна складові виробництва залишаються доволі вразливими, навіть не зважаючи на те, що ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» поступово скорочує обсяги викидів і підвищує енергоефективність, але процес модернізації підприємства залишається низьким. Крім того, впровадження «зеленої» сталі супроводжується високими витратами та низьким рівнем внутрішнього попиту на такі продукти. Враховуючі наявні проблеми з фінансовим становищем підприємства, це може викликати додаткові труднощі.

По-четверте, особливої уваги потребує підготовка кадрів до нових цифрових технологій, тому що частина персоналу не має достатніх компетенцій для роботи з інтелектуальними системами управління, що може створити додаткові бар'єри під час цифрової адаптації.

Отже, якщо підсумувати вище зазначені пункти, то головні проблеми зводяться до технічної відсталості, нецілісності цифрових систем, недостатнього рівня екологічної інноваційності та потреби у розвитку людського капіталу. Саме на ці проблемні аспекти ми будемо орієнтуватися

під час розробки пропозицій для покращення діяльності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Висновки до розділу 2

У підрозділі 2.1 було надано загальну характеристику ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Було розглянуто основні види діяльності підприємства, його цінності, організаційно-правову форму, організаційну структуру та основні види продукції, які виробляються. Було побудовано мапу стейкхолдерів, а також канву бізнес-моделі підприємства. Проаналізовано детальну структуру основних департаментів підприємства, а саме: гірничого, коксохімічного, прокатного та департаменту з виробництва чавуну та сталі. Розглянуто вплив департаментів на сталий розвиток: на соціальну, економічну та екологічну сфери. Також розглянуто стан цифровізації на цих підрозділах. Проілюстровано структуру експорту продукції до та після початку повномасштабного вторгнення РФ. Було проаналізовано основні фінансові показники операційної діяльності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за останні чотири роки: з 2020-го по 2024-ий. Побудовано різні графіки зміни таких показників, як валовий прибуток (збиток), фінансовий результат до оподаткування, фінансовий результат від операційної діяльності та чистий фінансовий результат. Досліджено також динаміку зміни активів підприємства за останні три роки. Побудовано графіки тенденції зміни оборотності загальних активів, оборотності оборотних активів та оборотності необоротних активів.

У підрозділі 2.2 було розглянуто результати підприємства в сфері сталого розвитку. Було проаналізовано тенденцію викидів забруднюючих речовин підприємством в атмосферу за останні три роки. Було оцінено рівень цифрової трансформації ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» відповідно до

індексу Індустрії 4.0. Оцінено впровадження різних інструментів цифрової трансформації на підприємстві.

У підрозділі 2.3 було проаналізовано проблеми ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» щодо готовності до цифрової трансформації. Серед основних обмежень було виділено відсутність цифрового офісу, фрагментованість ІТ-інфраструктури, неналежна якість даних, складність впровадження алгоритмів ШІ, недостатня обладнаність датчиками підприємства, відсутність дата-центрів, непідготовленість персоналу до змін, відсутність цифрових компетенцій персоналу. Проаналізовано, як проблеми із цифровою трансформацією впливають на досягнення підприємством Цілей сталого розвитку. Сформульовано проблемні аспекти діяльності підприємства, проекти з покращення яких будуть розписані в наступному розділі 3.

РОЗДІЛ 3

ФОРМУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЦИФРОВОЮ ТРАНСФОРМАЦІЄЮ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА

3.1 Обґрунтування пріоритетних напрямів цифрової трансформації у контексті Цілей сталого розвитку

З початком повномасштабного вторгнення РФ в Україні помітно прискорилося цифровізація, що можна обґрунтувати декількома факторами. Перший фактор, який також стосується нашого підприємства, – це оптимізація персоналу. Частина людей виїхала, а частину було мобілізовано (особливо чоловіків), що безпосередньо стосується таких професій, які наявні на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Іншою причиною стало зменшення залученості підприємством людей в небезпечні процеси. Це особливо важливо під час війни, оскільки може зберегти життя людей під час повітряних атак.

Однак, важливо також враховувати світові тренди на цифровізацію. Світові лідери в цій галузі вже запроваджують різні інструменти цифровізації та й отримують від цього позитивні результати. Оскільки підприємству важливо залишатися конкурентоспроможним не лише на українському ринку, а й на світовому, а також ще й адаптуватися до умов війни, то орієнтир на цифрову трансформацію є гарним рішенням.

Як вже значно раніше, ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» зіткнулося з багатьма проблемами, такими як збитковість підприємства, нестача персоналу, брак електроенергії та інші. Проєкт цифрової трансформації є глобальним, і тому він складається із багатьох частин, кожна з яких вирішує одну або декілька перелічених проблем.

Хоча на перший погляд цифрова трансформація значно збільшує споживання електроенергії, але в деяких випадках це споживання відбувається в дата-центрах, які знаходяться здебільшого за межами України. Один із найбільших та найближчих до нашого підприємства таких дата-центрів розташований у Франкфурті-на-Майні, у Німеччині, а отже обробка та використання даних там відбувається із застосуванням електроенергії країни, що не впливає на енергосистему України, тому може функціонувати без проблем та перешкод у вигляді дефіциту електроенергії. Окрім цього, використання дата-центру гарантує безпеку даних та їх постійну доступність незалежно від ситуації в Україні. Тому ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» доцільно було б почати співпрацю з таким дата-центром, особливо в час невизначеності, в якому і само підприємство, і вся країна знаходиться.

Якщо ж орієнтуватися саме на виявлені проблемні аспекти, розглянуті більш детально в пункті 2.3, то можна сформулювати найбільш оптимальні напрями вдосконалення процесів цифрової трансформації підприємства та паралельній реалізації його цілей сталого розвитку, а саме:

1. Підвищення рівня автоматизації та інтеграції цифрових систем.
2. Формування єдиної корпоративної аналітичної платформи Big Data.
3. Розвиток та впровадження віртуальних двійників.
4. Підвищення енергоефективності та цифровий контроль за споживанням ресурсів.
5. Розвиток екологічного моніторингу та повторного використання відходів.
6. Розвиток людського капіталу та цифрових компетенцій.
7. Підвищення рівня корпоративної синергії в межах групи ArcelorMittal.

Тепер розглянемо кожен з напрямів більш детально та порівняємо їх з оглядом на екологічний, економічний та соціальний ефекти для підприємства (табл. 3.1).

Таблиця 3.1. – Напрями вдосконалення діяльності підприємства та їх ефект на чотири аспекти сталого розвитку

Напрямок вдосконалення	Соціальний ефект	Екологічний ефект	Економічний ефект	Відношення до цифрової трансформації	Ціль сталого розвитку	Актуальність / Доцільність
Підвищення рівня автоматизації та інтеграції систем	Зменшення впливу людського фактора, підвищення безпеки на робочому місці, зміщення акценту з важкої праці	Зменшення втрат енергії й ресурсів через автоматизацію процесів	Зростання продуктивності виробництва, зменшення кількості простоїв, зниження собівартості продукції	Створення інтегрованої інфраструктури IoT є основним елементом ЦТ.	Цілі №5↑, 7↑, 8↑, 9↑, 10↑, 12↑, 13↑, 16↑	Висока, є ключовою передумовою переходу до Індустрії 4.0.
Формування єдиної корпоративної аналітичної платформи (Big Data)	Розвиток цифрових компетенцій персоналу	Моніторинг викидів і споживання ресурсів у реальному часі	Підвищення точності управлінських рішень, зменшення втрат	Забезпечує збір та обробку даних, яка є основою для AI- та аналітики.	Цілі №7↑, 9↑, 12↑, 13↑, 16↑, 17↑	Висока, забезпечує прозорість і контроль даних.
Розвиток та впровадження віртуальних двійників	Безпечне навчання персоналу без ризиків для виробництва	Зменшення відходів під час експериментів	Оптимізація технологічних режимів, економія матеріалів	Є ключовим інструментом AI-оптимізації виробництва.	Цілі №5↑, 7↑, 8↑, 9↑, 10↑, 12↑, 16↑	Висока, дозволяє модернізувати виробництво без зупинок.
Підвищення енергоефективності та цифровий контроль ресурсів	Підвищення комфорту й безпечності праці через автоматизацію	Зменшення споживання енергії та викидів CO ₂	Скорочення енергетичних витрат та залежності від ресурсів	Використання IoT.	Цілі №7↑, 8↑, 9↑, 12↑, 13↑	Висока, оскільки є ключом до декарбонізації та економії витрат.
Розвиток екологічного моніторингу та повторного використання відходів	Поліпшення умов праці, зниження впливу забруднення на здоров'я	Зменшення обсягів відходів, повторне використання ресурсів	Економія на утилізації та вторинних ресурсах	Використання AI та комп'ютерного зору для екологічного контролю.	Цілі №7↑, 8↑, 9↑, 12↑	Висока, відповідає вимогам ЄС.
Розвиток людського капіталу та цифрових компетенцій	Зростання мотивації та кваліфікації персоналу, зменшення нерівності	-	Підвищення продуктивності, зниження плинності кадрів	Кадрова база для управління цифровими системами.	Цілі №5↑, 8↑, 9↑, 10↑	Висока, оскільки людський фактор є критичним для успіху ЦТ.
Посилення корпоративної синергії в межах групи ArcelorMittal	Покращення внутрішньої комунікації та обміну досвідом	Гармонізація екологічних практик у глобальному масштабі	Ефект масштабу, скорочення вартості розробок	Інтеграція у глобальну мережу цифрових ініціатив групи.	Цілі №9↑, 16↑, 17↑	Висока, дозволяє масштабувати кращі практики.

Джерело: складено авторкою на основі [1, 9, 54] та аналізу діяльності підприємства

3.2 Формування портфеля цифрових проєктів сталого розвитку та критерії їх відбору й пріоритизації

Отже, щоб охопити всі дані напрями вдосконалення, пропонується реалізація трьох основних проєктів:

- 1) Імплементация у виробничий процес розумних доменних печей.
- 2) Розробка та використання цифрових двійників доменних печей.
- 3) Впровадження розумного моніторингу відходів.

Перейдемо тепер до опису та обґрунтування кожної з названих пропозицій. Для вдосконалення діяльності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» пропонується три проєкти (табл. 3.2), які і пов'язані з цифровою трансформацією підприємства, мають безпосередній вплив на три аспекти сталого розвитку, а також відповідають визначеним ЦСР (табл. 3.3).

Перший проєкт №1 – це «Імплементация у виробничий процес розумних доменних печей». Головною метою цього проєкту виступає цифровізація процесів доменного виробництва шляхом оснащення печей системами сенсорів, автоматизації операцій та впровадження технологій штучного інтелекту. Зміст проєкту включає наступні основні цілі:

1. Встановлення датчиків температури, тиску, складу газів, вологості та інших параметрів у реальному часі.
2. Створення централізованої бази даних для збирання та зберігання усіх показників роботи печей.
3. Використання алгоритмів Big Data та AI для прогнозування поведінки системи, виявлення відхилень та оптимізації режимів плавки.
4. Автоматизація і роботизація ряду технологічних операцій (подачі шихти, регулювання подачі повітря тощо).
5. Зменшення ролі людського фактора у небезпечних ділянках виробництва.

Таблиця 3.2. – Загальний огляд пропонованих проєктів вдосконалення для ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Проект	Мета проєкту	Зміст проєкту
Проект №1 – «Імплементація у виробничий процес розумних доменних печей»	Цифровізація процесів доменного виробництва шляхом оснащення печей системами сенсорів, автоматизації операцій та впровадження технологій штучного інтелекту.	Встановлення датчиків температури, тиску, складу газів, вологості та інших параметрів у реальному часі. Створення централізованої бази даних для збирання та зберігання усіх показників роботи печей. Використання алгоритмів Big Data та AI для прогнозування поведінки системи, виявлення відхилень та оптимізації режимів плавки. Автоматизація і роботизація технологічних операцій (подача шихти, регулювання подачі повітря тощо). Зменшення ролі людського фактора у небезпечних ділянках виробництва.
Проект №2 – «Розробка та використання цифрових двійників доменних печей»	Створення цифрової моделі доменних печей, що дозволить моделювати технологічні процеси без втручання у фізичне обладнання.	Розроблення віртуальної моделі печі, яка повторює поведінку реальної печі. Використання даних із «розумних печей» для точного налаштування симуляцій. Моделювання різних сценаріїв плавки, складів шихти, температурних режимів тощо. Опрацювання алгоритмів для оптимізації технологічних параметрів. Використання хмарних обчислень і спільної аналітики в межах корпорації ArcelorMittal.
Проект №3 – «Впровадження розумного моніторингу відходів»	Створення автоматизованої системи обліку, сортування та повторного використання промислових відходів.	Оснащення виробничих ділянок системами комп'ютерного зору та сенсорними пристроями. Визначення складу, об'єму та фізико-хімічних властивостей відходів у реальному часі. Автоматичне сортування матеріалів за категоріями: повторне використання, утилізація, зовнішня переробка. Формування цифрової бази даних відходів для внутрішнього аудиту та звітності. Інтеграція системи з екологічним контролем та звітністю ArcelorMittal.

Джерело: складено авторкою

Таблиця 3.3. – Опис економічного, екологічного та соціального ефектів від пропозицій покращення

Проект	Економічний ефект	Екологічний ефект	Соціальний ефект	Ціль сталого розвитку
Проект №1 – «Імплементация у виробничий процес розумних доменних печей»	Зменшення витрат через простий обладнання. Пришвидження виробничого циклу. Підвищення якості продукції. Зменшення використання ресурсів. Економія на персоналі через автоматизацію. Кращий моніторинг продукції. Зниження енергоємності процесів.	Зменшення негативного впливу на навколишнє середовищу через зменшення простою обладнання. Зменшення та кращий контроль викидів. Зменшення використання ресурсів. Збільшення енерго-ефективності.	Підвищення рівня промислової безпеки. Зменшення кількості аварійних ситуацій. Зменшення залученості людей у важкому та шкідливому виробництві. Зменшення шкоди для здоров'я працівників. Можливість створення універсальних алгоритмів для інших підприємств ArcelorMittal. Створення нових робочих місць, де основну роль відіграє інтелектуальна праця. Опосередкований вплив на розрив у заробітній платні між працівниками. Зменшення вікової та гендерної нерівності через відсутність необхідності грубої сили. Зменшення насилля та інших правових порушень. Створення робочих місць, де можливе розкриття талантів та проведення досліджень, що приносить вищу заробітну плату. Поліпшення іміджу як більш інноваційного та екологічного підприємства.	Цілі №5↑, 7↑, 8↑, 9↑, 10↑, 12↑, 13↑, 16↑, 17↑
Проект №2 – «Розробка та використання цифрових двійників доменних печей»	Виявлення найбільш оптимальних алгоритмів виготовлення сталі. Зменшення використання ресурсів. Підвищення швидкості впровадження технологічних змін. Краще вивчення та освоєння наявних технологій та процесів сталеваріння. Зменшення витрат на проведення експериментів в реальних печах.	Пошук та впровадження більш екологічних хіміко-фізичних процесів у виплавленні металів. Зменшення використання ресурсів. Зменшення кількості шкідливих викидів в атмосферу.		
Проект №3 – «Впровадження розумного моніторингу відходів»	Зменшення витрат на сортування та утилізацію сміття. Зменшення кількості субпродуктів, які випадково утилізуються. Зменшення витрат на зберігання та транспортування відходів. Підвищення ефективності сортування.	Зменшення негативного впливу на навколишнє середовище через зменшення кількості відходів. Зростання частки повторного використання ресурсів. Підвищення прозорості екологічної звітності. Покращення якості сортування відходів.		

Джерело: побудовано авторкою

Доменні печі є основою металургійного виробництва, оскільки в них відбувається основні процеси перетворення сировини в кінцевий продукт металоплавки. Наразі найчастіше використовуються саме доменні печі. Як, наприклад, на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Також є новітні, електродугові печі, але їхнє використання обмежене виключно повторним використанням (або переробкою), тобто переплавною металобрухту. Таким чином, доменні печі залишаються найголовнішим компонентом у сталеварінні та виплавці інших металів. На даний час вони залишаються здебільшого мануальними і не сильно відрізняються за технологічністю від моменти побудови.

У свою чергу проєкт розумних доменних печей, на противагу поточному стану, передбачає оснащення їхнього обладнання значною кількістю датчиків та активаторів, роботизацію процесів із доменної печі, які на даний час виконуються людиною, та впровадження інтегрованої бази даних, тобто створення платформи Big Data та навчання штучного інтелекту для пошуку оптимальних рішень на основі отриманих даних. Також варто зазначити, що рішення, які можуть бути впроваджені на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» в перспективі можуть бути інтегровані в глобальну систему корпорації, там дані будуть збиратися та розроблятися, а також будуть оптимізуватися алгоритми не лише на основі українського представництва, а і на інших, майбутніх підприємствах ArcelorMittal.

А тепер перейдемо до розгляду проєкту, який взаємодоповнює розглянутий раніше проєкт №1. Це проєкт №2 – «Розробка та використання цифрових двійників доменних печей», основною ідеєю якого виступає створення цифрової моделі доменних печей, що дозволить моделювати технологічні процеси без втручання у фізичне обладнання. Водночас зміст проєкту включає такі пункти:

1. Розроблення віртуальної моделі печі, яка повторює поведінку реальної печі.

2. Використання даних із «розумних печей» для точного налаштування симуляцій.
3. Моделювання різних сценаріїв плавки, складів шихти, температурних режимів тощо.
4. Опрацювання алгоритмів для оптимізації технологічних параметрів.
5. Використання хмарних обчислень і спільної аналітики в межах усієї корпорації ArcelorMittal.

На даний момент на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» дослідження нових сплавів та хімічних процесів, покращення старих процесів тощо відбувається в реальних фізичних печах, що має негативний ефект як на соціальний, економічний, так і на екологічні аспекти діяльності підприємства. Тому створення віртуальних доменних печей зможе значно покращити та оптимізувати пошук алгоритмів виплавки чавуну, сталі та іншого використання доменних печей, а також анулювати відповідні перешкоди діяльності підприємства в межах сталого розвитку. Аналогічно до розумних доменних печей можна використати переваги масштабу концерну, до якого входить само ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Треба розуміти, що для такого рівня аналізу потрібні дуже значні обчислювальні потужності, тому логічно було б мати власні для моделювання різних процесів у віртуальних доменних печах. Для цього і може знадобитися інтеграція з та/або фінансова підтримка від ArcelorMittal. Також можна використати схожість між різними печами, а також знайти залежність у відмінностях доменних печей та знайти загальну залежність у виплавці сталі, чавуну, оптимізації хімічних реакцій тощо для кожної печі індивідуально із урахуванням загальних особливостей сталеваріння та чавуноваріння. Якщо враховувати реалізацію проєкту №1, то можна зібрати набагато більше даних, які потім можна використати для більш точних цифрових двійників доменних печей, які внаслідок цього можуть давати точнішу інформацію та краще оптимізувати виплавку металів.

Наступна і остання пропозиція вдосконалення – проєкт №3 – це «Впровадження розумного моніторингу відходів». Основною ідеєю проєкту є створення автоматизованої системи обліку, сортування та повторного використання промислових відходів. Зміст проєкту у свою чергу включає наступні пункти:

1. Оснащення виробничих ділянок системами комп'ютерного зору та сенсорними пристроями.
2. Визначення складу, об'єму та фізико-хімічних властивостей відходів у реальному часі.
3. Автоматичне сортування матеріалів за категоріями: повторне використання, утилізація, зовнішня переробка.
4. Формування цифрової бази даних відходів для внутрішнього аудиту та звітності.
5. Інтеграція системи з екологічним контролем та звітністю ArcelorMittal.

Таким чином, основна ідея проєкту полягає в тому, що усі відходи аналізуються, і якщо отримані відходи можна повторно переробити, як наприклад металобрухт, то вони залишаються на підприємстві для повторного використання. Окрім цього, також це рішення допоможе у сортуванні відходів, які не можуть бути повторно використанні на підприємстві. Даний проєкт базується, як і минулі, на основних компонентах, таких як, промисловий Інтернет речей, великі дані та штучний інтелект (точніше: штучний інтелект із комп'ютерним зором).

3.3 Економічне та ризик-орієнтоване обґрунтування впровадження цифрових ініціатив на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Для оцінки економічної доцільності впровадження запропонованих проєктів почнемо з розрахунку необхідних витрат на реалізацію кожного з проєктів. Почнемо з проєкту №1 – «Імплементация у виробничий процес розумних доменних печей» (табл. 3.4).

Таблиця 3.4. – Розрахунок необхідних витрат на реалізацію проєкту №1

Обладнання	Вартість за одиницю, грн	Кількість, шт.	Загальна вартість, грн
Температурні зонди (термопари типу S/R)	40 000	40	1 600 000
Газоаналізатори для доменного газу (O ₂ / CO / CO ₂)	300 000	6	1 800 000
Датчики тиску високотемпературні	35 000	20	700 000
Датчики вібрації	20 000	24	480 000
Датчики вологості та витрат повітря	25 000	12	300 000
IoT-сенсори для контролю стану фурм	50 000	12	600 000
PLC Siemens S7-1500	270 000	4	1 080 000
Промислові контролери/модулі вводу-виводу (I/O modules)	60 000	16	960 000
SCADA-сервер промисловий (rack-mounted)	500 000	-	500 000
Промислові Ethernet-комутатори (Hirschmann/Siemens Rugged)	40 000	10	400 000
Оптоволоконні кабелі та захист	25	2000	50 000
Захисні шафи для обладнання	50 000	6	300 000
Джерела безперебійного живлення (UPS industrial)	100 000	4	400 000
Промислові панелі оператора (HMI)	100 000	4	400 000
Стаціонарні дата-логери	50 000	6	300 000
Калібрувальні набори для сенсорів	-	1 комплект	120 000
Пуско-налагоджувальні роботи	-	-	1 500 000
Сума, грн	11 490 000		

Джерело: розроблено авторкою на основі власних розрахунків

Отже, для реалізації проєкту №1 потрібно залучити в загальному 11 490 000 грн.

Однак, потрібно враховувати також необхідність в щорічних витратах задля контролю впровадження та реалізації проєкту (табл. 3.5), які додатково включають 2 250 000 грн / рік.

Таблиця 3.5. – Розрахунок щорічних витрат для реалізації проєкту №1

Стаття витрат	Сума на рік, грн
Обслуговування сенсорів	1 250 000
Ліцензії SCADA/MES	400 000
Хмарні сервіси/сервер	250 000
Навчання персоналу	150 000
Кібербезпека	200 000
Сума, грн	2 250 000

Джерело: розроблено авторкою на основі власних розрахунків

Після визначення необхідних витрат, ми можемо оцінити очікувані економічні ефекти (табл. 3.6) і розрахувати показники фінансової результативності (табл. 3.7) від реалізації проєкту №1 для оцінки його доцільності. Для цього розглядаємо три можливих сценарії: найімовірний, оптимістичний та песимістичних, та складаємо зведене значення економічного ефекту (ЕЕ) за формулою 3.1:

$$EE_{\text{звед}} = \sum_i EE_i \times p_i \quad (3.1)$$

де $EE_{\text{звед}}$ – зведене значення економічного ефекту від реалізації проєкту, тобто коли враховуються всі можливі сценарії: найімовірний, оптимістичний та песимістичний;

EE_i – i -тий сценарій, тобто один з сценаріїв, який розглядається;

p_i – описує вірогідність настання i -того сценарію.

Для подальших розрахунків будемо орієнтуватися на такі значення вірогідності p_i : для оптимістичного сценарію – 0,3; для найімовірного сценарію – 0,47; для песимістичного сценарію – 0,23.

Отже, зведене значення економічного ефекту від реалізації проєкту №1 складає більше 10 млн грн, чистий річний ефект – 8,1 млн грн, рентабельність інвестицій – 70,5%, очікуваний час окупності проєкту – менше 1,5 років, а чистий приведений дохід – 25,82 млн грн.

Таблиця 3.6. – Розрахунок економічного ефекту від реалізації проєкту №1

Економічний ефект	Найімовірний сценарій	Оптимістичний сценарій	Песимістичний сценарій	Зведене значення
Зменшення перевитрат ресурсів, грн	4 300 000	6 450 000	2 150 000	-
Збільшення енерго-ефективності, грн	2 200 000	3 300 000	1 100 000	-
Зниження аварійних зупинок, грн	1 300 000	1 950 000	650 000	-
Збільшення якості, грн	1 700 000	2 550 000	850 000	-
Збільшення оборотності, грн	500 000	750 000	250 000	-
Сума, грн	10 000 000	15 000 000	5 000 000	10 350 000

Джерело: складено авторкою на основі власних розрахунків

Таблиця 3.7. – Розрахунок фінансової результативності від реалізації проєкту №1

Показник фінансової результативності		Найімовірний сценарій	Оптимістичний сценарій	Песимістичний сценарій	Зведене значення
Чистий річний ефект, грн		7 750 000	12 750 000	2 750 000	8 100 000
ROI, коефіцієнт		0,674	1,11	0,239	0,705
Payback, роки		1,482	0,901	4,178	1,418
Дохід по рокам, грн	1	8 928 571	13 392 857	4 464 285	9 241 071
	2	7 971 938	11 957 908	3 985 969	8 250 956
	3	7 117 802	10 676 703	3 558 901	7 366 925
	4	6 355 180	9 532 771	3 177 590	6 577 612
	5	5 674 268	8 511 402	2 837 134	5 872 867
NPV, грн		24 557 762	42 581 643	6 533 881	25 819 433
NPVI, роки		3,137	4,706	1,569	3,247
Вірогідність, коефіцієнт		0,47	0,3	0,23	-

Джерело: складено авторкою на основі власних розрахунків

Аналогічно до проєкту №1 розраховуємо загальні та щорічні витрати для проєкту №2 – результати наводимо в таблицях 3.8 та 3.9 відповідно. В

таблиці 3.8 компілюємо розрахунки витрат по кожній категорії, які більш детально розписано в таблиця Н.1-Н.5 додатку Н.

Таблиця 3.8. – Розрахунок необхідних витрат на реалізацію проєкту №2

Категорія витрат	Вартість, грн
Обладнання (сенсори)	4 250 000
Обчислювальна інфраструктура	5 400 000
Програмне забезпечення	13 600 000
Інженерні та проектні роботи	24 000 000
Пуско-налагодження та валідація моделі	1 300 000
Загальна вартість початкових інвестицій	48 550 000

Джерело: складено авторкою на основі таблиць Н.1-Н.5

Таблиця 3.9. – Розрахунок щорічних витрат для реалізації проєкту №2

Стаття витрат	Сума на рік, грн
Обслуговування сенсорів	600 000
Ліцензії Digital Twins	4 000 000
Хмарні сервіси/сервер	1 500 000
Навчання персоналу	600 000
Кібербезпека	900 000
Загальна сума	7 600 000

Джерело: складено авторкою на основі власних розрахунків

Таким чином, для реалізації проєкту №2 потрібно залучити першочергово 48 550 000 грн, а потім виділяти 7 600 000 грн щорічно на оснащення та контроль.

Одразу розраховуємо також очікуваний економічний ефект (табл. 3.10) та показники фінансової результативності (табл. 3.11) від реалізації проєкту №2.

Отже, отримане зведене значення економічного ефекту дорівнює 15,35 млн грн.

Таблиця 3.10. – Розрахунок економічного ефекту від реалізації проєкту №2

Економічний ефект	Найімовірний сценарій	Оптимістичний сценарій	Песимістичний сценарій	Зведене значення
Зменшення перевитрат ресурсів, грн	5 400 000	7 200 000	3 600 000	-
Збільшення енерго-ефективності, грн	3 450 000	4 600 000	2 300 000	-
Зниження аварійних зупинок, грн	2 250 000	3 000 000	1 500 000	-
Збільшення якості, грн	2 850 000	3 800 000	1 900 000	-
Збільшення оборотності, грн	1 050 000	1 400 000	700 000	-
Сума, грн	15 000 000	20 000 000	10 000 000	15 350 000

Джерело: складено авторкою на основі власних розрахунків

Таблиця 3.11. – Розрахунок фінансової результативності від реалізації проєкту №2

Показник фінансової результативності		Найімовірний сценарій	Оптимістичний сценарій	Песимістичний сценарій	Зведене значення
Чистий річний ефект, грн		7 400 000	12 400 000	2 400 000	7 750 000
ROI, коефіцієнт		0,152	0,255	0,049	0,160
Payback, роки		6,561	3,915	20,229	6,264
Дохід по рокам, грн	1	13 392 857	17 857 142	8 928 571	13 705 357
	2	11 957 908	15 943 877	7 971 938	12 236 926
	3	10 676 703	14 235 604	7 117 802	10 925 826
	4	9 532 771	12 710 361	6 355 180	9 755 202
	5	8 511 402	11 348 537	5 674 268	8 710 002
NPV, грн		5 521 643	23 545 524	-12 502 237	6 783 314
NPVI, роки		1,114	1,485	0,742	1,14
Вірогідність, коефіцієнт		0,47	0,3	0,23	-

Джерело: складено авторкою на основі власних розрахунків

Час окупності проєкту №2 – 6 років, що вказує на доволі тривалий період, однак, даний показник не виходить за межі допустимої інвестиційної тривалості для промислових модернізацій. Чистий річний ефект складає 7,75 млн грн, а ROI – 16%, що свідчить про помірний рівень рентабельності проєкту, однак проєкт залишається життєздатним. Чистий приведений дохід складає 6,78 млн грн, що вказує на високу фінансову перспективність проєкту №2.

Перейдемо тепер до проєкту №3. В таблиці 3.12 наводимо розрахунок необхідних витрат для реалізації проєкту по різних трьом категоріям (детальний розгляд в табл. П.1-П.3 додатку П), які складають 1,455 млн грн.

Таблиця 3.12. – Розрахунок необхідних витрат на реалізацію проєкту №3

Категорія витрат	Вартість, грн
Обладнання	820 000
Програмне забезпечення	520 000
Інженерні та проєктні роботи	115 000
Загальна вартість початкових інвестицій	1 455 000

Джерело: складено авторкою на основі таблиць П.1-П.3

Як щодо щорічних витрат, то вони складають 176 тис. грн (табл. 3.13).

Таблиця 3.13. – Розрахунок щорічних витрат для реалізації проєкту №3

Стаття витрат	Сума на рік, грн
Технічне обслуговування датчиків	50 000
Ліцензії на хмарні сервіси	60 000
LoRaWAN/LTE-SIM	36 000
Амортизація та ремонт	30 000
Загальна сума	176 000

Джерело: складено авторкою на основі власних розрахунків

Також оцінюємо різні показники фінансової результативності від реалізації проєкту №3 для оцінки доцільності його впровадження (табл. 3.14).

Таблиця 3.14. – Розрахунок фінансової результативності від реалізації
проєкту №3

Показник фінансової результативності		Найімовірний сценарій	Оптимістичний сценарій	Песимістичний сценарій	Зведене значення
Сума доходу, грн		1 000 000	1 500 000	500 000	1 035 000
Чистий річний ефект, грн		824 000	1 324 000	324 000	859 000
ROI, обернені роки		0,566	0,91	0,223	0,59
Payback, роки		1,766	1,099	4,491	1,694
Дохід по рокам, грн	1	892 857	1 339 285	446 428	924 107
	2	797 193	1 195 790	398 596	825 095
	3	711 780	1 067 670	355 890	736 692
	4	635 518	953 277	317 759	657 761
	5	567 426	851 140	283 713	587 286
NPV, грн		2 149 776	3 952 164	347 388	2 275 943
NPVI, роки		2,477	3,716	1,239	2,564
Вірогідність, коефіцієнт		0,47	0,3	0,23	-

Джерело: складено авторкою на основі власних розрахунків

Таким чином з таблиці 3.14 видно, що зведене значення суми доходу дорівнює 1 млн грн, а чистий річний ефект – 859 тис. грн, що вказує на економічну ефективність від впровадження проєкту. Рентабельність інвестицій складає 59%, а період окупності – більше 1,5 років, що свідчить про доволі швидку окупність та привабливість проєкту №3. Як щодо показника NPV, то він становить 2,27 млн грн, що вказує на очікувану економічну вигоду від впровадження проєкту.

Тепер розрахуємо прогнозований чистий фінансовий результат ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» на період з 2026-го по 2028-ий роки після впровадження всіх трьох проєктів за найімовірного, оптимістичного та песимістичного сценаріїв (табл. 3.15). Візуалізацію прогнозу подано на рисунку 3.1.

Таблиця 3.15. – Розрахунок чистого фінансового результату від реалізації
проектів №1-3

Роки	Чистий фінансовий результат, грн
2023	-11 800 000
2024	-8 800 000
2025	-4 400 000
<i>Прогноз без впровадження проєктів</i>	
2026	-1 200 000
2027	100 000
2028	1 500 000
<i>Найімовірний сценарій</i>	
2026	-5 752 100
2027	1 697 400
2028	3 097 400
<i>Оптимістичний сценарій</i>	
2026	-4 702 100
2027	2 747 400
2028	4 147 400
<i>Песимістичний сценарій</i>	
2026	-6 802 100
2027	647 400
2028	2 047 400

Джерело: складено авторкою на основі власних розрахунків

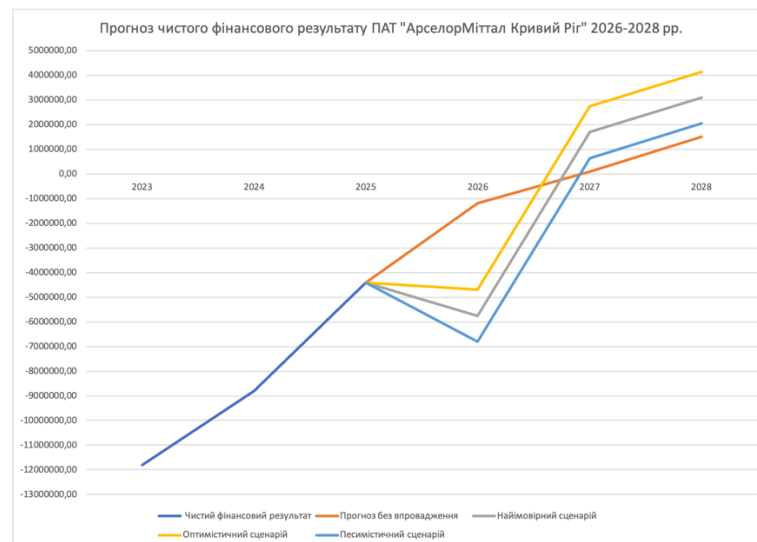


Рисунок 3.1. – Прогноз чистого фінансового результату ПАТ
«АрселорМіттал Кривий Ріг» на 2026-2028 рр. після впровадження
проектів №1-3

Джерело: побудовано авторкою на основі таблиці 3.15

Таким чином, можна зробити висновок, що при кожному з сценаріїв подій, які розглядаються, чистий фінансовий прибуток очікується більшим, ніж прогноз на основі історичних даних за період з 2023-го та 2024-го років.

Наостанок розглянемо також доцільність реалізації проєкту №1 за допомогою показника ОЕЕ (формула 1.8), для якого також розглянемо три сценарії подій: песимістичний, найімовірний та позитивний. Результати наводимо в таблиці 3.16 нижче.

Таблиця 3.16. – Розрахунок показника ОЕЕ для проєкту №1

Показник	Норма	Наразі	Песимістичний сценарій	Найімовірний сценарій	Позитивний сценарій
Загальний час роботи підприємства, год	-	720	720	720	720
Час планових зупинок, год	-	70	0	0	0
Плановий час на виробництво, год	-	650	720	720	720
Втрати на зупинку, год	-	117	108	57,6	28,8
Операційний час, год	-	533	612	662,4	691,2
Доступність (А)	$\geq 0,85$	0,82	0,85	0,92	0,96
Загальний випуск продукції, тис. тон	-	800	916	989	1032
Дійсна норма виробництва, ктон / год	-	0,520	0,595	0,643	0,670
Ідеальний час циклу, год / ктон	-	1,462	1,462	1,462	1,462
Ідеальна норма виробництва, ктон / год	-	0,684	0,684	0,684	0,684
Продуктивність (Р)	$\geq 0,85$	0,76	0,87	0,94	0,98
Загальний випуск продукції, ктон	-	1000	1000	1000	1000
Загальна кількість випущеної якісної продукції, ктон	-	800	890	930	970
Якість (Q)	$\geq 0,85$	0,80	0,89	0,93	0,97

Продовження таблиці 3.16

Показник	Норма	Наразі	Песимістичний сценарій	Найімовірний сценарій	Позитивний сценарій
OEE	<0,3 – низька ефективність, 0,3-0,6 – середня ефективність, >0,6 – висока ефективність	0,499	0,658	0,804	0,913

Джерело: розроблено авторкою на основі власних розрахунків

Отже, наразі показник загальної ефективності обладнання ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» становить 0,499 і належить до середнього рівня ефективності, а за допомогою впровадження розумних доменних печей підприємство зможе за всіх можливих сценаріїв збільшити показник до високого рівня.

Візуальне відображення результатів розрахунку OEE для проєкту №1 наведено на рисунку 3.2 нижче.

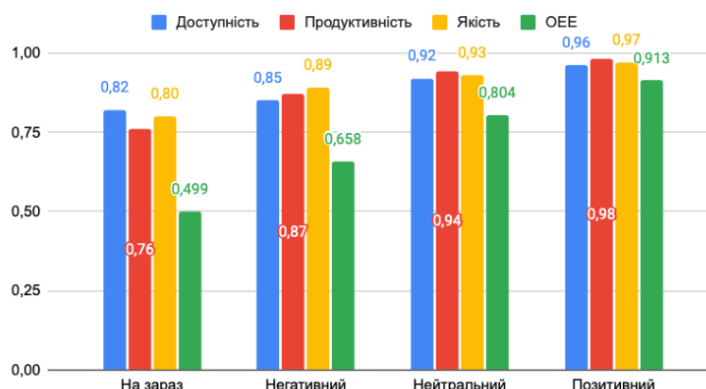


Рисунок 3.2. – Результати розрахунку показника OEE для проєкту №1

Джерело: створено авторкою на основі таблиці 3.16

А тепер перейдемо до розгляду нефінансових результатів від впровадження запропонованих проєктів на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Для цього звернемося до розрахунку інтегрального показника впливу на чотири сфери сталого розвитку: екологічну, економічну, соціальну та цифрову. Інтегральний показник розраховуємо за формулою 2.1. Однак спочатку нам треба розрахувати нормовані значення кожного з показників сталого розвитку за допомогою формули 2.2. Показниками, що

розглядаються, виступають наступні: ОЕЕ (економічна сфера), надлишкова ресурсоемність (економічна та екологічна сфери), CO₂e на 1 т кінцевої продукції (екологічна сфера), LTIFR та частка навчання (соціальна сфера), покриття IoT технологіями та інтегрованість даних (цифрова сфера).

У таблицях 3.17, Р.1 та Р.2 (додаток Р) наведено результати нормування показників для проєктів №1, 2 та 3 відповідно.

При розрахунках знову розглядаємо три можливі сценарії: найімовірний (або нейтральний), оптимістичний та песимістичний.

У таблицях зазначаємо очікуване значення *i*-того показника сталого розвитку після впровадження *i*-того проєкту, мінімальне та максимальне значення *i*-того показника, значення нормованого показника (*l*), ваговий коефіцієнт (ω), а також добуток знайдених складових ($\omega \times l$), який буде в подальшому використовуватися при розрахунку інтегрального показника.

На основі отриманих значень в таблиці 3.17 компілюємо таблицю 3.18, де виділяємо не окремо показники, а сфери сталого розвитку. Кожній сфері присуджуємо відповідний ваговий коефіцієнт (або вагу): економічна сфера – 0,3, екологічна сфера – 0,25, соціальна сфера – 0,2, цифрова сфера (або ж цифрова трансформація) – 0,25. Ще раз наголошуємо, що розподіл ґрунтується на тому, що ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є комерційним промисловим підприємством, тому найважливішу роль в діяльності компанії відіграє все ж таки фінансова результативність. Екологічна та цифрова сфери отримали по 0,25, оскільки як промислове підприємство ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» щільно пов'язане з темою екології, а цифрова трансформація відіграє важливу роль в межах сучасності. Результати розрахунку інтегрального показника для проєкту №1 наводимо в таблиці 3.18.

Таблиця 3.17. – Нормування різних показників сталого розвитку при реалізації проєкту №1

Сфера сталого розвитку	Показник	Очікуване значення після впровадження проєкту № 1				Мінімальне значення	Максимальне значення	Нормований показник (<i>l</i>)				Вага (ω)	Добуток ($\omega \times l$)			
		Базове значення	Песимістичний сценарій	Нейтральний сценарій	Позитивний сценарій			Базове значення	Песимістичний сценарій	Нейтральний сценарій	Позитивний сценарій		Базове значення	Песимістичний сценарій	Нейтральний сценарій	Позитивний сценарій
Економічна	OEE, коефіцієнт	0,5	0,66	0,8	0,91	0	1	0,5	0,66	0,8	0,91	0,2	0,1	0,13	0,16	0,18
Економічна та екологічна	Надлишкова ресурсоемність, коефіцієнт	0,83	0,55	0,48	0,42	1	0	0,17	0,45	0,52	0,58	0,2	0,03	0,09	0,1	0,12
Екологічна	CO _{2e} на 1 т кінцевої продукції, кг CO _{2e} / т сталі	267	250	220	170	500	0	0,47	0,5	0,56	0,66	0,15	0,07	0,08	0,08	0,1
Соціальна	LTIFR, коефіцієнт	1,34	1,1	0,9	0,8	2	0	0,33	0,45	0,55	0,6	0,1	0,03	0,05	0,06	0,06
	Частка навчання, коефіцієнт	0,1	0,4	0,6	0,9	0	1	0,1	0,4	0,6	0,9	0,1	0,01	0,04	0,06	0,09
Цифрова трансформація	Покриття IoT технологіями, коефіцієнт	0,2	0,5	0,7	0,9	0	1	0,2	0,5	0,7	0,9	0,1	0,02	0,05	0,07	0,09
	Інтегрованість даних (Data Quality Index), коефіцієнт	0,2	0,4	0,6	0,8	0	1	0,2	0,4	0,6	0,8	0,15	0,03	0,06	0,09	0,12

Джерело: побудовано авторкою на основі власних розрахунків

Таблиця 3.18. – Розрахунок інтегрального показника для чотирьох сфер сталого розвитку для проєкту №1

Сфера сталого розвитку	Вага (ω)	Базове значення	Песимістичний сценарій	Нейтральний сценарій	Позитивний сценарій	Зведене значення
Економічна	0,3	0,39	0,59	0,71	0,8	0,709
Екологічна	0,25	0,3	0,35	0,39	0,45	0,398
Соціальна	0,2	0,22	0,43	0,58	0,75	0,593
Цифрова трансформація	0,25	0,2	0,44	0,64	0,84	0,654
Інтегральний показник	1	0,28	0,46	0,58	0,71	0,594

Джерело: побудовано авторкою на основі таблиці 3.17

Отримані результати відображаємо у вигляді діаграми (рис. 3.3).

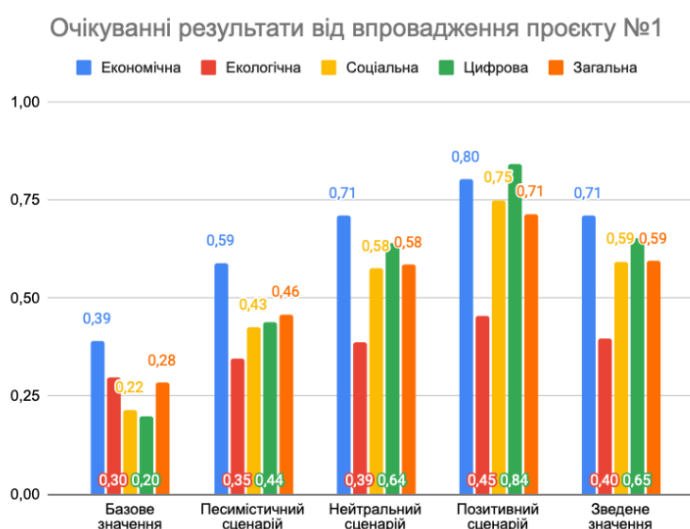


Рисунок 3.3. – Порівняння значень інтегрального показника наразі (базове значення) та після реалізації проєкту №1

Джерело: побудовано авторкою на основі таблиці 3.18

якій порівнюємо базове значення інтегрального показника, яке ми розраховували для ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» в підпункті 2.2 даної роботи, з очікуваними значеннями інтегрального показника за різних сценаріях при реалізації проєкту №1.

Аналогічно до проєкту №1 ми розраховуємо інтегральний показник для проєкту №2 (табл. 3.19). Результати розрахунку також ілюструємо за

допомогою діаграми (рис. 3.4), однак в даному разі базовими значеннями для порівняння виступають зведені значення найімовірнішого сценарію реалізації проєкту №1, оскільки проєкти №1 та 2 є взаємопов'язаними, тому результативність розрахунків та порівняння краще розглядати саме таким чином.

Таблиця 3.19. – Розрахунок інтегрального показника для чотирьох сфер сталого розвитку для проєкту №2

Сфера сталого розвитку	Вага (ω)	Базове значення	Песимістичний сценарій	Нейтральний сценарій	Позитивний сценарій	Зведене значення
Економічна	0,3	0,71	0,8	0,83	0,86	0,833
Екологічна	0,25	0,39	0,45	0,5	0,52	0,493
Соціальна	0,2	0,58	0,75	0,8	0,84	0,799
Цифрова трансформація	0,25	0,64	0,84	0,92	0,99	0,922
Інтегральний показник	1	0,58	0,71	0,76	0,8	0,763

Джерело: побудовано авторкою на основі таблиці Р.1 та власних розрахунків

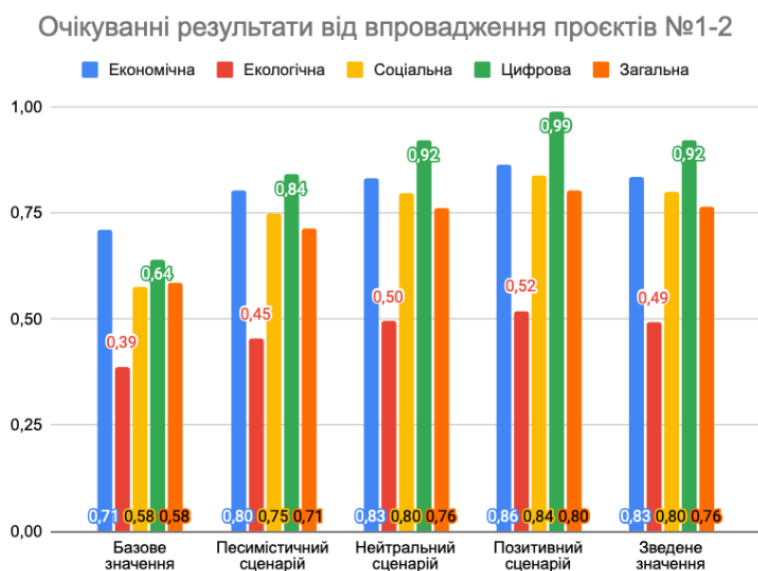


Рисунок 3.4. – Порівняння значень інтегрального показника наразі (базове значення) та після реалізації проєктів №1-2

Джерело: побудовано авторкою на основі таблиці 3.19

Таким чином, можна зробити висновок, що реалізація проєктів №1 та 2 має дуже вагомий вплив на всі сфери сталого розвитку, особливо – на цифрову. Оцінюємо також за аналогічною методикою інтегральний показник для проєкту №3 (табл. 3.20). Результати ілюструємо (рис. 3.5).

Таблиця 3.20. – Розрахунок інтегрального показника для чотирьох сфер сталого розвитку для проєкту №3

Сфера сталого розвитку	Вага (ω)	Базове значення	Песимістичний сценарій	Нейтральний сценарій	Позитивний сценарій	Зведене значення
Економічна	0,3	0,39	0,52	0,59	0,68	0,601
Екологічна	0,25	0,3	0,43	0,47	0,51	0,473
Соціальна	0,2	0,22	0,33	0,4	0,48	0,405
Цифрова трансформація	0,25	0,2	0,3	0,37	0,48	0,387
Інтегральний показник	1	0,28	0,4	0,47	0,54	0,476

Джерело: побудовано авторкою на основі таблиці Р.2 та власних розрахунків

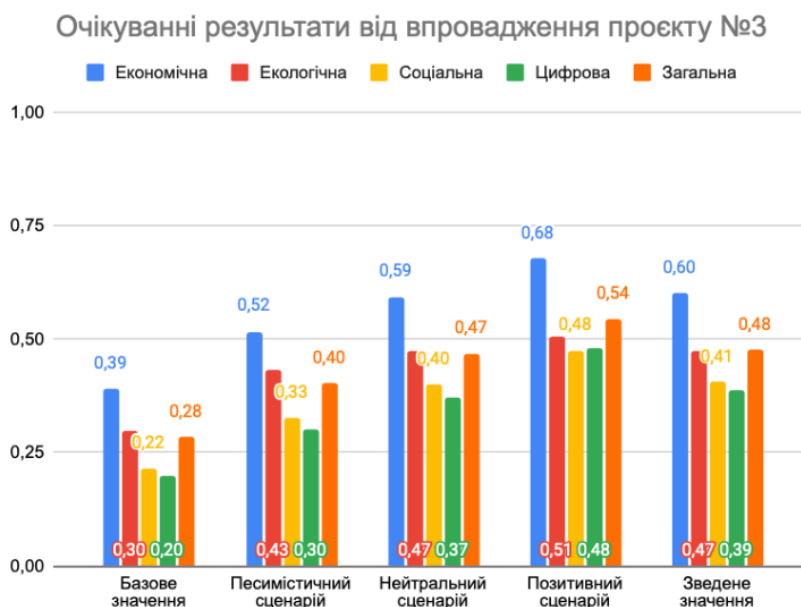


Рисунок 3.5. – Порівняння значень інтегрального показника наразі (базове значення) та після реалізації проєкту №3

Джерело: побудовано авторкою на основі таблиці 3.20

Можна побачити, що проєкт №3 також демонструє значний вплив на всі сфери сталого розвитку, але здебільшого – на екологічну.

Тепер розглянемо взаємозв'язок між очікуваними фінансовою результативністю та впливом на сфери сталого розвитку від реалізації проєктів №1-3 (рис. 3.6). На діаграмі відображено два виміри: сталий розвиток (вісь Y), який описують значення інтегрального показника для кожного з проєктів (табл. 3.18-3.20) та фінансова результативність (вісь X), яку представляє собою розрахований показник NPVI (табл. 3.7, 3.11, 3.14).

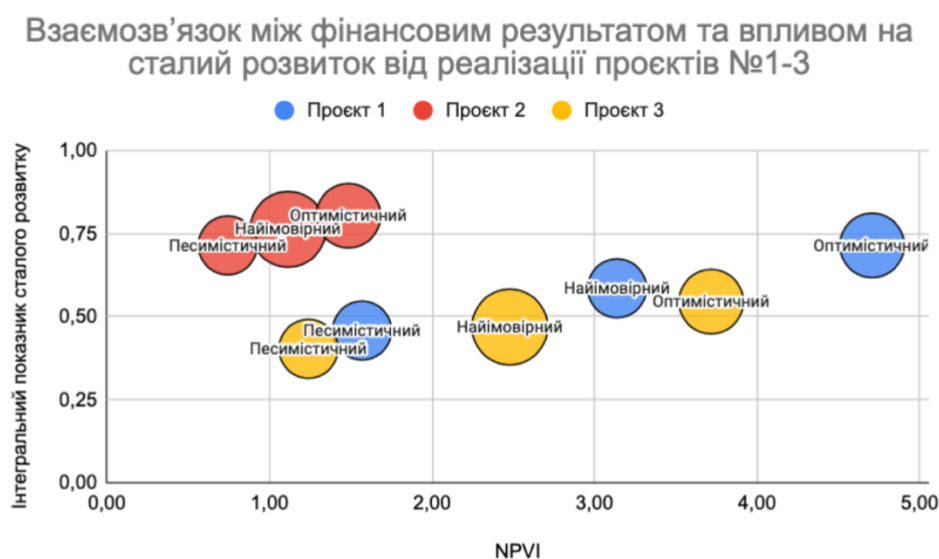


Рисунок 3.6. – Взаємозв'язок між впливом на сталий розвиток та фінансовою результативністю при реалізації проєктів №1-3

Джерело: побудовано авторкою на основі таблиць 3.7, 3.11, 3.14, 3.18-3.20

Починаючи від значення NPVI, яке більше або дорівнює 1 по осі X, проєкт вважається прибутковим. Розмір бульбашки відображає вірогідність настання зазначеного сценарію.

Таким чином, чим правіше і вище знаходиться сценарій проєкту, тим більший вплив даний проєкт має на сталий розвиток і тим більше прибутку він принесе.

Отже, всі три проєкти демонструють позитивні прогнози, за яких ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» зможе забезпечити системне зростання всіх економічних, екологічних, соціальних та цифрових показників при кожному

з розглянутих сценарії розвитку. Найбільшу цифрову та екологічну віддачу демонструє реалізація проєктів №1 та 2, водночас проєкт №3 має більш збалансований, але помірний вплив у всіх сферах. Усі три проєкти суттєво покращують базове значення, що ще раз підтверджує доцільність комплексного підходу до цифрової трансформації на підприємстві.

Також окремо підготуємо прогноз зміни енергоємності виробництва на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» при умові впровадження розглянутих проєктів (рис. 3.7).

Як видно з графіка, у 2022-2023 роках показник енергоємності становив у середньому 6,5 МВт·год / тонну, однак завдяки підвищенню рівня цифрової автоматизації та оптимізації виробничих процесів у 2024-му році він знизився до 6,12 МВт·год / тонну. Прогнозні сценарії ж демонструють ще більше покращення даного показника:

- за негативного сценарію – до 6,00 МВт·год / тонну;
- за вірогідного сценарію – до 5,60 МВт·год / тонну;
- за позитивного сценарію (тобто при повній реалізації проєктів №1, 2 та 3) – до 5,30 МВт·год/тонну.

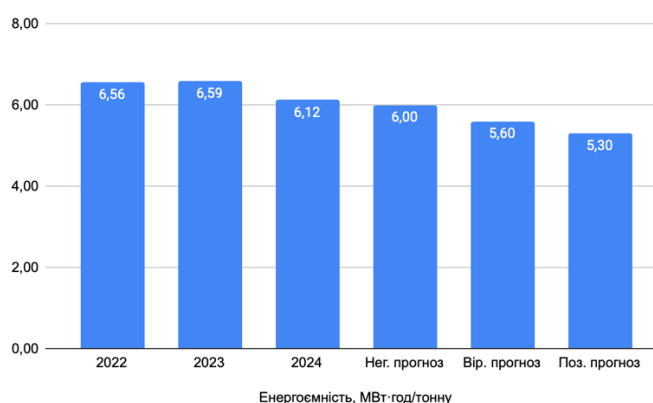


Рисунок 3.7. – Порівняння минулих показників енергоємності підприємства за 2022-2024 рр. та трьома сценаріями прогнозу
Джерело: створено авторкою на основі [37, 63, 73] та власних розрахунків

Отже, очікуване зниження енергоємності складає понад 18% порівняно з базовим рівнем, що можна вважати вагомим підтвердженням

економічної ефективності подальшої цифрової трансформації ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Така тенденція відповідає цілям ЦСР №7 («Екологічно-енергетичний вимір» або ж «Доступна та чиста енергія») та №13 («Кліматична дія» або «Боротьба зі зміною клімату»), оскільки передбачає одночасне зменшення споживання енергії та викидів CO₂.

Окремо розглянемо ризики, які може зазнати ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» при та після реалізації всіх проєктів. Для цього створюємо таблицю С.1 (додаток С), яка описує імовірні ризики, можливі наслідки та запобіжні заходи задля мінімізації втрат.

На основі таблиці К.1 створюємо карту ризиків (табл. 3.21), де кожен з представлених ризиків №1-22 класифікуємо за впливом (високий, помірний, слабкий) та ймовірністю (низька, середня, висока).

Таблиця 3.21. – Карта ризиків реалізації проєктів №1-3

Високий вплив	10	15; 18; 19	6
Помірний вплив	2; 11; 22	3; 7; 8; 12	1; 4
Слабкий вплив	13; 16; 17	9; 14; 21	5; 20
	Низька ймовірність	Середня ймовірність	Висока ймовірність

Джерело: створено авторкою на основі таблиці С.1

Таким чином, найбільш ймовірним та ризиком з найбільшим ризиком було визначено «кібератаки» – вони розташовані в темно-червоній зоні карти. Після них за ймовірністю та впливом йдуть «залежність від одного інтегратора», «залежність від одного системного інтегратора», «недостовірність моделей ШІ», «висока вартість обчислень», «ускладнена інтеграція старого обладнання» та «низькі компетенції персоналу», які розташовано в червоній зоні. Інші ризики розміщено в помаранчевій, жовтій та зеленій зонах.

Як рекомендацію по реалізації проєктів №1-3 доцільно розробити дорожню карту (табл. 3.22), яка буде охоплювати п'ять основних етапів:

- 1) Підготовчий етап;
- 2) Технологічна інтеграція;

- 3) Етап навчання персоналу та зміни культури;
- 4) Пілотування та масштабування;
- 5) Контроль та оптимізація.

Розрахуємо одразу приблизну тривалість проєктів. Реалізація етапів 1-4 проєкту №1 («Імплементация у виробничий процес розумних доменних печей») триватиме приблизно 10 місяців.

Як щодо проєкту №2 («Розробка та використання цифрових двійників доменних печей»), то він триватиме приблизно 15 місяців, однак, потрібно взяти до уваги, що проєкт №2 безпосередньо ґрунтується на результатах проєкту №1. Проєкт №2 потребує не лише значної цифрової інфраструктури, а й значного обсягу накопиченої інформації для максимальної ефективності. За індексом Індустрії 4.0 повноцінні цифрові двійники характерні для п'ятого рівня. Третій рівень, наступний рівень, перехід на який ставиться за мету в цій роботі, характеризується появою цифрових тіней. На другому рівні їх ефективність обмежена. Для перетворення обладнання в розумне потребується значна цифрова інфраструктура, на яке потрібні великі інвестиції. Тому потрібно почати із «пляшкового горнятка» підприємства, тобто того обладнання, яке створює найбільшу додану вартість: доменні печі. Саме тому проєкт №2 має починатися лише по завершенню проєкту №1. Через це фактична календарна тривалість проєкту №2 складатиме 25 місяців.

Проєкт №3 («Впровадження розумного моніторингу відходів») є незалежним, тому може проходити паралельно до проєкту №1 або 2. Він також є найкоротшим – усього 6,5 місяців на чотири етапи.

Як для проєкту №1, для №2, так і для №3 п'ятий етап є постійним і є необмеженим по часу.

Таблиця 3.22. – Дорожня карта впровадження проєктів №1-3

Етап	Проект 1	Проект 2	Проект 3
Підготовчий етап	Виконується оцінка доцільності реалізації проєктів, пошук фінансових ресурсів та створення загальної інтегрованої корпоративної платформи. Проводиться: побудова плану та дорожньої карти реалізації проєктів, проєктування, закупівля обладнання та софту, підготовка персоналу.		
	Оцінка можливого розташування IoT-обладнання у печах і комунікаційного обладнання. З'єднання їх із загальною цифровою інфраструктурою. Тривалість: 1 місяць.	Оцінка ефективності розумних печей та зібраних масивів інформації, розміри баз даних. Тривалість: 1 місяць.	Оцінка поточної системи сортування відходів та плану впровадження комп'ютерного зору та іншої IoT-інфраструктури в систему моніторингу сміття. Тривалість: 15 діб.
Технологічна інтеграція	Інтеграція нових IoT-пристроїв у стару систему: встановлення IoT-пристроїв, сенсорів та актуаторів. Налагодження швидкісного зв'язку до сервера. Розгортання софту на сервері компанії чи у хмарі. Встановлення систем безперебійного живлення. Проведення пускових робіт та тестовий запуск.		
	Встановлення шлюзів з'єднання старих сенсорів із новою інфраструктурою. Тривалість: 2 місяці.	Розгортання цифрового двійника та запуск розумної платформи. Тривалість: 2 місяці.	Встановлення роботизованої системи із машинним зором. Закупівля систем ШІ. Тривалість: 1 місяць.
Етап навчання персоналу та зміни культури	Проведення навчання настанови персоналу щодо впровадження оновленої цифрової культури. Вказуються оновлені правила безпеки та користування старим обладнанням. Навчання щодо користування сервером та налаштування платформ, керування IoT-пристроями, налаштування шлюзів з'єднання.		
	Навчання користуванням розумними доменними печами, вивчення нових можливостей старих печей. Тривалість: 3 місяці.	Навчання щодо налаштування, контролю, моніторингу цифрових двійників. Тривалість: 6 місяців.	Навчання щодо контролю систем із комп'ютерним зором, роботами із розумної системи моніторингу сміття. Тривалість: 2 місяці.
Пілотування та масштабування	Проведення пілотного запуску системи. Аналіз результатів пілотної роботи та доцільність й можливість масштабування системи. Первинне навчання ШІ та створення підґрунтя для наступних рівнів цифрової трансформації для масштабування не лише в ширину, а й в глибину.		
	Оснащення та обслуговування першої експериментальної доменної печі. Тривалість: 4 місяця.	Створення цифрового двійника на базі однієї розумної печі. Покращення. Тривалість: 6 місяців.	Розгортання 3D-зору, використання вже існуючих сетів цифрових даних та адаптація до даних відходів підприємства. Тривалість: 3 місяці.
Контроль та оптимізація	Проведення регулярного контролю правильності функціонування впроваджених проєктів, систем ШІ, сенсорів тощо. Регулярне перенавчання та оптимізація.		
	Вивчення можливостей використання нових шляхів на розумних печах.	Пошук оптимальніших шляхів виробництва на віртуальних печах. Контроль.	Постійна оптимізація алгоритмів визначення та утилізації відходів.

Джерело: створено авторкою на основі власних ідей

Висновки до розділу 3

У підрозділі 3.1 було розглянуто пріоритетні напрямки цифрової трансформації, тенденції щодо цифровізації підприємств, у країні, на корпоративному рівні, по галузі та в світі в загальному. Як ці тренди та виклики, із якими зіткнулося підприємство, впливають на конкурентоспроможність підприємства. Сформовано напрями вдосконалення процесів цифрової трансформації підприємства та реалізації Цілей сталого розвитку. Розглянуто напрями вдосконалення діяльності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та їхній ефект на чотири аспекти сталого розвитку: економічний, екологічний, соціальний та цифровий. Запропоновано реалізувати три проєкти. Представлено їхній опис, мету та зміст. Оцінено економічний, екологічний та соціальний ефекти від впровадження проєктів.

У підрозділі 3.2 проведено експертну оцінку на вплив від впровадження проєктів №1-3. Проаналізовану експертну оцінку. Наведено детальну оцінку коефіцієнтів загальної ефективності обладнання при трьох різних сценаріях: песимістичному, найімовірному та позитивному. Наведено історичні значення енергоємності та прогнозовані значення на 2026-2028 роки. Наведено кошторис для усіх трьох проєктів: одноразові інвестиції, щорічні витрати та показники очікуваного економічного ефекту. Розраховано показники економічної ефективності, такі як ROI, Payback, NPV, NPVI. Розраховано зведений показник. Оцінено та показано, як зміниться динаміка прибутку підприємства після реалізації проєктів у 3-х сценаріях та у зведеному. Порівняно із ситуацією, коли проєкти не впроваджені. Проаналізовано економічну доцільність від їх реалізації. Наведено розрахункову оцінку зведених показників сталого розвитку. Розраховано зведений показник усіх 4-х компонентів сталого розвитку та загальний, інтегральний показник сталого розвитку за сучасним становищем на підприємстві, а також для кожного

проєкту за 3-а різними сценаріями розвитку та за зведеним сценарієм, який враховує кожен із сценаріїв із урахуванням ймовірнісної оцінки. Наведено діаграму, на якій показано економічний та сталий вплив від реалізації проєктів на підприємство. проведено аналіз ризиків, описаний ефект при настанні ризиків та запобіжні заходи проти них. Класифіковано усі ризики за вірогідністю та тяжкістю наслідків, побудовано матрицю ризиків.

У підрозділі 3.3 створено дорожню карту впровадження, описано дії на кожному етапі для кожного проєкту. Оцінено тривалість етапів. Проаналізовано черговість виконання проєктів.

ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі було визначено роль цифрової трансформації як інструмента досягнення Цілей сталого розвитку промислового підприємства на основі отриманих теоретичних, методичних та практичних результатів під час дослідження. Узагальнення результатів дозволило сформулювати наступні висновки:

1. *Уточнені теоретичні засади сталого розвитку та цифрової трансформації.* На основі аналізу наукових джерел розкрито сутність та принципи сталого розвитку, визначено міжнародні Цілі сталого розвитку та відображено їхню релевантність для промислових підприємств. Концепцію сталого розвитку розширено до чотиривимірної моделі, де поряд з економічною, екологічною та соціальною складовими виділено окремо цифрову складову, що формує основу існування всіх інших аспектів.

2. *Сформовано узагальнену характеристику цифрової трансформації та її ролі у досягненні Цілей сталого розвитку.* Визначено сутність, напрями та інструменти цифрової трансформації, а також показано, як ці технології сприяють підвищенню енергоефективності, зниженню викидів, підвищенню рівня безпеки праці та економічній результативності підприємства. Розкрито методологічні підходи до оцінювання впливу цифровізації на екологічні, економічні, соціальні та цифрові показники сталого розвитку, зокрема Industry 4.0 Maturity Index, індекси готовності до цифровізації та показники ресурсоефективності.

3. *Проведено всебічний аналіз діяльності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».* Надано характеристику підприємства, його бізнес-моделі, виробничої структури, фінансово-економічних результатів, екологічних та соціальних показників за останні роки. Визначено зміни, які відбулися внаслідок повномасштабного вторгнення РФ, зокрема зниження обсягів виробництва,

збільшення навантаження на ресурси, кадрові втрати та високий рівень зношення інфраструктури.

4. *Оцінено поточний рівень цифровізації та досягнення ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» у сфері сталого розвитку.* За допомогою індексу Індустрії 4.0 підприємству було призначено 2 рівень цифрової трансформації. Виявлено недостатню оснащеність сенсорами, фрагментованість ІТ-інфраструктури, відсутність дата-центрів, низьку якість даних, нестачу цифрових компетенцій персоналу та слабку інтегрованість цифрових систем. Водночас встановлено наявність реалізованих цифрових ініціатив, що підтверджує потенціал підприємства до поглиблення цифрової трансформації.

5. *Визначено ключові проблеми та бар'єри цифрової трансформації та сталого розвитку ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».* Серед основних проблем визначено: високий рівень ресурсомісткості виробництва, значні обсяги викидів CO₂ та забруднюючих речовин, низький рівень автоматизації, ризики промислової безпеки, недостатній рівень навчання персоналу, відсутність прозорості цифрової інфраструктури та інтегрованої системи моніторингу.

6. *Запропоновано три проекти цифрової трансформації, спрямовані на досягнення Цілей сталого розвитку:*

Проект №1 — впровадження розумних доменних печей;

Проект №2 — створення й використання цифрових двійників доменних печей;

Проект №3 — впровадження системи розумного моніторингу відходів.

Проекти комплексно впливають на економічний, екологічний, соціальний та цифровий аспекти діяльності підприємства: зменшують витрати, знижують викиди CO₂, зменшують травматизм, підвищують якість даних та рівень автоматизації.

7. Обґрунтовано економічну ефективність трьох проєктів цифрової трансформації. Проведено експертну оцінку, розраховано OEE, ROI, NPV, Payback, інтегральні показники впливу на сталий розвиток. На основі трьох сценаріїв (песимістичного, найімовірнішого та оптимістичного) побудовано прогноз чистого фінансового результату підприємства. У всіх трьох сценаріях реалізація проєктів демонструє поліпшення фінансових показників порівняно з прогнозом без цифровізації, причому: оптимістичний сценарій забезпечує найвищий приріст чистого фінансового результату; найімовірніший сценарій демонструє стабільне покращення динаміки прибутковості; песимістичний сценарій також перевищує прогноз без упровадження, що свідчить про низький ризик збитковості проєктів.

8. *Розраховано інтегральний показник впливу проєктів на сталий розвиток.* Усі три проєкти показали позитивний внесок у чотири виміри сталості: економічний – зростання ефективності, зменшення витрат, підвищення прибутку; екологічний – зниження викидів, зменшення відходів, підвищення енергоефективності; соціальний – покращення промислової безпеки, зростання інклюзивності, розвиток персоналу; цифровий – підвищення цифрової зрілості, якості даних, автоматизації та прозорості процесів.

9. *Розроблено дорожню карту впровадження проєктів цифрової трансформації.* Побудовано послідовність дій за етапами, оцінено строки реалізації, визначено контрольні точки, ресурси, відповідальних осіб і систему моніторингу. Проаналізовано ризики реалізації проєктів та сформовано матрицю ризиків із заходами мінімізації.

Отже, на основі отриманих результатів можна зробити висновок, що цифрова трансформація має розглядатися не як окремий напрям модернізації промислового підприємства, а як допоміжний інструмент для досягнення сталості та реалізації Цілей сталого розвитку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Brundtland, G.H. (1987) Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development. Geneva, UN-Dokument A/42/427. URL: <http://www.un-documents.net/ocf-ov.htm>.
2. Дергачова В.В., Колешня Я.О. Цифровізація бізнес-середовища та бізнес-процесів задля динамічного розвитку в умовах пандемії. Сталий розвиток — XXI століття. Дискусії 2021. : колективна монографія / за ред. проф. Хлобистова Є.В. Київ, 2021. С.264-270.
3. Бездетко, К., & Серьогіна, Д. (2025). СТАЛИЙ РОЗВИТОК: ЕВОЛЮЦІЯ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТА СУЧАСНІ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ. Економіка та суспільство, (76). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-76-4>
4. Сабовчик А., Повович А. «Визначення поняття та цілі сталого розвитку». Вісник права УжНУ, 2024. URL: <https://visnyk-juris-uzhnu.com/wp-content/uploads/2025/01/63-1.pdf>.
5. Васильєва О.І., Васильєва Н.В.. Концептуальні засади сталого розвитку територіальних громад/ Інвестиції: практика та досвід. 8/2018. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.investplan.com.ua/pdf/8_2018/17.pdf.
6. Самофатова В.А. “Сталий розвиток агропродовольчої сфери регіону: теорія, методологія, управління: Монографія”. Одеса: Астропринт, 2017. С. 86. <http://kaf.ep.ontu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/09/samofatova-monography-2021.pdf>.
7. Лелеченко А. «Феномен поняття “Сталий розвиток”». Електронний журнал «Державне управління: удосконалення та розвиток № 12 (2017). <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=1649>.
8. Дергачова В.В. Аналіз сталого розвитку — глобальний і регіональний контексти / за наук. кер. проекту К.: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2019. Ч. 1. Глобальний аналіз якості і безпеки життя (2019). 216 с. URL: <http://wdc.org.ua/sites/default/files/SD2019-P1-FULL-UA.pdf>.
9. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року : Указ Президента України від 30.09.2019 № 722/2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text> (дата звернення: 07.08.2025).
10. Деякі питання забезпечення досягнення Цілей сталого розвитку в Україні: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 29.11.2024 № 1190-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1190-2024-%D1%80#Text> (дата звернення: 07.08.2025).

11. Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату від 29.10.1996 № 435/96-ВР [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_044 (дата звернення 08.08.2025).

12. Паризька угода – Ратифікація від 14.07.2016 № 1469-VIII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_161#n3 (дата звернення 08.08.2025).

13. World Steel Association – Sustainability Indicators 2024 report: Sustainability performance of the steel industry 2003-2023, November 2024. URL: <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Sustainability-Indicators-report-2024.pdf>.

14. ISO 14031:2021 Environmental management – Environmental performance evaluation – Guidelines. URL: <https://www.iso.org/standard/81453.html>.

15. International Energy Agency. Iron and Steel Technology Roadmap: Towards more sustainable steelmaking. URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/eb0c8ec1-3665-4959-97d0-187ceca189a8/Iron_and_Steel_Technology_Roadmap.pdf.

16. ISO 50001:2018 Energy management systems – Requirements with guidance for use. URL: <https://www.iso.org/standard/69426.html>.

17. Vial G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda // The Journal of Strategic Information Systems. 2019. Vol. 28(2). Pp. 118-144.

18. Словник української мови online. Томи 1-15. Сторінка 2166 із 2970. «Оцифрування» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sum20ua.com> (дата звернення: 12.08.2025).

19. Collins Dictionary. Digitize [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/digitize> (дата звернення: 12.08.2025).

20. Словотворчість незалежної України. 2012-2016 : словник [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/329487869_Slovotvorcist_nezaleznoi_Ukraini_2012-2016_Slovník (дата звернення: 12.08.2025).

21. Про забезпечення реалізації деяких питань цифрового розвитку від 09.04.2019 №v0024883-19 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0024883-19#Text> (дата звернення: 14.08.2025).

22. Діджитизація, діджиталізація, цифрова трансформація: зміст та особливості. Міхровська М.С. International scientific journal “Grail of Science”, №1, February, 2021. Ст. 128-130. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/349715623_DIDZITIZACIA_DIDZITALIZACIA_CIFROVA_TRANSFORMACIA_ZMIST_TA_OSOBLIVOS (дата звернення: 01.09.2025).

23. Kane G. C., Palmer D., Phillips A. N., Kiron D., Buckley N. Strategy, not technology, drives digital transformation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://digital.fuerstenberg-forum.de/wp-content/uploads/2014/03/57181-MIT-Deloitte-Digital2015.pdf> (дата звернення: 01.09.2025).

24. Cisco. Industrial IoT Networking Fundamentals [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/overview.html> (дата звернення: 01.09.2025).

25. Rasheed A., San O., Kvamsdal T. Digital Twin: Values, Challenges and Enablers From a Modeling Perspective // IEEE Access. 2020. Vol. 8. Pp. 21980–22012. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2970143> (дата звернення: 03.09.2025).

26. ArcelorMittal Homepage. ArcelorMittal reports third quarter 2025. 06.11.2025 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://corporate.arcelormittal.com/media/press-releases/arcelormittal-reports-third-quarter-2025> (дата звернення: 07.11.2025).

27. Інтернет-стаття. Salesforce. What is CRM? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.salesforce.com/crm/what-is-crm/> (дата звернення: 08.11.2025).

28. ArcelorMittal Homepage. Leveraging the digital economy (R&D) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://corporate.arcelormittal.com/about/research-and-development/leveraging-the-digital-economy> (дата звернення: 09.09.2025).

29. ArcelorMittal Homepage. ArcelorMittal strengthens group digital governance to accelerate digitalization roadmap (case study) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://corporate.arcelormittal.com/media/cases-studies/arcelormittal-strengthens-group-digital-governance-to-accelerate-digitalization-roadmap> (дата звернення: 12.09.2025).

30. McKinsey & Company. Unlocking success in digital transformations. 2021 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://fs.hubspotusercontent00.net/hubfs/8062603/PDFs/McKinsey-unlocking-success-in-digital-transformations.pdf>

31. ISO 14001:2015 Environmental management systems – Requirements with guidance for use, Edition 3, 2015. URL: <https://www.iso.org/standard/60857.html>.

32. Houda Mahboub, Hicham Sadok, Abdellah Chehri, Rachid Saadane, Measuring the Digital Transformation: A Key Performance Indicators Literature Review, Procedia Computer Science, Volume 225, 2023, Pages 4570-4579, ISSN 1877-0509. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.455>.

33. Bindeeba, D.S., Tukamushaba, E.K. & Bakashaba, R. Digital transformation and its multidimensional impact on sustainable business performance: evidence from a meta-analytic review. Futur Bus J 11, 90 (2025). <https://doi.org/10.1186/s43093-025-00511-z>.

34. Investopedia. Net Present Value (NPV) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.investopedia.com/terms/n/npv.asp> (дата звернення: 14.11.2025).

35. Investopedia. Return on Investment (ROI) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.investopedia.com/terms/r/returnoninvestment.asp> (дата звернення: 14.11.2025).

36. GMK Center. ArcelorMittal скоротив споживання електроенергії втричі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gmk.center/ua/news/arselormittal-skorotiv-spozhyvannya-elektroenergii-vtrichi/> (дата звернення: 14.11.2025).

37. ArcelorMittal. Sustainability Report 2023. Luxembourg : ArcelorMittal S.A., 2023.

38. ISO 20400:2017 Sustainable procurement – Guidance. URL: <https://www.iso.org/standard/63026.html> (дата звернення: 12.11.2025).

39. OEE site. Calculating OEE [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.oee.com/calculating-oee/> (дата звернення: 24.11.2025).

40. ISO/IEC 22505:2019 Automation systems and integration — Key performance indicators (KPI) for manufacturing operations. URL: <https://www.iso.org/standard/73356.html>.

41. ISO 14024 Environmental labels and declarations – Type I environmental labelling – Principles and procedures. URL: <https://www.iso.org/standard/72458.html>.

42. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 20.11.2025).

43. ISO 8000-220:2025 – Data Quality : Part 220 : Sensor data : Quality measurement. URL: <https://www.iso.org/standard/86062.html>.

44. ISO 62264-1:2013 – Enterprise-control system integration : Part 1 : Models and terminology. Edition 2, 2013. URL: <https://www.iso.org/standard/57308.html>.

45. Deloitte. Pivoting to digital maturity. Ragu Gurumurthy, David Schatsky, 13 March 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.deloitte.com/us/en/insights/topics/digital-transformation/digital-maturity-pivot-model.html> (дата звернення: 14.12.2025).

46. BCG. Digital Acceleration Index. 2021 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bcg.com/publications/2021/digital-acceleration-index> (дата звернення: 09.11.2025).

47. PwC. Digital IQ. How business leaders can raise their Digital IQ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.pwc.com/tr/digital-iq> (дата звернення: 14.11.2025).

48. Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten – Update 2020. Günther Schuh, Reiner Anderl, Roman Dumitrescu, Antonio Krüger, Michael ten Hompel (Hrsg.). acatech Studie, 2022 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.acatech.de/publikation/industrie-4-0-maturity-index-update-2020/> (дата звернення: 30.11.2025).

49. Llewellyn R. What is the Digital Capability Framework? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://robllewellyn.com/what-is-the-digital-capability-framework/> (дата звернення: 15.11.2025).

50. European Commission. DESI methodological note: Digital Decade report 2023. Publication 27 September 2023. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/desi-methodological-note-digital-decade-report-2023> (дата звернення: 22.11.2025).

51. IMD. World Digital Competitiveness Ranking 2024: full report. The digital divide: risks and opportunities. November 2024. URL: <https://cedakenticomedia.blob.core.windows.net/cedamediatest/kentico/media/attachments/2024/2024-digital-competitiveness-full-report-final.pdf>.

52. Der Industrie 4.0 Maturity Index in der betrieblichen Anwendung. Aktuelle Herausforderungen, Fallbeispiele und Entwicklungstrends. Günther Schuh, Reiner Anderl, Roman Dumitrescu, Antonio Krüger, Michael ten Hompel (Hrsg.). acatech

KOOPERATION, 22. April 2020 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.acatech.de/publikation/der-industrie-4-0-maturity-index-in-der-betrieblichen-anwendung/> (дата звернення: 30.11.2025).

53. ArcelorMittal. Sustainability Report 2021. Luxembourg : ArcelorMittal S.A., 2021.

54. ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukraine.arcelormittal.com> (дата звернення: 15.09.2025).

55. YouControl. Аналітична система перевірки контрагентів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://youcontrol.com.ua/contractor/?id=8325117#express-universal-file> (дата звернення: 16.09.2025).

56. Офіційний сайт ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Наші цінності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukraine.arcelormittal.com/about/our-values> (дата звернення: 21.10.2025).

57. Про акціонерні товариства : Закон України від 27.07.2022 № 2465-IX [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2465-20#Text> (дата звернення: 30.11.2025).

58. Офіційний документ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Політика в області якості [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://krr-ec-cdnen02.azureedge.net/www-static/2023/03/Polityka-v-oblasti-iakosti_.pdf.

59. Офіційний документ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Політика управління ризиками [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://krr-ec-cdnen02.azureedge.net/www-static/2023/03/Polityka-upravlinnia-ryzykamy-2022.pdf>.

60. Офіційний документ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Кодекс відповідального сорсингу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://krr-ec-cdnen02.azureedge.net/www-static/2025/08/Kodeks-vidpovidalnoho-sorsynhu-gb-2021.pdf>.

61. Офіційний документ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Процедура належної перевірки (Due Diligence) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://krr-ec-cdnen02.azureedge.net/www-static/2025/06/Procedure-for-Due-Diligence_UKR.pdf.

62. ArcelorMittal Practice. Офіційний сайт для проходження практики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arcelormittal-practice.com.ua/course>.

63. ArcelorMittal. Sustainability Report 2024. Luxembourg : ArcelorMittal S.A., 2024.

64. Офіційний документ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Екологічна політика ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://krr-ec-cdnen02.azureedge.net/www-static/2024/02/2023_EKOLOGICHNA-POLITYKA-PAT-ArselorMittal-Kryvyi-Rih.pdf.

65. Офіційний документ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Енергетична політика ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://krr-ec-cdnen02.azureedge.net/www-static/2023/01/Energy-Policy_ua.pdf.

66. Офіційний документ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Політика сталого розвитку ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://krr-ec-cdnen02.azureedge.net/www-static/2023/01/Polityka-staloho-rozvytku_ua.pdf.

67. Офіційний документ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Кодекс ділової поведінки ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://krr-ec-cdnen02.azureedge.net/www-static/2024/12/Kodeks-dilovoi-povedinky.pdf>.

68. Офіційний документ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Політика з прав людини ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://krr-ec-cdnen02.azureedge.net/www-static/2024/12/Polityka-z-prav-liudyny.pdf>.

69. Офіційний документ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Політика в області охорони праці ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://krr-ec-cdnen02.azureedge.net/www-static/2025/09/Polityka_v_oblasti_okhorony_pratsi_PAT_ArselorMittal_Kryvyi-Rih.pdf.

70. Офіційний документ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Положення про боротьбу з корупцією [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://krr-ec-cdnen02.azureedge.net/www-static/2024/11/Polozhennia-po-borotbi-z-koruptsiiei_UA.pdf.

71. Офіційний документ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Політика інформування керівництва про порушення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://krr-ec-cdnen02.azureedge.net/www-static/2024/11/Polityka-informuvannia-kerivnytstva-pro-porushennia.pdf>.

72. Офіційний документ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Порядок розгляду скарг [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://krr-ec-cdnen02.azureedge.net/www-static/2025/02/Poriadok-rozghliadu-skarh.pdf>.

73. ArcelorMittal. Sustainability Report 2022. Luxembourg : ArcelorMittal S.A., 2022.

74. Business & Human Rights Resource Centre. ArcelorMittal Kryvyi Rih response, 20 May 2024 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.business-humanrights.org/en/latest-news/arcelormittal-kryvyi-rih-response> (дата звернення: 03.12.2025).

75. ISO 31000:2018 Risk management – Guidelines [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/65694.html> (дата звернення: 01.12.2025).

76. ISO/IEC 27001:2022 Information security management, cybersecurity and privacy protection – Information security management systems – Requirements [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iso.org/isoiec-27001-information-security.html> (дата звернення: 01.12.2025).

77. Predictive Maintenance Using AI and IoT in Manufacturing. Karan Gupta and Prabhjyot Kaur Juneja. January 05, 2025. URL: https://d197for5662m48.cloudfront.net/documents/publicationstatus/239545/preprint_pdf/a019adbaf66854b8c6b8dc310117be22.pdf.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1. – Огляд прикладів реалізації національних завдань Цілей сталого розвитку на рівні підприємства

Ціль сталого розвитку	Національне завдання	Варіант реалізації завдання на підприємстві
Ціль №5: «Гендерна рівність»	5.2. Зниження рівня гендерно зумовленого та домашнього насильства, ефективна профілактика й своєчасна допомога постраждалим. 5.5. Забезпечення рівних можливостей представництва жінок і чоловіків на вищих рівнях ухвалення рішень. 5.6. Розширення економічних можливостей жінок.	Збільшення захисту працівниць на підприємстві. Збільшення частки жінок у керівництві компанії. Зменшення гендерного розриву у заробітній платі на підприємстві.
Ціль №7: «Екологічно-енергетичний вимір»	7.3. Покращення якості постачання енергетичних ресурсів. 7.4. Сприяння декарбонізації паливно-енергетичного комплексу та розвитку відновлюваної енергетики. 7.5. Раціоналізація споживання енергоресурсів, стимулювання енергоефективності та підвищення обізнаності споживачів.	Збільшення частки відновлюваної енергії із загальної енергії використаної на підприємстві. Зменшення частки відходів при виробництві. Більш раціональне використання обладнання, зменшення часу його простою.
Ціль №8: «Гідні умови праці»	8.3. Створення належних і безпечних умов праці для всіх працівників.	Зменшення залученості людей у шкідливе виробництво. Зменшення кількості травматичних випадків.
Ціль №9: «Інфраструктура та відбудова» або «Індустріалізація та інновації»	9.1. Сприяння реалізації наукового й інноваційного потенціалу дослідників та підприємців. 9.2. Підтримка інклюзивної та стійкої індустріалізації, зростання частки зайнятих у промисловості. 9.7. Сприяння відновленню та відбудові інфраструктури, зруйнованої чи пошкодженої внаслідок збройної агресії РФ проти України.	Збільшення кількості інновацій. Збільшення потенційного прибутку від інновацій. Відновлення пошкоджених об'єктів на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Продовження таблиці А.1

Ціль сталого розвитку	Національне завдання	Варіант реалізації завдання на підприємстві
Ціль №10: «Скорочення нерівності»	10.1. Зменшення розривів у доходах. 10.2. Запобігання дискримінації. 10.5. Розбудова безбар'єрної інфраструктури. 10.6. Забезпечення рівних прав і можливостей різних вікових груп.	Покращення показника Джинні на підприємстві. Зменшення випадків дискримінації. Збільшення частки приміщень обладнаних безбар'єрною інфраструктурою. Зменшення вікової дискримінації.
Ціль №12: «Стійкі моделі виробництва і споживання»	12.1. Сталий менеджмент відходів. 12.2. Зменшення втрат продовольства у виробничо-збутових ланцюгах (за наявності релевантних процесів). 12.3. Сталий менеджмент і ефективне використання природних ресурсів. 12.4. Безпечне та стале використання хімічних речовин.	Збільшення масштабів переробки відходів. Налагодження кращого моніторингу відходів. Зменшення кількості спожитих ресурсів (вугілля, заліза, води тощо) на масу кінцевого продукту. Використання сталого менеджменту. Зменшення травматичних випадків внаслідок використання травматичних речовин. Підвищення безпеки утилізації хімічних речовин. Зменшення викидів шкідливих хімічних речовин в атмосферу.
Ціль №13: «Кліматична дія»	13.1. Виконання зобов'язань за Рамковою конвенцією ООН про зміну клімату[11] та Паризькою угодою[12].	Покращення показників згідно Рамкової конвенції ООН про зміну клімату[11] та Паризької угоди[12].
Ціль №16: «Інституційна спроможність і доброчесність»	16.6. Забезпечення рівного доступу до правничої допомоги. 16.9. Зниження рівня корупції.	Збільшення доступності правничої допомоги працівникам підприємства. Проведення антикорупційних заходів та навчання персоналу.
Ціль №17: «Партнерства»	17.2. Розвиток партнерських відносин влади й бізнесу для досягнення Цілей сталого розвитку.	-

Джерело: складено авторкою на основі [1, 10-12]

Таблиця Б.1. – Взаємозв'язок принципів сталого розвитку та відповідних напрямів цифрової трансформації

Ціль сталого розвитку	Виміри сталого розвитку	Відповідний напрям цифрової трансформації
Ціль №5: «Гендерна рівність»	Збільшення захисту працівниць на підприємстві	Зі збільшенням цифровізації автоматизується важка сила та шкідливе виробництво, тому змінюються та зменшуються потреби в компетенціях, які засновані на важкій фізичній праці, і при цьому відбувається зростання потреби в персональних компетенціях, які пов'язані з інтелектуальною діяльністю та використанням комп'ютерних технологій. Оскільки здебільшого чоловіки фізично сильніші та жінки конкурують із чоловіками не на рівних умовах, то виникає нерівність у частці жінок на виробництві, розрив у заробітній платі тощо. Окрім цього, збільшення частки жінок на підприємстві полегшить кар'єрне зростання та, відповідно, їх частку у керівництві підприємства, що вплине на кращий захист та рівність жінок на підприємстві.
	Збільшення частки жінок у керівництві компанії	
	Зменшення гендерного розриву у заробітній платі на підприємстві	
Ціль №7: «Екологічно-енергетичний вимір»	Зменшення частки відходів при виробництві	За допомогою збору інформації датчиками IoT та аналізу цієї інформації ІІІ можна заздалегідь визначити брак у виробництві металу і одразу його утилізувати.
	Рациональніше використання обладнання, зменшення часу простою	За допомогою IoT можна спочатку максимально точно визначити тривалість та особливості виробничих процесів, налагодити їхню залежність без втрати часу на простої та автоматизувати їх.
Ціль №8: «Гідні умови праці»	Зменшення залученості людей у шкідливе виробництво	Збільшення роботизації та автоматизації на підприємстві зменшує залученість людини під час виробництва. Збір та моделювання інформації під час шкідливих, небезпечних процесів із використанням цифрових двійників зможе відбуватися без безпосереднього втручання людини в ці процеси.
	Зменшення кількості травматичних випадків	Використання цифрових двійників на техніці може спрогнозувати місцезнаходження працівників та передбачити можливі травми.

Продовження таблиці Б.1

Ціль сталого розвитку	Виміри сталого розвитку	Відповідний напрям цифрової трансформації
Ціль №12: «Стійкі моделі виробництва і споживання»	Збільшення переробки відходів	Із використання комп'ютерного зору можливе швидше сортування сміття на виробництві.
	Моніторинг відходів	За допомогою IoT можна відстежувати та записувати усі наявні відходи, утворюючи базу даних, так звану Big Data відходів, що у подальшому уможливає прогнозування утворення відходів.
	Зменшення кількості спожитих ресурсів (вугілля, заліза, води, тощо) на масу кінцевого продукту	За допомогою цифрових двійників можливе створення віртуальної моделі доменної печі або сталеплавильного цеху. Використовуючи ці цифрові моделі, із використанням зібраної інформації у Big Data за допомогою IoT та оптимізацією за допомогою ШІ можливо досягти оптимізації процесів без капітального переобладнання.
	Сталий менеджмент	ERP, MES та SCM-системи забезпечують інтегроване управління ресурсами, мінімізують втрати та дублювання процесів. Аналітика великих даних дозволяє прогнозувати ризики, оптимізувати виробничі плани й обслуговування обладнання (англ. <i>Predictive maintenance</i>). Роботизація та автоматизація зменшують вплив людського фактору, підвищують якість і знижують витрати.
	Зменшення кількості травматичних випадків внаслідок використання хімічних речовин	Роботизація підприємства здатна замінити працівників в шкідливих для людей місцях виробництва. За допомогою цифрових двійників можливе моделювання шкідливих процесів на комп'ютері.
Ціль №13: «Кліматична дія»	Зменшення викидів шкідливих хімічних речовин в атмосферу	За допомогою моніторингу із використанням IoT можна налаштувати сигналізування та автоматичне реагування на перевищення допустимих норм викидів, яке, може бути спричинене забрудненням чи поломкою очищувального обладнання.
Ціль №16: «Інституційна спроможність і доброчесність»	Збільшення доступності правничої допомоги працівникам підприємств	Створення додатку та сайту, куди працівники можуть подавати свої скарги та бачити реакцію та результат їхнього опрацювання, може допомогти налагодити швидку та кращу взаємодію між співробітниками підприємства.

Джерело: складено авторкою на основі [1, 8, 24, 26-27]

Таблиця В.1. – Огляд різних міжнародних методик оцінки цифрової трансформації та зрілості підприємства

Індекс	Рівень оцінки	Метрика	Переваги	Недоліки
Deloitte Digital Maturity Model (DMM)	Галузь, підприємство	Стратегія, організація, культура, база клієнтів, наявні технології	Надає комплексний аналіз (оцінює стратегічні, організаційні, культурні та технологічні аспекти цифровізації), орієнтований на оцінку бізнес-моделі та клієнтоорієнтованості, допомагає в формуванні дорожньої карти цифрової трансформації	Найчастіше базується на суб'єктивній оцінці експертів, потребує великих обсягів якісних даних для аналізу, дуже витратний по часу через довготривалий збір інформації, для коректної оцінки іноді потрібна участь Deloitte
BCG Digital Acceleration Index (DAI)	Галузь, підприємство	30 факторів у наступних блоках: цифрова стратегія, цифрові можливості, цифрова культура та управління	Висока деталізація, дозволяє проводити бенчмаркінг з провідними компаніями світу, допомагає виявляти слабкі місця корпоративного управління, надає структуровану оцінку швидкості цифровізації	Вважається закритою методологією, повністю доступною лише клієнтам BCG, ставить значні вимоги до збору даних, висока вартість впровадження, складна інтерпретація без експертів
PwC Digital IQ	Галузь	Інноваційність та стратегічна цифрова зрілість	Є простим і швидким у застосуванні, надає гарну оцінку стратегічної готовності керівництва, дозволяє оцінити цифрову культуру, може використовуватися для ранніх етапів цифрової трансформації	Надає лише поверхневу оцінку технологічних аспектів, залежить від суб'єктивних коментарів, не охоплює виробничі процеси, є малоприсаєдним для промислових підприємств
Industry 4.0 Maturity Index (acatech)	Підприємство	Ресурси, культура, організаційна структура, інформаційні системи	Вважається найбільш точною методикою оцінки для промислових підприємств, є чітко структурованим за рівнями цифрової зрілості, рекомендований для металургії та машинобудування	Потребує значні часові витрати на оцінку, а також потребує доступу до великих масивів внутрішніх виробничих даних, представляє складність у зборі даних
Digital Capability Framework (DCF)	Підприємство	Клієнтський досвід, бізнес-моделі, процеси, ІТ-інфраструктура, культура та організація	Оцінює компетенції персоналу та організаційні можливості, орієнтований на бізнес-моделі та цифрові процеси, підходить для великих корпорацій	Погано оцінює технічний стан виробничого обладнання, не пристосований для металургійних процесів, може давати спотворені результати при низькій цифровій базі

Продовження таблиці В.1

Індекс	Рівень оцінки	Метрика	Переваги	Недоліки
DESI (Digital Economy and Society Index)	Країна (ЄС)	Людський капітал, підключення, інтеграція технологій, наявні цифрові послуги	Вважається офіційним індексом ЄС з високою довірою даних, дозволяє порівняти країни, має прозору методологію, охоплює різні аспекти (людський капітал, мережеву інфраструктуру та інтеграцію технологій)	Оцінює цифровізації на рівні країни (виключно ЄС), а не підприємства; не враховує галузеву специфіку, не аналізує виробництво, не може бути використаним для оцінки стану конкретного підприємства
IMD World Digital Competitiveness Ranking	Країна	Знання, технології, готовність до майбутнього	Дозволяє оцінити глобальну конкурентоспроможність країни (не лише ЄС), надає можливість порівняння з іншими країнами, використовує різні комбінації макропоказників, охоплює знання, технології та готовність до майбутнього	Непридатний для оцінки рівня цифрової зрілості підприємства, залежить від якості національної статистики, не враховує галузеву чи корпоративну специфіку, надає усереднені макропоказники без детального обґрунтування

Джерело: створено авторкою на основі [45-51]

Додаток Г

Таблиця Г.1. – Огляд елементів та рівнів індексу Індустрії 4.0

Тема / Рівень	Рівень 1: Комп'ютеризація	Рівень 2: З'єднання	Рівень 3: Видимість	Рівень 4: Прозорість	Рівень 5: Прогнозованість	Рівень 6: Адаптивність
Особливість рівня	Використання комп'ютерів, оцифрування даних.	Система стає зв'язною, полегшується обмін інформацією.	Процеси відображені в реальному часі.	Краще розуміння причин подій.	Прогнозування майбутнього стану.	Самоадаптація і самонавчання систем.
Роль людини	Людина приймає всі рішення та виконує всі дії.	Людина керує інтегрованими системами.	Людина спостерігає й контролює процеси.	Людина аналізує причини, оптимізує дії.	Людина ухвалює рішення на основі прогнозів.	Людина лише контролює.

Продовження таблиці Г.1

Тема / Рівень	Рівень 1: Комп'ютеризація	Рівень 2: З'єднання	Рівень 3: Видимість	Рівень 4: Прозорість	Рівень 5: Прогнозованість	Рівень 6: Адаптивність
Технологічні засоби	Окремі комп'ютери, офісні програми.	ERP, SCADA, PLC, мережеві підключення.	Сенсори, IoT, MES, дашборди.	BI, data mining, аналітичні платформи.	AI, машинне навчання, цифрові двійники.	Автономні системи, AI-агенти, кіберфізичні мережі.
Дані (інформаційні системи)	Локальні, ізольовані, часто ручного введення.	Пов'язані між системами, але ще не аналізуються.	Дані в реальному часі, структуровані.	Аналітичні, з причинно-наслідковими зв'язками.	Прогнозні, з використанням моделей і алгоритмів.	Самооновлювані, інтегровані у всю екосистему.
Культура	Ієрархічна, низька ініціативність, гнучкість та погане сприйняття змін персоналом.	Все ще низька ініціативність та гнучкість. «Цифровізація – виклик».	Персонал відчуває переваги цифровізації, зростає довіра до технологій.	Конструктивний аналіз помилок, персонал активно навчається новому.	Ініціативна, постійного покращення. Помилки стають частиною навчання.	Самоорганізаційна, відсутній страх змін, інноваційна, гнучке лідерство.
Організаційна структура	Статична, обмін здійснюється файлами.	Наявні спільні цифрові інструменти, швидка комунікація.	Цифрове відображення структури, використання дашбордів.	Бачення, як змінити структуру для покращення.	Проактивна зміна структури на базі прогнозів.	Сама перебудовується у відповідь на внутрішні та зовнішні зміни.
Цифрові компетенції, кваліфікація персоналу	Обмежується користування персональним комп'ютером.	Обмежене розуміння ERP або MES систем.	Базове розуміння цифрових процесів.	Вміння інтерпретувати дані та пояснювати причини подій.	Вміння використовувати аналітику для прогнозування подій.	Здатність самостійно адаптувати системи.

Джерело: створено авторкою на основі [48, 52]

Таблиця Д.1. – Мапа стейкхолдерів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Група стейкхолдерів	Роль у діяльності підприємства	Інтереси та очікування	Форма взаємодії
Глобальний концерн ArcelorMittal	Стратегічне керівництво та координація глобальної діяльності	Ефективна діяльність, прибутковість, дотримання корпоративних політик, підтримання іміджу концерну	Передача стратегічних планів, фінансова та інвестиційна підтримка, подання та контроль звітності, участь у глобальних програмах
Керівництво та працівники ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	Виконання виробничих, управлінських і соціальних функцій на місцевому рівні	Безпечні умови праці, стабільна зайнятість, гарні та безпечні умови праці, гідна заробітна плата, можливості для розвитку	Внутрішня комунікація, навчальні програми, формування профспілки, впровадження систем мотивації, програми охорони праці
Постачальники сировини, енергоресурсів і послуг	Забезпечення виробництва необхідними матеріалами, енергією, технікою тощо	Своєчасна оплата, довгострокові контракти, надійне партнерство	Закупівельні тендери, аудити, оцінка відповідності стандартам, контракти на постачання
Клієнти / Замовники	Збут виробленої продукції, виконання замовлень	Висока якість продукції, широкий асортимент, своєчасність поставок, стабільність цін, технічна підтримка	Маркетингові програми, перевірка сертифікації продукції, укладення контрактів, логістичне обслуговування
Державні органи України	Регулювання діяльності підприємства у сферах екології, праці, податків, енергетики, промисловості тощо	Дотримання законодавства, сплата податків, прозора діяльність	Податкова та статистична звітність, участь у державних програмах, фінансові перевірки, співпраця з місцевою владою
Місцеві громади (Кривий Ріг та регіон)	Регулювання діяльності підприємства на соціальне середовище	Екологічна безпека, створення робочих місць, соціальні інвестиції, підтримка освіти й медицини	Участь в благодійних програм, відкриті зустрічі, консультації
Екологічні та громадські організації	Громадський контроль за діяльністю підприємства	Зменшення викидів, модернізація виробництва, прозорість екологічної звітності, зменшення шкоди для довкілля	Публічні звіти, звітність по сталому розвитку, відкриті зустрічі, участь у проектах з охорони довкілля
Фінансові установи та інвестори	Визначення джерел капіталу, надання кредитування, інвестиційна підтримка	Стабільність роботи підприємства, низька ризикованість, прозорість звітності	Інвестиційні звіти, аудиторські перевірки, корпоративна звітність, кредитні програми

Продовження таблиці Д.1

Група стейкхолдерів	Роль у діяльності підприємства	Інтереси та очікування	Форма взаємодії
Партнери	Співпраця у вирішенні спільних питань	Розвиток галузі; впровадження нових технологій, інновацій, екологічних рішень; узгодження стандартів; просування спільних ініціатив	Участь у форумах, обмін аналітикою, розробка пропозицій до уряду
Міжнародні організації та регулятори	Встановлення норм та стандартів для виробників сталі	Відповідність європейським екологічним, етичним і технічним вимогам; дотримання норм та стандартів	Сертифікація, моніторинг, екологічна звітність, звітність по сталому розвитку, участь у міжнародних програмах сталого розвитку

Джерело: створено авторкою на основі [54]

Ключові партнери • ArcelorMittal (головний концерн) • Постачальники сировини • Міжнародні трейдери сталі • Енергетичні компанії • Транспортно-логістичні оператори • Партнери з технологій, інновацій, екологічних рішень	Ключові види діяльності • Видобуток і збагачення залізної руди • Шахтоуправління • Гірничо-збагачувальне виробництво • Коксохімічне виробництво • Виробництво сталі та прокату • Експорт виробленої продукції • Контроль якості	Ціннісна пропозиція • Високоякісна сталева продукція • Комплексний виробничий цикл • Постійна наявність продукції (з урахуванням обмеженої продуктивності підприємства) • Відповідність екологічним стандартам ЄС • Впровадження екологічних рішень • Індивідуальні рішення для клієнтів, їхня технічна підтримка	Взаємовідносини з клієнтами • Індивідуальний підхід • Технічна підтримка продукції • Надання консультацій • Гнучкі поставки • After-sales service • Прозора екологічна та фінансова звітність (з урахуванням обмежень)	Споживчий сегмент • Будівельні компанії • Машинобудівні підприємства • Експортні компанії США, ЄС, інші міжнародні ринки • Логістичні компанії / сервісні підприємства сталі • Локальні споживачі сталі на внутрішньому ринку
Структура витрат • Управління виробництвом (експлуатація, ремонт, обслуговування) • Закупівля сировини та енергії • Інвестиції в модернізацію та екологічні проекти • Сплата податків • Амортизація обладнання • Зарплата персоналу • Екологічні платежі • Соціальні витрати	Потоки надходження доходів • Продаж сталі та прокату на внутрішньому та зовнішньому ринках • Експортні контракти • Вклади інвесторів • Продаж побічних продуктів виробництва (наприклад, коксохімія, субпродукти) • Підтримка через загальний концерн			

Рисунок Д.1. – Канва бізнес-моделі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Джерело: створено авторкою на основі [54]

Як щодо взаємодії з іншими стейкхолдерами, то у підприємства є узгоджені Політика в області якості[58], Політика управління ризиками[59], Кодекс відповідального сорсингу[60] та Політика комплексної перевірки (англ. *Procedure for Due Diligence*)[61]. Наприклад, як щодо Кодексу відповідального сорсингу, то він включає критерії екологічної та соціальної відповідальності постачальників, які мають дотримуватися тих самих принципів, що і саме підприємство.

Додаток Е

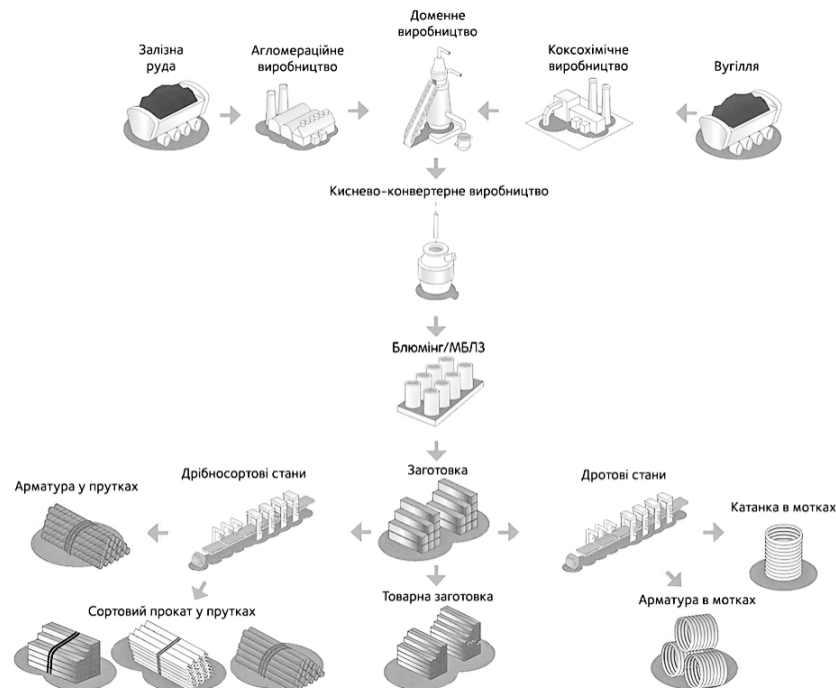


Рисунок Е.1. – Схема повного виробничого циклу ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Джерело: [54]

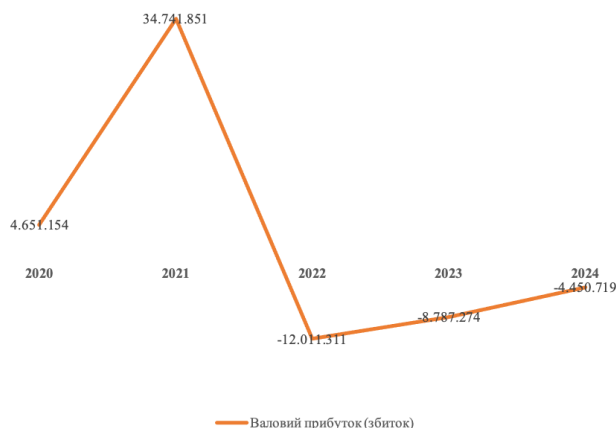


Рисунок Ж.1. – Динаміка зміни валового прибутку (збитку) підприємства
Джерело: побудовано авторкою на основі таблиці 2.3, [55]

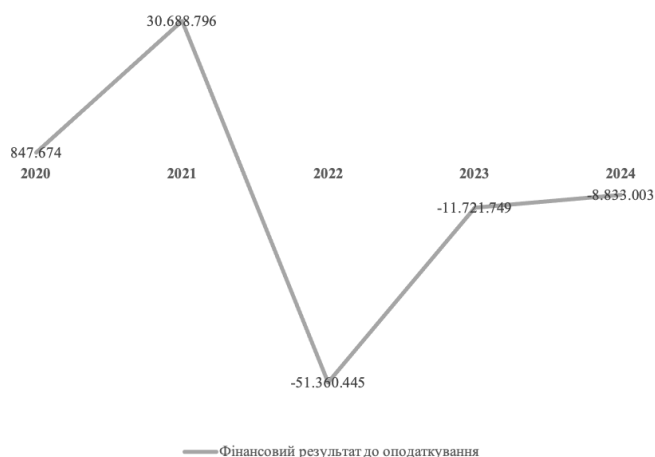


Рисунок Ж.2. – Динаміка зміни фінансового результату до оподаткування
Джерело: побудовано авторкою на основі таблиці 2.3, [55]

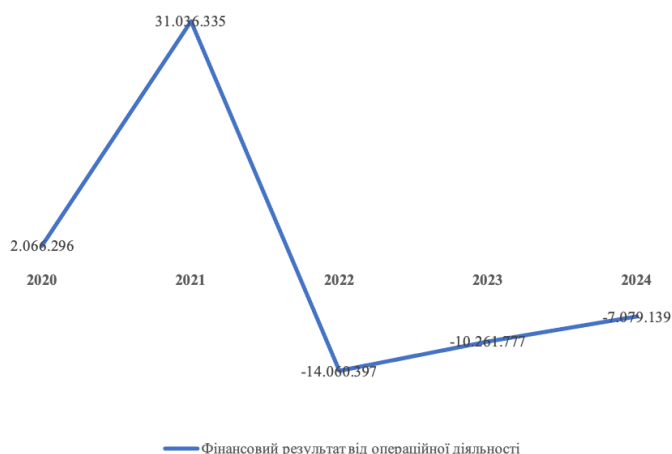


Рисунок Ж.3. – Динаміка зміни фінансового результату від операційної діяльності

Джерело: побудовано авторкою на основі таблиці 2.3, [55]

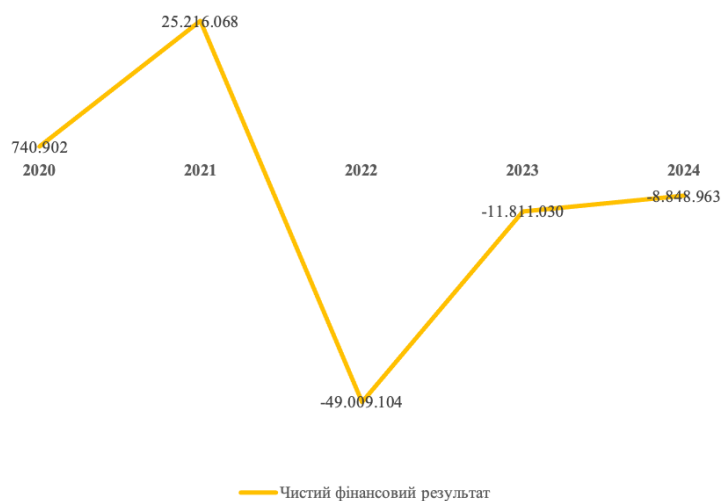


Рисунок Ж.4. – Динаміка зміни чистого фінансового результату підприємства

Джерело: побудовано авторкою на основі таблиці 2.3, [55]

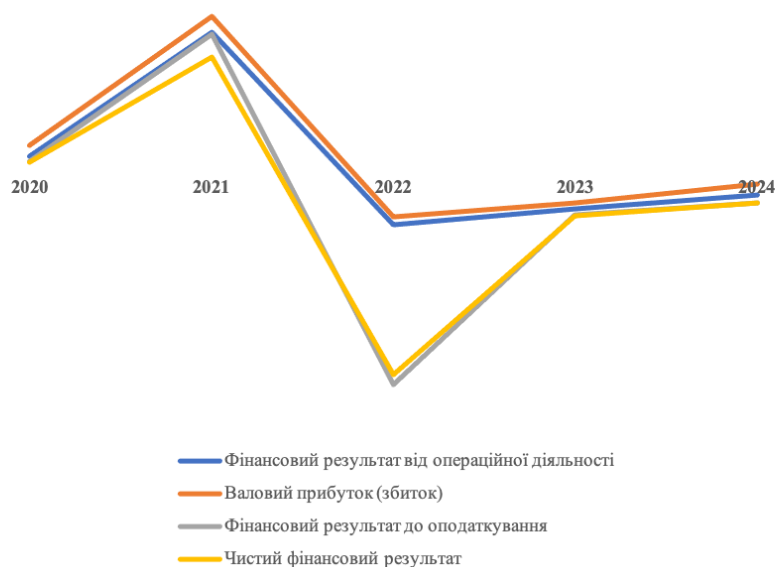


Рисунок Ж.5. – Загальний огляд основних фінансових результатів підприємства за 2020-2024 рр.

Джерело: побудовано авторкою на основі рисунків Ж.1-Ж.4, [55]

Таблиця К.1 – Аналіз впливу окремих підрозділів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» на чотири сфери сталого розвитку та Цілі сталого розвитку

Департамент	Економічний вплив	Екологічний вплив	Соціальний вплив	Вплив на цифрову трансформацію	Вплив на Цілі сталого розвитку
Гірничий департамент	Наявні високі витрати ресурсів. Виробництво є стаціонарним і сильно залежить від викопних копалин.	Департамент займається видобутком викопних ресурсів, а вони є обмеженими, що виснажує джерела сировини.	На підрозділі домінує важка, небезпечна праця із помірними заробітними платнями. Існує значний гендерний розрив через важкість праці. Робота створює нові робочі місця.	Наявні початкові ініціативи цифровізації гірничих та видобувних процесів.	№5↓, 7↓ 8↓, 9↑, 10↓, 12↑, 15↓
Департамент виробництва чавуну та сталі	Нециклічне споживання ресурсів є відносно дорогим. Наявна висока ресурсоемність виробництва є збитковою.	Виробництво супроводжується значними викидами шкідливих речовин в атмосферу, а також наявним є високе споживання невідновлюваних ресурсів.	Подібно гірничого департаменту, але в меншому масштабі.	Є базова цифрова інфраструктура і модернізаційні проекти, але масштаб повної цифровізації ще не досягнутий.	№5↓, 7↓, 8↓, 9↑, 12↑, 13↓
Департамент коксохімічного виробництва				Ініціативи присутні, але масштаб цифровізації обмежений.	
Прокатний департамент	Вироблена готова продукція має найбільшу додану вартість. Перехід на циклічне виробництво робить виробництво сталим.	В підрозділі наявне раціональне та повторне, тобто циклічне, використання ресурсів, що більш екологічно.	Подібно до департаментів по виробництву чавуну та сталі та коксохімічного виробництва, але в меншому масштабі.	Наразі на ранньому-середньому етапі цифровізації.	№5↓, 7↑, 8↓, 9↑, 12↑, 13↑, 15↑,

Джерело: побудовано авторкою на основі [62]

Таблиця Л.1. – Огляд впливу недорозвиненості цифрової трансформації підприємства на досягнення Цілей сталого розвитку

Ціль сталого розвитку	Вплив на напрями цифрової трансформації	Пояснення взаємодії
Ціль №5: «Гендерна рівність»	Усі	Через дефіцит ЦТ підприємство ще потребує персонал у важкій фізичній праці, де чоловіки краще підходять, внаслідок чого на підприємстві утворюється гендерний дисбаланс.
Ціль №7: «Екологічно-енергетичний вимір»	Надійна, автономна мережа безперебійного живлення	Загалом підприємство потерпає від відключень та споживає більшість енергії з викопного палива. Підприємство на високих рівнях цифрової трансформації матиме автономне та диверсифіковане енергопостачання, що задовольняється відновлювальними джерелами енергії.
Ціль №8: «Гідні умови праці»	Електрона подача скарг, цифрова прозорість; усі інші	Цифровізація покращує прозорість роботи підприємства, яка в свою чергу покращує гідність робочої праці. Загалом, робоча культура краще на високотехнологічному підприємстві, ніж зараз. Відносно низька повага до робітників, помірна ЗП, висока ймовірність отримати травми, іноді, навіть, несумісні з життям.
Ціль №9: «Інфраструктура та відбудова» або «Індустріалізація та інновації»	Усі	Підприємство відносно не інноваційне, тому мало можливостей для реалізації талантів. Інфраструктура застаріла. Цифрова трансформація здатна вирішити ці проблеми.
Ціль №10: «Скорочення нерівності»	Цифрова прозорість, усі	Наразі на підприємстві наявні нерівності у заробітній платі. Шлях щодо працевлаштування для осіб з інвалідностями дуже обмежений.
Ціль №12: «Стійкі моделі виробництва і споживання»	Розумна система утилізації сміття	Багато сировини, металобрухту викидається, яке ще могло б згодитися у виробництві. Сорткування сміття обмежене, через що воно утилізується не належним чином.
Ціль №13: «Кліматична дія»	Розумний моніторинг викидів, розумні пічі, цифрові двійники	Контроль викидів здійснюється, але в недостатній мірі. Немає прогнозу викидів звичайних та побічних. Кількість викидів висока, що не відповідає нормам ЄС.
Ціль №15: «Захист та відновлення екосистем суші»	Розумні шахти	Видобуток копалин наразі шкодить сильно місцевості, у якій він видобувається.
Ціль №17: «Партнерства»	Загальний	Партнерства заради сталого розвитку відносно нерозвинені, у порівнянні з тим, якщо б підприємство знаходилося на високому рівні цифрової трансформації.

Джерело: створено авторкою на основі [1, 9] та власного аналізу

Розглянемо окремо кожну групу проблем на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» і почнемо з технічних. По-перше, на підприємстві домінує застаріле обладнання, яке важко інтегрувати у сучасні системи, такі як IoT, SCADA, MES тощо. Воно часто не має інтерфейсів, а наявні інтерфейси не уніфіковані, і тому важко їх інтегрувати в одну цілісну систему. По-друге, наявні інформаційні системи дуже фрагментовані, тому що на підприємстві співіснують дуже різноманітні IT-платформи, такі як Excel, SAP ERP, локальні системи АСУТП (автоматичні системи управління технічними процесами), різноманітні бази даних та самописні програми. Різні бази даних від різних виробників не поєднані між собою. Також немає можливості швидкого передавання даних між різними базами даних, між різними підрозділами і тому синхронізація даних між підрозділами, необхідна для третього рівня цифровізації за індексом Індустрії 4.0, неможлива, а отже, і аналітика ускладнена, наявне дублювання інформації та низька прозорість процесів. Різні департаменти використовують різні несумісні формати звітності. Переходячи до самих даних, то їхня якість є низькою. Наявна висока латентність даних, деякі дані повністю або частково відсутні. Деякі дані вводяться неправильно, наприклад, не в тому форматі або при неправильному виборі одиниць вимірювання. Немає необхідної структури, що відповідала б стандартам, які лежать в основі системи розумного виробництва. Очевидно, що якщо наявні такі проблеми інтеграції на самому підприємстві між різними підрозділами, то й інтеграція ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» в глобальну корпоративну платформу ArcelorMittal більш ускладнена.

Як щодо цифрової інфраструктури, то мережеве покриття на підприємстві є обмеженим, через що оперативний обмін даними неможливий. Немає резервних серверів та надійних дата-центрів для зберігання великих масивів виробничої інформації. Також наявні проблеми з кібербезпекою, яка на даний час, особливо в стані війни, дуже важлива, а

частина обладнання не підтримує сучасні протоколи шифрування даних, через що їх легко перехопити, замінити, зламати, видалити тощо. На підприємстві також наявний низький рівень автоматизації збору даних. Збір даних про технологічні параметри здебільшого проводиться вручну, що по-перше, створює ризик помилок, а по-друге, цей процес є повільним із високою затримкою в часі, тому немає доступу до цієї інформації під рукою. Також немає систем моніторингу енерговитрат, якості сировини, стану устаткування тощо в реальному часі. Поки що лише у вигляді пілотних проєктів реалізуються такі технології як Інтернет речей, машинне навчання і т.д. Окрім цього, потрібно враховувати проблеми з постачанням електроенергії (які були наявні ще до початку повномасштабного вторгнення), яка має дуже важливе значення для цифрової трансформації. Підприємство недостатньо обладнано джерелами безперебійного живлення і тому під час проблем із постачанням електроенергії, цифрова інфраструктура вимикається і стає недоступною.

Далі перейдемо до структурно-управлінських (організаційних) проблем впровадження цифрової трансформації на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». На підприємстві відсутня єдина стратегія цифрової трансформації, наявні ініціативи з цифровізації впроваджуються у невеликих обсягах у різних департаментах у різній мірі. Немає дорожньої карти, не визначені пріоритети. Немає системного підходу до управління змінами: вони часто впроваджуються без оцінки готовності до них та комунікаційної підтримки. Немає цифрових лабораторій для тестування рішень перед їхнім впровадженням, через що реалізується проєкти, які не були достатньо протестовані заздалегідь, і тому виникають проблеми під час їхньої роботи; немає моніторингу ефективності реалізації цифрових проєктів. Окрім цього, здебільшого замість впровадження ЦТ виконується лише часткова модернізація ІТ-інфраструктури без бачення значних, стратегічних змін у майбутньому. Структура управління цифровими ініціативами фрагментована, немає єдиного цифрового офісу, який

координував би всі напрямки цифрової трансформації. Кожен департамент впроваджує власні локальні рішення, що призводить до дублювання проєктів і конфлікту пріоритетів. Немає постійної міжфункціональної ІТ-команди. Відсутня оптимальна програма перекваліфікації. До того ж, структура підприємства не гнучка, а ієрархічна та роздроблена. Український підрозділ має обмежений доступ до внутрішніх платформ (через юридичні обмеження та обмеження безпеки). Процеси узгодження пілотних проєктів із головним офісом надто тривалі.

Як щодо проблем з людським фактором, то персонал не готовий до змін. Частина персоналу сприймає цифровізацію як виклик і загрозу, тому що боїться, що техніка їх замінить і вони підпадуть під скорочення. Ці страхи також підсилюються мобілізацією. Персонал сприймає цифровізацію як додаткове навантаження, здебільшого через невміння працювати з цифровим обладнанням. Серед інших проблем можна виділити також низький рівень цифрової грамотності та низька мотивація до участі в інноваційних проєктах.

Що стосується фінансування, то цифрова трансформація потребує великих капітальних затрат, а підприємство наразі знаходиться в збитковому стані та власні кошти щороку зменшуються. Є велика невизначеність на ІТ-ринку, а також висока волатильність, мінливість цін різних сучасних товарів та послуг, і тому важко оцінити вартість товарів на закупівлю, оскільки є високі ризики не вкластися в бюджет. Реалізація такої інноваційної та амбітної справи, як цифрова трансформація, посиljena, загалом, у провідних країнах світу, а в Україні фінансовий ресурс є обмеженим, тому варто покладатися лише на корпорацію, на інші підприємства корпоративного рівня та на Євросоюз та його інституції, участь у європейських програмах щодо фінансування інновацій в Україні.

Таблиця Н.1. – Розрахунок витрат для реалізації проєкту №2 (категорія: обладнання)

Обладнання (сенсори)	Вартість за одиницю	Кількість	Загальна вартість
Температурні зонди	40 000 грн	20	800 000 грн
Газоаналізатори для доменного газу	300 000 грн	4	1 200 000 грн
Датчики вібрації	20 000 грн	12	240 000 грн
Датчики тиску високотемпературні	35 000 грн	6	210 000 грн
Оптоволоконні датчики температури футерівки	45 000 грн	40	1 800 000 грн
Разом у категорії	4 250 000 грн		

Джерело: складено авторкою на основі власних розрахунків

Таблиця Н.2. – Розрахунок витрат для реалізації проєкту №2 (категорія: обчислювальна інфраструктура)

Обчислювальна інфраструктура	Вартість
Промисловий сервер реального часу	1 200 000 грн
Сервер для ШІ	2 500 000 грн
Резервний сервер	1 000 000 грн
Система зберігання даних	700 000 грн
Разом у категорії	5 400 000 грн

Джерело: складено авторкою на основі власних розрахунків

Таблиця Н.3. – Розрахунок витрат для реалізації проєкту №2 (категорія: програмне забезпечення)

Програмне забезпечення	Вартість
Ліцензія Digital Twin Platform	7 000 000 грн
Модулі фізичного моделювання доменної печі	3 000 000 грн
Модуль AI-прогнозів	2 000 000 грн
MES/SCADA інтеграція	1 600 000 грн
Разом у категорії	13 600 000 грн

Джерело: складено авторкою на основі власних розрахунків

Таблиця Н.4. – Розрахунок витрат для реалізації проєкту №2 (категорія: інженерні та проєктні роботи)

Інженерні та проєктні роботи	Вартість
Проектування цифрового двійника	5 000 000 грн
Математичні моделі печі	8 000 000 грн
Розробка AI-моделей	10 000 000 грн
Синхронізація даних в реальному часі	1 000 000 грн
Разом у категорії	24 000 000 грн

Джерело: складено авторкою на основі власних розрахунків

Таблиця Н.5. – Розрахунок витрат для реалізації проєкту №2 (категорія: пуско-налагодження та валідація моделі)

Пуско-налагодження та валідація моделі	Вартість
Тестування, калібрування, моделювання сценаріїв	600 000 грн
Валідація моделей з технологіями	300 000 грн
Дослідний період	400 000 грн
Разом у категорії	1 300 000 грн

Джерело: складено авторкою на основі власних розрахунків

Додаток П

Таблиця П.1. – Розрахунок витрат для реалізації проєкту №3 (категорія: обладнання)

Обладнання	Вартість за одиницю	Кількість	Загальна вартість
IoT-датчики рівня заповнення контейнерів (ультразвукові, LoRaWAN)	6 000 грн	20	120 000 грн
Датчики ваги/навантаження (load cells)	8 000 грн	10	80 000 грн
LTE/LoRaWAN шлюзи	25 000 грн	3	75 000 грн
Контролери (ESP32/STM32 з промисловими корпусами)	3 000 грн	20	60 000 грн
Промислові батареї (літій-іонні, довготривалі)	12 000 грн	20	240 000 грн
Сонячні панелі для автономних датчиків	3 500 грн	10	35 000 грн
Захисні корпуси класу IP67	1 500 грн	20	30 000 грн
Модулі GPS/GALILEO	1 000 грн	10	10 000 грн
Сервер для локальної обробки даних (edge server)	150 000 грн	1	150 000 грн
Маршрутизатор промисловий	20 000 грн	1	20 000 грн
Разом у категорії	820 000 грн		

Джерело: складено авторкою на основі власних розрахунків

Таблиця П.2. – Розрахунок витрат для реалізації проєкту №3 (категорія:
програмне забезпечення)

Програмне забезпечення	Вартість
Розробка IoT-платформи (збір даних, API, інтеграція)	300 000 грн
Розробка дашбордів (Power BI / Grafana / Kibana)	120 000 грн
Мобільний застосунок для персоналу	100 000 грн
Разом у категорії	520 000 грн

Джерело: складено авторкою на основі власних розрахунків

Таблиця П.3. – Розрахунок витрат для реалізації проєкту №3 (категорія:
інженерні та проєктні роботи)

Інженерні та проєктні роботи	Вартість
Монтаж датчиків	40 000 грн
Проведення тестування та калібрування	25 000 грн
Налаштування шлюзів і мережі	30 000 грн
Налаштування серверної інфраструктури	20 000 грн
Разом у категорії	115 000 грн

Джерело: складено авторкою на основі власних розрахунків

Таблиця Р.1. – Нормування різних показників сталого розвитку при реалізації проєкту №2

Сфера сталого розвитку	Показник	Очікуване значення після впровадження проєкту № 1				Мінімальне значення	Максимальне значення	Нормований показник (<i>l</i>)				Вага (ω)	Добуток ($\omega \times l$)			
		Базове значення	Песимістичний сценарій	Нейтральний сценарій	Позитивний сценарій			Базове значення	Песимістичний сценарій	Нейтральний сценарій	Позитивний сценарій		Базове значення	Песимістичний сценарій	Нейтральний сценарій	Позитивний сценарій
Економічна	OEE, коефіцієнт	0,8	0,91	0,93	0,95	0	1	0,80	0,91	0,93	0,95	0,2	0,16	0,18	0,19	0,19
Економічна та екологічна	Надлишкова ресурсоемність, коефіцієнт	0,48	0,42	0,37	0,31	1	0	0,52	0,58	0,63	0,69	0,2	0,10	0,12	0,13	0,14
Екологічна	CO ₂ e на 1 т кінцевої продукції, кг CO ₂ e / т сталі	220	170	140	125	500	0	0,56	0,66	0,72	0,75	0,15	0,08	0,10	0,11	0,11
Соціальна	LTIFR, коефіцієнт	0,9	0,8	0,75	0,65	2	0	0,55	0,6	0,63	0,68	0,1	0,06	0,06	0,06	0,07
	Частка навчання, коефіцієнт	0,6	0,9	0,97	1	0	1	0,6	0,9	0,97	1	0,1	0,06	0,09	0,1	0,1
Цифрова трансформація	Покриття IoT технологіями, коефіцієнт	0,7	0,9	0,95	1	0	1	0,7	0,9	0,95	1	0,1	0,07	0,09	0,1	0,1
	Інтегрованість даних (Data Quality Index), коефіцієнт	0,6	0,8	0,9	0,98	0	1	0,6	0,8	0,9	0,98	0,15	0,09	0,12	0,14	0,15

Джерело: побудовано авторкою на основі власних розрахунків

Таблиця Р.2. – Нормування різних показників сталого розвитку при реалізації проєкту №3

Сфера сталого розвитку	Показник	Очікуване значення після впровадження проєкту № 1				Мінімальне значення	Максимальне значення	Нормований показник (<i>I</i>)				Вага (<i>ω</i>)	Добуток (<i>ω × I</i>)			
		Базове значення	Песимістичний сценарій	Нейтральний сценарій	Позитивний сценарій			Базове значення	Песимістичний сценарій	Нейтральний сценарій	Позитивний сценарій		Базове значення	Песимістичний сценарій	Нейтральний сценарій	Позитивний сценарій
Економічна	OEE, коефіцієнт	0,5	0,57	0,63	0,67	0	1	0,5	0,57	0,63	0,67	0,2	0,10	0,11	0,13	0,13
Економічна та екологічна	Надлишкова ресурсоемність, коефіцієнт	0,83	0,59	0,48	0,31	1	0	0,17	0,41	0,52	0,69	0,2	0,03	0,08	0,1	0,14
Екологічна	CO _{2e} на 1 т кінцевої продукції, кг CO _{2e} / т сталі	267	175	150	135	500	0	0,46	0,65	0,7	0,73	0,15	0,07	0,1	0,11	0,11
Соціальна	LTIFR, коефіцієнт	1,34	1,2	1,1	1	2	0	0,33	0,4	0,45	0,5	0,1	0,03	0,04	0,05	0,05
	Частка навчання, коефіцієнт	0,1	0,25	0,35	0,45	0	1	0,1	0,25	0,35	0,45	0,1	0,01	0,03	0,04	0,05
Цифрова трансформація	Покриття IoT технологіями, коефіцієнт	0,2	0,3	0,4	0,6	0	1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,1	0,02	0,03	0,04	0,06
	Інтегрованість даних (Data Quality Index), коефіцієнт	0,2	0,3	0,35	0,4	0	1	0,2	0,3	0,35	0,4	0,15	0,03	0,05	0,05	0,06

Джерело: побудовано авторкою на основі власних розрахунків

Таблиця С.1. – Огляд можливих ризиків при та після реалізації проєктів
№1-3, їхніх наслідків та запобіжних заходів

№	Ризик	Наслідки	Запобіжні заходи
1	Ускладнена інтеграція старого обладнання	Додаткові витрати, затримки запуску	Проведення технічного аудиту, модернізація критичних вузлів
2	Збої IoT-датчиків через екстремальні умови	Некоректні дані, аварійні режими	Використання промислових датчиків із захистом, дублювання датчиків, регулярна калібровка датчиків
3	Нестабільність цифрової інфраструктури	Втрата даних, збої AI-модулів	Створення резервних серверів, впровадження гібридної архітектури, оптимізація мережевих протоколів
4	Низькі цифрові компетенції персоналу	Помилки, низька ефективність	Запуск програм навчання, проведення регулярних тренінгів, проведення обов'язкової сертифікації операторів і майстрів
5	Помилки операторів	Аварії, зупинки виробництва	Навчання на тренажерах-симуляторах; тестування НМІ (англ. <i>Human-Machine Interface</i>), поетапний перехід на автоматизацію
6	Кібератаки	Зупинка печей, витік даних	Впровадження стандартів кібербезпеки, сегментація мережі, регулярний аудит безпеки
7	Некоректність або втрата даних	Помилки AI-рішень, неправильна робота печі	Організація контролю якості даних, використання резервного копіювання; виявлення аномалій у потоках даних
8	Перевищення бюджету	Потреба у додатковому фінансуванні	Формування фінансового резерву, проведення тендерів
9	Затримка впровадження	Зрив графіка запуску	Встановлення гнучкого планування, визначення щотижневих контрольних точок, проведення регулярних обговорень
10	Опір змінам	Зниження продуктивності	Проведення комунікаційних сесій, залучення працівників до проєкту, впровадження наставництва
11	Низький економічний ефект	Недоотримання вигоди	Перегляд KPI, запуск пілотних проєктів, оптимізація AI-моделей
12	Збої систем оптимізації горіння	Підвищення викидів CO ₂ , NO _x , пилу	Тестування моделей, використання аварійного ручного режиму
13	Помилки екологічних сенсорів	Проблеми зі звітністю зі сталого розвитку, штрафи	Встановлення резервних сенсорів, регулярне проведення контролю
14	Затримки постачань	Простої, зміщення термінів	Залучення альтернативних постачальників, укладання SLA-контрактів (англ. <i>Service Level Agreement</i>)
15	Залежність від одного системного інтегратора	Зростання витрат на обслуговування	Використання відкритих стандартів, створення документації, залучення сторонньої підтримки

Продовження таблиці С.1

№	Ризик	Наслідки	Запобіжні заходи
16	Невідповідність стандартам	Штрафи, неможливість експлуатації	Проведення аудиту відповідності, сертифікація, залучення юридичного відділу
17	Зниження довіри до цифрової системи	Ігнорування рекомендацій системи	Запуск прозорих панелей моніторингу, пояснення алгоритмів, обговорення результатів із працівниками
18	Недостовірність моделей ШІ	Нераціональні рішення моделі	Проведення валідації моделі, розширення даних цифрового двійника, оновлення параметрів
19	Висока вартість обчислень	Зростання витрат	Оптимізація моделей, використання гібридних хмарних рішень
20	Непередбачувана поведінка у нестандартних умовах	Проблеми під час аварій	Створення генеративних моделей сценаріїв, моделювання критичних режимів
21	Маніпуляція даними	Проблеми зі звітністю зі сталого розвитку	Впровадження блокчейн-аудиту, налаштування системи прав доступу
22	Збої в передаванні даних	Відсутність даних у реальному часі	Дублювання каналів зв'язку, зберігання даних, контроль якості сигналу

Джерело: створено авторкою на основі [75-77]