



e-ISSN 3083-6018

SOCIAL DEVELOPMENT: Economic and Legal Issues

<https://www.eu-scientists.com/index.php/sdel>


Mechanisms of Digital Transformation of the Management System in the Mining and Metallurgical Complex: From Automation to Intelligent Models

Roman Riabtsev  1*

¹ State University of Economics and Technology (Ukraine). PhD Student at the Department of Business Management.

* **Corresponding Author**, e-mail: romatent@gmail.com

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Research Article

DOI:

[10.70651/3083-6018/2026.3.11](https://doi.org/10.70651/3083-6018/2026.3.11)

Received:

8 February 2026

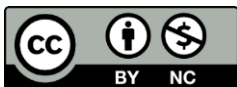
Accepted:

11 March 2026

Published online:

15 March 2026

Copyright © 2026
by author



This is an open access journal and all published articles are licensed under a Creative Commons Attribution—NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This writing focuses on examining the processes of digital reshaping within the administration framework of the mining and metallurgical sector. Significant focus is given to the distinct characteristics of how the mining and metallurgical complex operates and the effect of digital instruments on the effectiveness of guiding methods, output, and enterprise rivalry. The research aims to theoretically confirm and practically examine the processes of digital transition within the governance structure of the mining and metallurgical sector. During the scholarly investigation, general scientific techniques of perception were employed, notably appraisal and combination; inference and derivation—to summarize theoretical stipulations and draw findings concerning the evolution of control structures in the mining and metallurgical complex; contrasting—to pinpoint variances among conventional, automated, and smart governance frameworks; a holistic perspective—to explore MMC entities as intricate sociocultural economic setups; and the summarization technique—to build a complete understanding of the digital transformation approaches for management. The financial core and substance of the notions of “digital alteration of administration” and “digitalizing of administration” are unveiled, and their standing in contemporary management doctrine is elucidated. The progression of industrial organization handling structures is examined—from primary mechanization to deploying smart judgment frameworks. The sector-specific traits of the operation of the extraction and metalworking sector are explored. The primary digital tools utilized in the extraction and metalworking administration setups are pinpointed (Big Data, IoT, artificial intelligence, digital infrastructures), and their functional purpose is evaluated. The methods of digital change for the handling apparatus of businesses in the extraction and metalworking complex are structured. Methodological frameworks for gauging the efficacy of digital administration in MMCs have been substantiated. Practical know-how in deploying digital solutions across mining and metallurgical complex enterprises has been examined. Suggestions have been formulated for crafting a blueprint for the digital reshaping of the administration structure within the industry’s firms. Emerging avenues for advancing sophisticated governance structures in the digital sphere have been pinpointed. Potential outcomes for the evolution of digital oversight in MMCs have been created.



KEYWORDS

management, digital transformation, innovation, mining and metallurgical complex, automation, intelligent technologies, digitalization of management, decision-making, analytics, artificial intelligence.




e-ISSN 3083-6018

СОЦІАЛЬНИЙ РОЗВИТОК: економіко-правові проблеми

<https://www.eu-scientists.com/index.php/sdel>


Механізми цифрової трансформації системи управління в гірничо-металургійному комплексі: від автоматизації до інтелектуальних моделей

Роман О. Рябцев  1*

¹ Державний університет економіки і технологій (Україна). Аспірант кафедри управління бізнесом.

* Автор-кореспондент, e-mail: romatent@gmail.com

СТАТТЯ

АНОТАЦІЯ

Дослідницька

DOI:

[10.70651/3083-6018/2026.3.11](https://doi.org/10.70651/3083-6018/2026.3.11)

Отримана:

08.02.2026 р.

Прийнята:

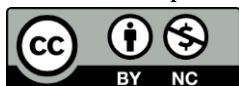
11.03.2026 р.

Опублікована:

15.03.2026 р.

Авторське право

© 2026 автора



Цей твір

ліцензовано на умовах Ліцензії Creative Commons «Із Зазначенням Авторства – Некомерційна 4.0 Міжнародна» (CC BY-NC 4.0).

Стаття присвячена вивченню механізмів цифрової трансформації системи керування в гірничо-металургійному комплексі. Особливу увагу відведено специфіці функціонування гірничо-металургійного комплексу та впливу цифрових рішень на дієвість управлінських процесів, продуктивність і конкурентоздатність підприємств. Мета дослідження полягає в теоретичному обґрунтуванні та практичному аналізі механізмів цифрової трансформації системи управління в гірничо-металургійному комплексі. У ході наукового дослідження використовувалися загальнонаукові методи пізнання, зокрема аналіз і синтез; індукція і дедукція — для узагальнення теоретичних положень і формування висновків щодо розвитку управлінських систем у гірничо-металургійному комплексі; порівняння — для виявлення відмінностей між традиційними, автоматизованими та інтелектуальними моделями управління; системний підхід — для дослідження підприємств ГМК як складних соціально-економічних систем; а також метод узагальнення — для формування цілісного уявлення про механізми цифрової трансформації управління. Розкрито економічну сутність та зміст понять «цифрова трансформація управління» і «цифровізація управління», уточнено їх місце у сучасній теорії менеджменту. Проаналізовано еволюцію систем управління промисловими підприємствами — від базової автоматизації до впровадження інтелектуальних моделей прийняття рішень. Досліджено галузеві особливості функціонування гірничо-металургійного комплексу. Визначено основні цифрові технології, що застосовуються у системах управління ГМК (Big Data, IoT, штучний інтелект, цифрові платформи), та оцінено їх функціональну роль. Систематизовано механізми цифрової трансформації системи управління підприємствами гірничо-металургійного комплексу. Обґрунтовано методичні підходи до оцінки ефективності цифровізації управління у ГМК. Проаналізовано практичний досвід впровадження цифрових рішень у підприємствах гірничо-металургійного комплексу. Розроблено рекомендації щодо формування стратегії цифрової трансформації системи управління підприємств галузі. Визначено перспективні напрями розвитку інтелектуальних моделей управління в умовах цифрової економіки. Розроблено сценарії розвитку цифрового управління в ГМК.



КЛЮЧОВІ СЛОВА

управління, цифрова трансформація, інновації, гірничо-металургійний комплекс, автоматизація, інтелектуальні технології, цифровізація управління, прийняття рішень, аналітика, штучний інтелект.

1. Introduction

Сучасний етап розвитку світової економіки відзначається глибинними структурними змінами, що спричинені масштабним упровадженням цифрових технологій у всі сфери господарської діяльності. Формування цифрової економіки стає визначальним чинником конкурентоспроможності як підприємств, так і цілих галузей промисловості. У цьому контексті особливого значення набуває цифрова трансформація систем управління, яка змінює не лише інструменти ухвалення рішень, а й саму логіку функціонування організаційних структур [1]. Гірничо-металургійний комплекс є однією з основних галузей промисловості, що забезпечує сировинну базу для багатьох секторів економіки. За таких умов дієвість управління безпосередньо впливає на рівень продуктивності, собівартість продукції та стійкість підприємств до зовнішніх викликів [2, с. 5].

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю переосмислення підходів до управління підприємствами гірничо-металургійного комплексу в умовах цифрової трансформації економіки. Традиційні управлінські моделі, що базуються на ієрархічних структурах та частковій автоматизації процесів, поступово втрачають ефективність через зростання обсягів даних, ускладнення виробничих систем та потребу в оперативному прийнятті рішень. Це створює об'єктивну потребу у переході до інтегрованих цифрових систем управління, що забезпечують безперервний обмін інформацією, аналітичну підтримку та прогнозування розвитку виробничих процесів [3, с. 88].

Попри значний інтерес наукової спільноти до проблем цифровізації промисловості, залишаються недостатньо дослідженими питання комплексної трансформації управлінських систем саме в умовах гірничо-металургійного виробництва. Зокрема, потребують подальшого опрацювання механізми переходу від автоматизованих систем до інтелектуальних моделей управління, а також оцінка їхнього впливу на ефективність функціонування підприємств [2, с. 5]. У зв'язку з цим дослідження механізмів цифрової трансформації системи управління в гірничо-металургійному комплексі є своєчасним і має важливе як теоретичне, так і практичне значення.

2. Literature Review

Цифрова трансформація гірничо-металургійного комплексу сьогодні є одним із ключових напрямів модернізації промисловості, що визначає конкурентоспроможність підприємств у глобальному масштабі. Поступовий перехід від традиційних систем автоматизації до інтелектуальних кіберфізичних платформ, що базуються на технологіях штучного інтелекту, великих даних та цифрових двійників, формує нову парадигму управління виробничими процесами. У науковій літературі простежується активне зростання інтересу до дослідження механізмів Industry 4.0 та Mining 5.0, які передбачають інтеграцію цифрових технологій у всі рівні управління підприємствами гірничо-металургійного комплексу. Особлива увага приділяється питанням інтелектуалізації управлінських рішень, підвищення ефективності виробничих систем, а також зниження екологічного навантаження через впровадження цифрових моделей і предиктивної аналітики. Так, Т. А. Муха [3, с. 88] досліджує цифрову трансформацію логістики в промисловості з використанням process mining і AI. Ключова ідея, яку виділяє автор, — оптимізація управлінських рішень через цифрові потоки даних. М. Куницька, І. Піскун, В. Котенко та А. Криворучко [4, с. 52] аналізували цифрове моделювання відкритих гірничих робіт. М. Адаменко та ін. [5, с. 105] досліджували особливості інвестування в інноваційний розвиток конкурентоспроможності ресурсного та виробничого потенціалу гірничодобувних підприємств. О. В. Латишева та ін. [6, с. 201] наголосили на злитті цифровізації з ESG, що відповідає останнім вимогам ЄС. Г. О. Кришталь та ін. [7, с. 149] окреслили початковий рівень цифрової трансформації, проте вивчення має обмежену секторальну специфіку для ГМК. О. С. Маковоз і С. М. Лисенко [8, с. 388] досліджували цифровізацію як елемент сталого розвитку; зроблено акцент на фінансовій стабільності підприємств; відзначено роль цифрових інновацій у бізнес-моделях. Робота має сильний теоретичний фундамент, але слабо прив'язана до гірничо-металургійної специфіки. Відсутні приклади цифрових двійників або управлінських AI-моделей.

Серед зарубіжних дослідників варто звернути увагу на працю P. V. Hartlieb-Wallthor et al. [9, с. 37] та J. Duarte et al. [10, с. 3167], які досліджували цифровізацію даних у галузі відкритого видобутку корисних копалин. А. М. Acosta-Quelopana et al. [11, с. 121] запропонували та оцінили модель прийняття технології для цифрових двійників (ЦД), що підтримуються штучним інтелектом (ШІ) у Метавсесвіті гірничодобувної промисловості (МВ), як нової технології. O. Zhironkina and S. Zhironkin [12] визначили концепцію переходу Mining 4.0 → Mining 5.0, цифрові двійники, AI та особливості роботизації. J. Pakdel and I. Erol [13] визначали інтеграцію AI, IoT, blockchain у гірничі процеси, перехід до автономних систем управління, підвищення безпеки та ефективності.

3. Problem Statement

Мета цього дослідження полягає в теоретичному обґрунтуванні та комплексному аналізі механізмів цифрової трансформації системи управління в гірничо-металургійному комплексі, а також у визначенні закономірностей переходу від традиційної автоматизації виробничо-управлінських процесів до впровадження інтелектуальних моделей управління, що базуються на використанні сучасних цифрових технологій і забезпечують підвищення ефективності, адаптивності та конкурентоспроможності підприємств галузі.

4. Methods and Materials

У процесі виконання дослідження застосовано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів пізнання, що забезпечили системний і всебічний аналіз процесів цифрової трансформації системи управління в гірничо-металургійному комплексі.

Основу методології склали загальнонаукові методи, зокрема аналіз і синтез, які дали змогу розкрити сутність цифровізації управління та узагальнити ключові підходи до її впровадження. Метод індукції та дедукції використовувався для формування теоретичних узагальнень на основі вивчення окремих елементів цифрових управлінських систем. Порівняльний метод дозволив виявити відмінності між традиційними, автоматизованими та інтелектуальними моделями управління. Системний підхід забезпечив розгляд підприємств гірничо-металургійного комплексу як складних багаторівневих соціально-економічних систем, у яких цифрові технології інтегруються у всі управлінські процеси. Також застосовувався метод узагальнення для формування цілісних висновків щодо напрямів цифрової трансформації.

Додатково використано елементи структурно-логічного аналізу для дослідження взаємозв'язків між цифровими технологіями (Big Data, Інтернет речей, штучний інтелект, цифрові платформи) та ефективністю управлінських рішень у промислових підприємствах.

Матеріалами дослідження слугували наукові публікації вітчизняних і зарубіжних авторів з питань цифрової економіки, управління підприємствами та інноваційного розвитку промисловості; аналітичні звіти міжнародних організацій щодо цифрової трансформації промислових секторів; відкриті статистичні дані щодо розвитку гірничо-металургійного комплексу; а також узагальнені результати практичного впровадження цифрових технологій на промислових підприємствах.

5. Results and Discussion

У сучасній економічній науці поняття «цифровізація управління» та «цифрова трансформація управління» часто використовуються як споріднені, проте вони відображають різні за глибиною та масштабом процеси змін у системах менеджменту підприємств. Цифровізація управління являє собою процес впровадження цифрових технологій у вже існуючі управлінські та виробничі процедури з метою підвищення їх ефективності, швидкості та точності. Її економічна сутність полягає у заміні або доповненні традиційних (паперових, ручних, напівавтоматизованих) операцій цифровими інструментами [4, с. 52]. У цьому випадку відбувається оптимізація окремих функцій управління — обліку, планування, контролю, комунікації, однак базова структура управлінської системи залишається незмінною [14]. Цифровізація має переважно інструментальний характер і спрямована на підвищення

операційної ефективності підприємства. У теорії менеджменту вона розглядається як етап еволюційного розвитку управлінських систем, що ґрунтується на автоматизації та інформатизації бізнес-процесів.

Цифрова трансформація управління, на відміну від цифровізації, є більш глибоким і системним процесом, що передбачає якісну перебудову всієї управлінської моделі підприємства під впливом цифрових технологій. Її сутність полягає не лише у впровадженні цифрових інструментів, а й у зміні логіки прийняття рішень, організаційної структури, бізнес-процесів та культури управління [15].

Економічно цифрова трансформація спрямована на формування нової цінності підприємства через використання даних як стратегічного ресурсу, впровадження інтелектуальних систем аналізу та прогнозування, а також забезпечення адаптивності до змін зовнішнього середовища. Вона передбачає перехід від реактивного до проактивного та прогнозного управління [16].

У межах сучасної теорії менеджменту цифрова трансформація розглядається як новий етап розвитку управлінських систем, що базується на концепціях Industry 4.0, data-driven management та кіберфізичних систем. Вона інтегрує досягнення інформаційних технологій, економіки даних та інтелектуального аналізу, формуючи основу для появи автономних і напівавтономних систем управління [17]. Цифровізація управління виступає як базовий етап впровадження цифрових технологій, тоді як цифрова трансформація є комплексною перебудовою всієї системи управління підприємством. У сучасній теорії менеджменту ці поняття займають ієрархічно пов'язані, але різні рівні розвитку: від інструментального вдосконалення до стратегічної трансформації організаційних систем [6, с. 201].

Еволюція систем управління промисловими підприємствами є закономірним процесом розвитку технологій, організаційних підходів і методів обробки інформації, що відображає перехід від простих механізмів автоматизації до складних інтелектуальних систем підтримки та прийняття рішень. Цей процес тісно пов'язаний із загальносвітовими технологічними трансформаціями та становленням цифрової економіки (табл. 1).

Таблиця 1. Еволюція систем управління промисловими підприємствами

Етап розвитку	Ключова характеристика	Основні технології	Результат для підприємства
Базова автоматизація кінець ХХ ст. – поч. 2000-х	Автоматизація окремих операцій і процесів	АСУ ТП, АСУП, локальні інформаційні системи	Зменшення ручної праці, базове підвищення ефективності
Інформатизація та інтеграція 2000–2015	Об'єднання функціональних систем у єдине інформаційне середовище	ERP-системи, CRM, SCM	Підвищення прозорості та координації процесів
Цифровізація управління 2015–2020	Перехід до цифрових даних і онлайн-аналізу процесів	Big Data, IoT, хмарні технології, BI-системи	Прискорення прийняття рішень, підвищення точності
Цифрова трансформація 2020 – дотепер	Комплексна перебудова управлінських систем	Цифрові платформи, кіберфізичні системи, Digital Twin	Гнучкість, адаптивність, нові бізнес-моделі
Інтелектуальні моделі управління сучасний тренд	Часткова автономізація управлінських рішень	AI, Machine Learning, нейромережі, цифрові двійники	Самонавчальні системи, мінімізація людського втручання

Джерело: сформовано автором на основі [1; 3, с. 88; 7, с. 149; 9, с. 37]

Еволюція систем управління промисловими підприємствами демонструє чіткий перехід від автоматизації окремих операцій до створення складних інтелектуальних екосистем управління. Якщо на перших етапах основним завданням було підвищення ефективності обробки інформації, то сучасний етап орієнтований на формування адаптивних, прогнозних і самонавчальних систем управління, що є ключовою передумовою конкурентоспроможності підприємств у цифровій економіці [9, с. 37].

Гірничо-металургійний комплекс (ГМК) у сучасних умовах виступає складною багаторівневою системою, що поєднує видобувні, збагачувальні, металургійні та логістичні

процеси. Його функціонування в умовах цифровізації характеризується глибокими структурними змінами, які охоплюють як виробничу сферу, так і систему управління підприємствами. Структурно гірничо-металургійний комплекс включає два взаємопов'язані сегменти: гірничодобувний та металургійний. Перший охоплює видобуток залізної руди, вугілля та інших корисних копалин, другий — їх переробку та виробництво металопродукції [6, с. 2.01].

Особливістю ГМК є високий рівень технологічної взаємозалежності між етапами виробничого циклу. Будь-які зміни у видобутку або постачанні сировини безпосередньо впливають на металургійне виробництво. Крім того, галузь характеризується [1]:

- значною капіталомісткістю та довгими інвестиційними циклами;
- безперервним характером виробництва;
- високою енерго- та ресурсоемністю;
- значним екологічним навантаженням.

Умови цифровізації підсилюють необхідність інтеграції всіх елементів ГМК в єдину інформаційно-управлінську систему.

Цифрова трансформація гірничо-металургійного комплексу базується на комплексному використанні сучасних цифрових технологій, які змінюють як виробничі процеси, так і систему управління. Найбільш впливовими серед них є Big Data, Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI) та цифрові платформи. Їх інтеграція формує основу інтелектуального управління підприємствами галузі (табл. 2).

Таблиця 2. Цифрові технології в управлінні ГМК та їх функціональна роль

Технологія	Основне призначення	Функціональна роль в управлінні	Рівень впливу	Ключові управлінські ефекти
Big Data (великі дані)	Обробка та аналіз великих масивів даних	Аналітико-прогнозна	Стратегічний	Прогнозування попиту, оптимізація витрат, виявлення прихованих закономірностей
IoT (Інтернет речей)	Збір даних із датчиків і обладнання в реальному часі	Моніторингово-контрольна	Оперативний	Контроль стану обладнання, зниження аварійності, predictive maintenance
Штучний інтелект (AI)	Інтелектуальний аналіз даних та прийняття рішень	Рекомендаційно-автоматизована	Тактичний і стратегічний	Автоматизація рішень, оптимізація процесів, прогнозування сценаріїв
Цифрові платформи	Інтеграція всіх інформаційних потоків підприємства	Інтеграційно-координаційна	Системний (корпоративний)	Єдине інформаційне середовище, узгодження підрозділів, прозорість управління

Джерело: сформовано автором на основі [3, с. 88; 7, с. 149; 10, с. 3167]

Комплексне застосування зазначених технологій формує багаторівневу систему цифрового управління:

- IoT забезпечує збір первинних даних (рівень сенсорів);
- Big Data виконує функцію аналітичної обробки (рівень даних);
- AI формує інтелектуальні рішення (рівень рішень);
- цифрові платформи забезпечують інтеграцію всієї системи (рівень управління).

Відбувається перехід від розрізнених інформаційних систем до єдиної інтелектуальної цифрової екосистеми управління підприємством. Цифрові технології у гірничо-металургійному комплексі виконують не лише допоміжну функцію, а й стають структуроутворюючим елементом системи управління. Їх синергія забезпечує перехід до прогнозно-аналітичного та інтелектуального управління, що суттєво підвищує ефективність, безпеку та конкурентоспроможність підприємств галузі [11, с. 121].

У сучасних умовах глобальної конкуренції, технологічної нестабільності та стрімкого розвитку інновацій цифрова трансформація стає визначальним фактором ефективності управління підприємствами. Особливо це актуально для гірничо-металургійного комплексу,

який традиційно характеризується високою капіталомісткістю, складною виробничою структурою та значною залежністю від світових ринків сировини й енергоносіїв. Сьогодні цифровізація перестає бути допоміжним інструментом і перетворюється на системоутворюючий елемент управління, що змінює логіку прийняття рішень, організацію бізнес-процесів та взаємодію між усіма учасниками виробничого ланцюга [12].

Додатковим підтвердженням актуальності дослідження є сучасна динаміка розвитку металургійної галузі України. Зокрема, у січні–листопаді 2025 року спостерігається неоднорідна структура виробництва: обсяги випуску чавуну зросли до 7,19 млн тонн, прокату — до 5,97 млн тонн, тоді як виплавка сталі скоротилася до 6,81 млн тонн [18]. Така різноспрямована динаміка свідчить про нестабільність виробничих процесів, наявність структурних дисбалансів та обмежену ефективність традиційних підходів до управління галуззю (рис. 1).

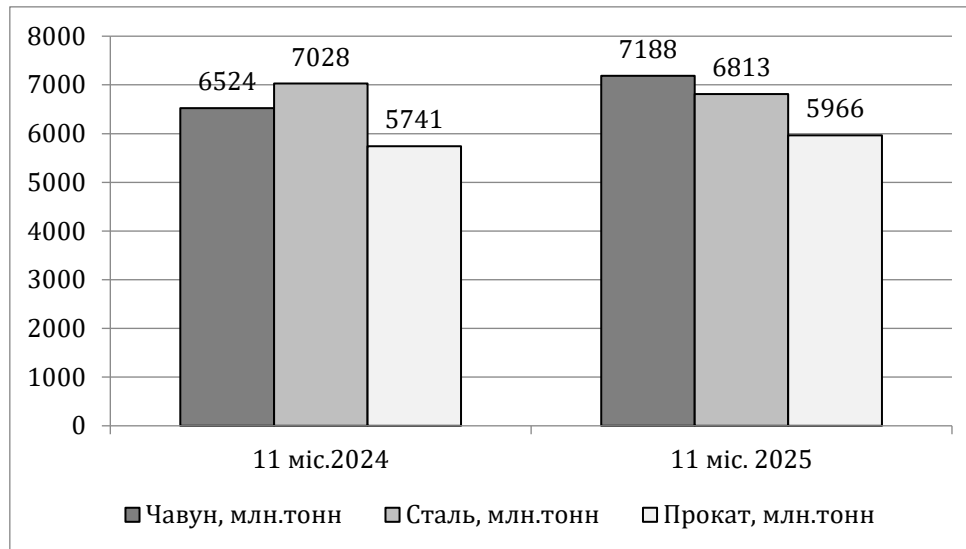


Рис. 1. Динаміка розвитку металургійної галузі України за 11 міс. 2024–2025 рр., млн. тонн

Джерело: побудовано автором на основі [18].

У цьому контексті цифрова трансформація управління в гірничо-металургійному комплексі постає як необхідна умова підвищення стійкості та адаптивності підприємств. Вона передбачає перехід від фрагментарної автоматизації до інтегрованих інтелектуальних систем, здатних забезпечувати комплексне управління виробничими процесами на основі даних. Використання технологій інтернету речей (IoT), штучного інтелекту, великих даних і цифрових двійників дозволяє здійснювати моніторинг обладнання в реальному часі, прогнозувати відмови, оптимізувати виробничі режими та підвищувати ефективність використання ресурсів [15].

Сучасні тенденції розвитку галузі, зокрема дисбаланс між виробництвом різних видів металургійної продукції, підсилюють необхідність формування нових механізмів управління. Йдеться про перехід від автоматизованих, але ізольованих рішень до комплексних інтелектуальних моделей, що забезпечують інтеграцію даних, адаптивність системи управління та підтримку стратегічних управлінських рішень. У зв'язку з цим дослідження механізмів цифрової трансформації системи управління в гірничо-металургійному комплексі — від автоматизації до інтелектуальних моделей — є надзвичайно актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки дозволяє сформулювати ефективні підходи до підвищення конкурентоспроможності, стійкості та інноваційного розвитку підприємств галузі [17].

Цифрова трансформація управління в гірничо-металургійному комплексі відображає перехід від фрагментарної автоматизації окремих операцій до інтегрованих інтелектуальних систем, які охоплюють увесь життєвий цикл виробництва — від геологорозвідки до реалізації готової продукції. В основі цих змін лежить впровадження технологій Індустрії 4.0, зокрема інтернету речей (IoT), штучного інтелекту, великих даних та цифрових двійників, які забезпечують безперервний збір, обробку та аналіз інформації в режимі реального часу. Завдяки

цьому підприємства отримують можливість переходу до проактивного управління, орієнтованого на прогнозування, оптимізацію та мінімізацію ризиків [19].

Актуальність дослідження посилюється тим, що глобальні тренди свідчать про стрімке зростання рівня цифровізації в галузі: понад 68 % компаній гірничодобувного сектору вже реалізують проекти цифрової трансформації, а використання аналітики та штучного інтелекту дозволяє знижувати витрати, підвищувати продуктивність і покращувати безпеку виробництва. У металургії аналогічні процеси супроводжуються широким впровадженням сенсорних систем, цифрових двійників та автоматизованих платформ управління, що забезпечують підвищення ефективності виробництва на 15–20 % [20]. Таким чином, цифровізація стає не лише фактором підвищення конкурентоспроможності, а й необхідною умовою виживання підприємств у довгостроковій перспективі.

Після найважчого 2022 року інвестиційна активність в Україні починає відновлюватися. У 2023 році загальний обсяг капітальних інвестицій у країні зріс на 41 % р./р. – до 395 млрд грн, у промисловості – на 79 % р./р., до 170 млрд грн. Втім, довоєнний рівень інвестицій ще довго буде недосяжним, а поточне зростання частково спричинене інфляцією та девальвацією нацвалюти [20]. Українська металургія є однією із найбільш постраждалих від російського вторгнення галузей економіки. Внаслідок війни кількість меткомбінатів скоротилася вдвічі. До 6-го з 12 у 2013 році номінальні потужності з виробництва стали впали з 42 млн т до 17,8 млн т зараз.

Однак, попри всі труднощі воєнного часу, український гірничо-металургійний комплекс продовжує вкладати значні кошти на підтримку та модернізацію власних потужностей, будучи одним із найбільших інвесторів в економіку країни. Питома вага капінвестицій ГМК у загальному показнику вкладень у промисловості за підсумками 2023 року становила майже 10 %. Інвестиції в галузі припинили падіння, яке спостерігалось за підсумками найважчого 2022-го, та практично стабілізувалися. Загальний обсяг капінвестицій ГМК 2023-го скоротився на 7,2 % р./р. – до 16,6 млрд грн, при тому, що інвестиції 2022 року були частково реалізовані без урахування військових дій у січні-лютому. Динаміка у різних сегментах ГМК була різноспрямованою. За підсумками минулого року капінвестиції у металургію зросли на 3,3 % р./р. – до 8,2 млрд грн, але у виробництво залізної руди скоротилися на 15,6 % р./р. – до 8,4 млрд грн. [21].

Інвестиційна активність підприємств гірничо-металургійного комплексу України у 2023–2024 роках демонструє тісний зв'язок із процесами цифрової трансформації систем управління. Узагальнені дані свідчать, що навіть в умовах воєнної економіки провідні компанії галузі — зокрема Метінвест, Фергехро, Інтерпайп та АрселорМіттал Кривий Ріг — продовжують інвестувати значні ресурси у модернізацію виробництва та впровадження сучасних технологій. Зокрема, обсяг інвестицій Метінвесту у 2023 році становив \$284 млн, при цьому основна частина коштів була спрямована у гірничодобувний сегмент, що відображає пріоритет цифровізації видобувних процесів. Подібна тенденція спостерігається і в діяльності Фергехро, яка зосередилася на модернізації технологічних процесів [22].

У свою чергу, Інтерпайп продемонструвала зростання інвестицій на 48 %, що свідчить про активізацію впровадження інноваційних рішень, зокрема у сфері «зеленої» металургії та цифрового контролю виробничих процесів. АрселорМіттал Кривий Ріг збільшив обсяг капітальних вкладень до \$130 млн, що також пов'язано з модернізацією виробництва, автоматизацією екологічного моніторингу та впровадженням цифрових інструментів управління.

Водночас загальний обсяг капітальних інвестицій у ГМК у 2023 році становив 16,6 млрд грн, що лише незначно поступається попередньому року. Це свідчить про стабілізацію інвестиційної діяльності та збереження стратегічного курсу на цифрову трансформацію, незважаючи на значні ризики. Важливою характеристикою є те, що до 80% інвестицій спрямовується на підтримку операційної діяльності, що обмежує можливості швидкого переходу до повноцінних інтелектуальних моделей управління [23].

Цифрова трансформація гірничо-металургійного комплексу України відбувається нерівномірно, однак провідні компанії галузі вже демонструють системне впровадження технологій Industry 4.0, зокрема штучного інтелекту, Big Data, IoT та цифрових платформ. Найбільш показовими кейсами є діяльність «Метінвесту» та «АрселорМіттал Кривий Ріг», які формують базові стандарти цифровізації в українській металургії (табл. 3).

Таблиця 3. Аналіз кейсів цифрової трансформації у ГМК України

Підприємство	Основні напрями цифровізації	Використані технології	Ключові результати	Аналітичний ефект
Metinvest	Інтелектуалізація управління, цифровізація виробничих ланцюгів, аналітика даних	AI, Big Data, цифрові платформи, ERP-системи	Оптимізація логістики, підвищення ефективності виробництва, покращення управлінських рішень	Перехід до data-driven та частково AI-орієнтованого управління
(ArcelorMittal Kryvyi Rih)	Автоматизація виробництва, модернізація обладнання, промислова безпека	SCADA, IoT, системи моніторингу, автоматизовані контролери	Зниження аварійності, підвищення стабільності виробництва, модернізація технологічних процесів	Формування інфраструктурної моделі цифровізації
Ferrexpo	Цифровізація видобутку та збагачення руди, енергоефективність	IoT-сенсори, системи моніторингу, аналітика даних	Підвищення ефективності збагачення, зниження енергоспоживання, стабілізація виробничих процесів	Перехід до ресурсно-оптимізованого виробництва на основі даних
ДТЕК (гірничо-енергетичний сегмент)	Цифровізація видобутку вугілля та управління шахтами	IoT, predictive maintenance, цифрові платформи управління	Зменшення простоїв обладнання, підвищення безпеки шахт, оптимізація видобутку	Впровадження predictive та remote-управління виробництвом
Interpipe	Автоматизація трубного виробництва, цифровий контроль якості	AI-системи контролю, автоматизовані лінії, цифрові датчики	Підвищення точності контролю якості, зниження браку, оптимізація виробничих процесів	Перехід до високоточної автоматизованої моделі виробництва

Джерело: сформовано автором на основі [22–24].

Аналіз провідних підприємств гірничо-металургійного комплексу України показує, що цифрова трансформація має диференційований характер і реалізується за трьома основними моделями [22]:

- інтелектуальна модель (Metinvest) — орієнтація на AI, Big Data та управління на основі даних;
- інфраструктурна модель (ArcelorMittal Kryvyi Rih) — модернізація виробництва та автоматизація;
- ресурсно-оптимізаційна модель (Ferrexpo, ДТЕК, Interpipe) — підвищення ефективності використання ресурсів і контроль виробництва.

Досвід компанії Metinvest свідчить про високий ступінь цифрової зрілості [19]. Важливо, що цифровізація охоплює фінанси, логістику, безпеку та документообіг. Використання технологій комп'ютерного зору, промислового IoT та машинного навчання забезпечує підвищення рівня промислової безпеки, оптимізацію технологічних параметрів та зниження витрат. Наприклад, впровадження системи контролю хімічного складу чавуну дало змогу економити понад 1 млн дол. США щорічно [25].

У випадку ArcelorMittal Kryvyi Rih цифрова трансформація реалізується через масштабні інвестиції у модернізацію виробництва та автоматизацію технологічних процесів. Загальний обсяг інвестицій у розвиток підприємства перевищив 10 млрд дол. США, що включає впровадження автоматизованих систем моніторингу, екологічного контролю та модернізацію виробничих потужностей. Водночас навіть у складних умовах підприємство демонструє здатність до відновлення виробництва: у 2024 році обсяг виплавки сталі зріс приблизно на 70%, що свідчить про ефективність управлінських і технологічних рішень [26].

Цифрова трансформація системи управління підприємствами гірничо-металургійного комплексу є складним багаторівневим процесом. Для системного розуміння цієї трансформації доцільно структурувати її у вигляді функціональних механізмів, кожен з яких виконує окрему

роль у загальній архітектурі цифрового управління [17]. Запропонована табл. 4 узагальнює ключові рівні цифрової трансформації, визначає їх технологічне наповнення та управлінське значення, що дозволяє простежити логіку еволюції від базової автоматизації до інтелектуального управління.

Таблиця 4. Механізми цифрової трансформації управління підприємствами ГМК

Рівень механізму	Зміст процесу	Основні технології	Функціональна роль	Управлінський ефект
Збір даних	Фіксація виробничих параметрів у реальному часі	IoT, датчики, SCADA-системи	Формування первинного інформаційного потоку	Підвищення точності та оперативності даних
Інтеграція даних	Об'єднання інформації в єдину систему	ERP, цифрові платформи, бази даних	Створення єдиного інформаційного середовища	Усунення фрагментації управління
Аналітика	Обробка та інтерпретація даних	Big Data, BI-системи, OLAP	Виявлення закономірностей і трендів	Підвищення обґрунтованості рішень
Прогнозування та моделювання	Побудова сценаріїв розвитку процесів	Machine Learning, Digital Twin, математичні моделі	Передбачення подій і оптимізація процесів	Зменшення ризиків і простоїв
Інтелектуальне управління	Автоматизоване або напівавтономне прийняття рішень	AI, DSS, неймережі	Генерація управлінських рішень	Перехід до проактивного управління
Організаційна трансформація	Зміна структури та бізнес-процесів	Agile, reengineering, цифрові компетенції	Адаптація підприємства до цифрової моделі	Підвищення гнучкості та ефективності

Джерело: сформовано автором на основі [17; 27]

Систематизація механізмів цифрової трансформації управління підприємствами ГМК свідчить про наявність чіткої ієрархічної структури розвитку цифрових технологій. Кожен наступний рівень — від збору даних до інтелектуального управління — ґрунтується на попередньому та розширює функціональні можливості системи управління. У результаті формується інтегрована цифрова екосистема, яка забезпечує перехід від реактивного до проактивного та частково автономного управління. Це підвищує точність рішень, оперативність реагування на зміни та загальну ефективність функціонування підприємств гірничо-металургійного комплексу в умовах цифрової економіки [2, с. 5].

Механізми цифрової трансформації системи управління в ГМК утворюють ієрархічно структуровану систему, яка охоплює всі рівні — від збору даних до інтелектуального прийняття рішень. Їх системна взаємодія забезпечує перехід від традиційної реактивної моделі управління до проактивної та частково автономної, що є ключовою умовою підвищення ефективності та конкурентоспроможності підприємств галузі. У сучасних умовах трансформації гірничо-металургійного комплексу ключового значення набуває формування ефективної системи управління, здатної адаптуватися до динамічного зовнішнього середовища, технологічних змін та зростаючих вимог до продуктивності й екологічності виробництва [4, с. 52].

У цьому контексті виникає необхідність системного підходу до удосконалення управління підприємствами ГМК. Представлена табл. 5 узагальнює ключові напрями такого удосконалення, визначає відповідні інструменти реалізації та очікувані результати.

Аналіз напрямів удосконалення системи управління свідчить про поступовий перехід підприємств гірничо-металургійного комплексу від традиційних підходів до управління до інтегрованих цифрових моделей. Кожен із представлених напрямів — формування стратегії, розвиток організаційно-економічного механізму, управління змінами та впровадження інтелектуальних систем — є складовою єдиного трансформаційного процесу. Важливо, що ефективність цифрової трансформації визначається не лише рівнем впровадження технологій, а й здатністю підприємства забезпечити їх комплексну інтеграцію у бізнес-процеси та управлінські рішення [8, с. 388]. У перспективі це дозволяє сформувати гнучку, адаптивну та інтелектуально орієнтовану систему управління, яка забезпечує підвищення

конкурентоспроможності, стійкість до зовнішніх викликів і довгостроковий розвиток підприємств ГМК.

Таблиця 5. Напрями удосконалення системи управління підприємствами ГМК в умовах цифрової трансформації

Напрямок удосконалення	Зміст напрямку	Інструменти та технології	Очікувані результати
Формування стратегії цифрової трансформації	Розробка довгострокової цифрової стратегії, інтеграція бізнес- і IT-стратегій	ERP, цифрові платформи, Big Data, цифрові двійники	Узгодженість управлінських рішень, підвищення ефективності планування
Організаційно-економічний механізм впровадження інновацій	Формування системи фінансування, оцінки ефективності та координації інновацій	ROI, NPV, OEE, інвестиційні моделі, KPI	Підвищення інвестиційної ефективності, зниження витрат
Управління змінами та розвиток компетенцій персоналу	Адаптація персоналу до цифрових змін, розвиток цифрових навичок	e-learning, корпоративні IT-академії, HR-аналітика	Підвищення продуктивності праці, зменшення опору змінам
Інтеграція інтелектуальних систем у бізнес-процеси	Впровадження AI-рішень, автоматизація прийняття рішень, цифровізація виробництва	AI, IoT, Big Data, цифрові двійники, MES	Зниження простоїв, оптимізація ресурсів, підвищення точності прогнозування

Джерело: авторська розробка

Розвиток інтелектуальних моделей управління у гірничо-металургійному комплексі безпосередньо пов'язаний із широким впровадженням технологій штучного інтелекту, які трансформують підходи до прийняття управлінських рішень. На відміну від традиційних систем, що базуються на ретроспективному аналізі, AI дозволяє працювати з великими обсягами даних у режимі реального часу, формуючи прогностичні та рекомендаційні моделі.

У практиці підприємств ГМК штучний інтелект використовується для [11, с. 121]:

- оптимізації виробничих процесів;
- прогнозування технічного стану обладнання;
- аналізу якості продукції;
- підтримки управлінських рішень на основі сценарного аналізу.

Зокрема, у діяльності Метінвест застосування AI дозволило автоматизувати значну частину бізнес-процесів і підвищити точність управлінських рішень. У перспективі роль штучного інтелекту зростатиме, трансформуючи менеджмент у напрямі інтелектуально підтриманого управління (AI-assisted management) [20].

Інтенсивний розвиток цифрових технологій формує принципово нові підходи до організації управлінських процесів у промисловості. Застосування штучного інтелекту у прийнятті рішень, розвиток прогностично-аналітичних систем, а також формування автономних управлінських контурів дозволяють підприємствам переходити від реактивного до проактивного управління [13]. У цьому контексті доцільно систематизувати ключові напрями розвитку інтелектуальних моделей управління та окреслити їхній вплив на трансформацію цифрового управління в галузі (табл. 6).

Розвиток інтелектуальних моделей управління у гірничо-металургійному комплексі відкриває широкі можливості для підвищення ефективності виробничих систем, оптимізації використання ресурсів та зниження операційних ризиків. Інтеграція штучного інтелекту у процеси прийняття управлінських рішень сприяє формуванню адаптивних, самонавчальних систем, здатних оперативно реагувати на зміни зовнішнього середовища. Водночас впровадження автономних управлінських систем та розвиток сценарного моделювання дозволяють забезпечити більш високий рівень прогнозованості та стійкості функціонування підприємств [15]. Подальший розвиток цифрового управління в ГМК пов'язаний із переходом до

комплексних інтелектуальних платформ, що інтегрують виробничі, логістичні та управлінські процеси в єдине інформаційне середовище, формуючи основу для індустрії нового покоління.

Таблиця 6. Сценарії розвитку цифрового управління в ГМК

Сценарій розвитку	Характеристика	Основні технології	Переваги	Тип підприємств
Інкрементальний	Поступове впровадження цифрових рішень у окремі бізнес-процеси без радикальної зміни системи управління	ERP-системи, базова автоматизація, локальні IT-рішення	Низькі інвестиційні витрати, мінімальні організаційні зміни, швидке впровадження	Підприємства з обмеженими фінансовими ресурсами або низьким рівнем цифрової зрілості
Інтеграційний	Комплексна цифровізація з інтеграцією інформаційних систем у єдину управлінську платформу	ERP, MES, CRM, SCADA, Big Data, хмарні платформи	Підвищення ефективності управління, прозорість процесів, покращення координації	Великі підприємства, що знаходяться на етапі активної цифрової трансформації
Інтелектуальний	Використання інтелектуальних систем, штучного інтелекту та цифрових двійників для автономного управління	AI/ML, цифрові двійники, IoT, аналітика в реальному часі, роботизація	Прийняття рішень на основі даних, прогнозування, оптимізація ресурсів, підвищення продуктивності	Інноваційно орієнтовані підприємства з високим рівнем цифрової зрілості
Зелено-цифровий	Поєднання цифрової трансформації з екологічною модернізацією виробництва та принципами сталого розвитку	AI для енергоефективності, IoT-моніторинг, цифрові платформи ESG, блокчейн	Зниження викидів, оптимізація споживання ресурсів, підвищення екологічної стійкості	Підприємства, орієнтовані на ESG-стандарти та інтеграцію у глобальні ринки

Джерело: авторська розробка

6. Conclusions

Проведене дослідження механізмів цифрової трансформації системи управління в гірничо-металургійному комплексі дозволяє зробити низку узагальнюючих висновків щодо сучасного стану, тенденцій та перспектив розвитку галузі. Цифрова трансформація управління в ГМК набуває системного характеру та поступово еволюціонує від базової автоматизації окремих виробничих операцій до формування інтегрованих інтелектуальних управлінських моделей. Це означає перехід від фрагментарного використання цифрових технологій до комплексної перебудови бізнес-процесів на основі даних, аналітики та штучного інтелекту.

Виявлено, що провідними технологічними рушіями цифровізації є Big Data, IoT, штучний інтелект, цифрові двійники та зведені платформи керування. Їх використання сприяє зростанню ефективності виробництва, зменшенню витрат, впорядкуванню ресурсів та поліпшенню якості керівних рішень. Розгляд практичних здобутків передових підприємств галузі, зокрема Metinvest, АрселорМіттал Кривий Ріг, Ferrexpo та Інтерпайп, демонструє нерівномірність цифрового перетворення. Найбільш прогресивні фірми вже перейшли до інтеграційних та частково інтелектуальних моделей керування, тоді як інші знаходяться на стадії початкової цифровізації та автоматизування.

Перспективи розвитку галузі безпосередньо пов'язані з переходом до інтелектуальних та зелено-цифрових моделей управління, які поєднують цифровізацію з принципами сталого розвитку та декарбонізації виробництва. У довгостроковій перспективі це передбачає формування автономних управлінських систем, здатних до самонавчання, прогнозування та адаптації до змін зовнішнього середовища.

Отже, цифрова трансформація гірничо-металургійного комплексу є багатовимірним процесом, що охоплює технологічні, організаційні та економічні аспекти. Її успішна реалізація визначатиме конкурентоспроможність підприємств, їхню стійкість до кризових викликів та здатність інтегруватися у глобальні виробничі й технологічні ланцюги.

References

1. Netudykhata, K. (2023). Tsyfrovizatsiia upravlinnia orhanizatsiiamy [Digitalization of organizational management]. *Ekonomika ta suspilstvo*, (56). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-155> (in Ukrainian)
2. Horbanova, V. (2024). Vplyv tsyfrovoy transformatsii biznesu na mekhanizmy korporatyvnoho upravlinnia [The impact of digital business transformation on corporate governance mechanisms]. *Ukrainskyi ekonomichnyi chasopys*, (4), 5–10. <https://doi.org/10.32782/2786-8273/2024-4-1> (in Ukrainian)
3. Mukha, T. A. (2025). Process mining-driven digital transformation of enterprise logistics for circular and sustainable supply-chain performance. *Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management: Electronic Scientific and Practical Journal*, (32), 88–99. <https://doi.org/10.46783/smart-scm/2025-32-6>
4. Kunytska, M., Piskun, I., Kotenko, V., & Kryvoruchko, A. (2024). Digital modelling technologies in the mining industry: Effectiveness and prospects of digitalisation of open-pit mining enterprises. *Bulletin of Cherkasy State Technological University*, 29(1), 52–61. <https://doi.org/10.62660/bcstu/1.2024.52>
5. Adamenko, M., Afanasiev, I., Kapitula, S., & Shakhno, A. (2021). Investuvannia v innovatsiinyi rozvytok konkurentospromozhnosti resursnoho ta vyrobnychoho potentsialu hirnychodobuvnykh pidpriemstv [Investing in innovative development of the competitiveness of resource and production potential of mining enterprises]. *Ekonomichnyi analiz*, 31(3), 105–114. <https://doi.org/10.35774/econa2021.03.105> (in Ukrainian)
6. Latysheva, O. V., Rovenska, V. V., & Smyrnova, I. I. (2025). Intehratsiia pryntsyviv staloho rozvytku ta vymoh ESG u proiektly modernizatsii hirnycho-metallurhiinykh pidpriemstv Ukrainy [Integration of sustainable development principles and ESG requirements into modernization projects of mining and metallurgical enterprises in Ukraine]. *Naukovyi Zhurnal Metinvest Politekhniky. Seriya: Tekhnichni nauky*, (4), 201–210. <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-4-27> (in Ukrainian)
7. Kryshchal, H., Zgalat-Lozynska, L., Denysiuk, O., Skyba, H., & Panin, Ye. (2023). The impact of Industry 4.0 on the digital transformation of manufacturing enterprises in Ukraine. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 149–153. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/149>
8. Makovoz, O. S., & Lysenko, S. M. (2024). Tsyfrova transformatsiia – skladova staloho rozvytku [Digital transformation is a component of sustainable development]. In R. V. Hrinchenko, Yu. A. Yehupov, & O. S. Kichuk (Eds.), *Ekonomika pidpriemstva: suchasni problemy teorii ta praktyky: Materialy 13-yi mizhnar. nauk.-prakt. konf.* (pp. 388–389). ONEU. <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/84457> (in Ukrainian)
9. Hartlieb-Wallthor, P. V., Hecken, R., Kowitz, S. F., Suci, M., & Ziegler, M. (2022). Sustainable smart mining: Safe, economical, environmental friendly, digital. In W. Frenz & A. Preuße (Eds.), *Yearbook of sustainable smart mining and energy 2021* (pp. 37–79). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-84315-1_4
10. Duarte, J., Rodrigues, M. F., & Baptista, J. S. (2021). Data digitalisation in the open-pit mining industry: A scoping review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28(4), 3167–3181. <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09493-3>
11. Acosta-Quelopana, A. M., Stothard, P., Berrios-Espezuá, M. G., & Rodríguez-Delgado, J. J. (2025). Evaluation of the technology acceptance model of digital twins supported by artificial intelligence in the mining Metaverse: A partial least squares structural equation modelling analysis. *Mining Technology: Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy*, 134(2), 121–142. <https://doi.org/10.1177/25726668251348711>
12. Zhironkina, O., & Zhironkin, S. (2023). Technological and intellectual transition to Mining 4.0: A review. *Energies*, 16(3), Article 1427. <https://doi.org/10.3390/en16031427>
13. Pakdel, J., & Erol, I. (2025). Scrutinizing challenges to adopting digital technologies in the mining industry: A systematic review through PRISMA and bibliometric analysis. *Resources Policy*, (109), Article 105713. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2025.105713>
14. Holushko, D. (2025). Tsyfrova transformatsiia upravlinnia pidpriemstvom: svitovi trendy ta ukrainska praktyka [Digital transformation of enterprise management: global trends and Ukrainian practice]. *Ekonomika ta suspilstvo*, (79). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-79-102> (in Ukrainian)

15. Tomakh, V. V., Sihaieva, T. Ye., & Martynenko, M. V. (2023). Tsyfrova transformatsiia upravlinnia pidpriemstvamy Ukrainy u konteksti staloho rozvytku: innovatsiini rishennia, kreatyvni tekhnolohii [Digital transformation of enterprise management in Ukraine in the context of sustainable development: innovative solutions, creative technologies]. *Akademichni vizii*, (18). <https://doi.org/10.5281/zenodo.7840221> (in Ukrainian)
16. Peng, Y., & Jia, L. (2024). Impacts of digital transformation on enterprise innovation resilience: A study from China. *South African Journal of Business Management*, 55(1). <https://doi.org/10.4102/sajbm.v55i1.4527>
17. Qiu, P., & Chang, B. (2025). The impact of digital transformation on open innovation performance: The intermediary role of digital innovation dynamic capability. *PLOS ONE*, 20(3), Article e0317785. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.031778>
18. *V Ukraini zroslo vyrobnytstvo chavunu, ale zmenshylas vyplavka stali. INFOGRAFIKA* [In Ukraine, pig iron production increased, but steel smelting decreased. INFOGRAPHIC]. (2025). <https://censor.net/biz/news/3589286/v-ukrayini-zroslo-vyrobnytstvo-chavunu-ta-prokatu> (in Ukrainian)
19. *Metinvest avtomatyzuvav 95% svoikh protsesiv za dopomohoiu shtuchnoho intelektu* [Metinvest has automated 95% of its processes using artificial intelligence]. (2025). <https://odessa-journal.com/metinvest-has-automated-95-of-its-processes-using-ai> (in Ukrainian)
20. *Metinvest stane naibilshym eksporterom Ukrainy u 2024 rotsi* [Metinvest will become Ukraine's largest exporter in 2024]. (2025). <https://dia.dp.gov.ua/en/metinvest-becomes-ukraines-largest-exporter-in-2024/> (in Ukrainian)
21. Hryhorenko, Yu. (2024). *Investytsii kompanii hirnycho-metallurhiinoho kompleksu pid chas viiny* [Investments of mining and metallurgical companies during the war]. <https://gmk.center/ua/infographic/investytsii-kompanij-hirnycho-metallurhiinoho-kompleksu-pid-chas-viiny/> (In Ukrainian)
22. Moroz, O. (2026). *"Metinvest" Akhmetova sered AI-lideriv Ukrainy: yak shtuchnyi intelekt intehruit u metallurhiiu* [Akhmetov's Metinvest among Ukraine's AI leaders: how artificial intelligence is being integrated into metallurgy]. <https://www.rbc.ua/rus/news/metinvest-ahmetova-sered-ai-lideriv-ukrayini-1774266555.html> (In Ukrainian)
23. *Investytsii ta proekty* [Investments and projects]. (n.d.). <https://ukraine.arcelormittal.com/corporate-responsibility/health-and-safety/investytsii-ta-proekty> (In Ukrainian)
24. Yermolenko, H. (2024). *Koshti u rozvytok: hirnycho-metallurhiinyi kompleks prodovzhuie investuvaty pid chas viiny* [Funds for development: the mining and metallurgical complex continues to invest during the war]. <https://gmk.center/ua/posts/koshti-u-rozvitok-girnycho-metallurgijiniy-kompleks-prodovzhuie-investuvati-pid-chas-vijni/> (In Ukrainian)
25. *Metinvest Digital: Yak ukrainska IT-kompaniia transformuie haluz u chasy viiny* [Metinvest Digital: How a Ukrainian IT company is transforming the industry in times of war]. (2025). <https://metinvestholding.com/en/media/news/metinvest-digital-yak-ukrainska-t-kompanya-transformu-promislovstji-u-chasi-vjni> (In Ukrainian)
26. *Ukraine's ArcelorMittal boosts steel output by 70% in 2024.* (2025). <https://www.reuters.com/markets/commodities/ukraines-arcelormittal-boosts-steel-output-by-70-2024-2025-01-21/>
27. *Digital metallurgy revolution: How AI and smart process control are transformation Europe's critical minerals refining industry.* (2026). <https://www.miningsee.eu/digital-metallurgy-revolution-how-ai-and-smart-process-control-are-transforming-europes-critical-minerals-refining-industry/>