

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра цифрових технологій та проєктно-аналітичних рішень

«Допущено до захисту»

Гарант ОПП

_____ Дмитро Жерліцин

« ____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»
за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Бізнес-процеси та операційна ефективність»
за спеціальністю 051 Економіка

**на тему «Підвищення операційної ефективності бізнес- процесу
керування якістю за рахунок впровадження MES на ГЗК
МЕТІНВЕСТ ХОЛДИНГУ»**

Керівник роботи

Олексій МІНЦ

Консультант від
бази практики

Олег ГРИЧАНІВСЬКИЙ

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

Здобувач

Сергій ЧУПРИКОВ

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

Голова ЕК

Юлія РЯХОВСЬКА

Запоріжжя 2026

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра	цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень
Ступінь вищої освіти	магістр
Спеціальність	051 Економіка
ОПП	Бізнес-процеси та операційна ефективність

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

_____ Дмитро ЖЕРЛІЦИН

«10» вересня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Чуприкова Сергія Васильовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАЦІЙНІЙ ЕФЕКТИВНОСТІ БІЗНЕС- ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ MES НА ГЗК МЕТІНВЕСТ ХОЛДИНГУ

керівник роботи Мінц Олексій Юрійович, професор, док. екон. наук,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 10.09. 2025 р. №239/10.09.2025

2. Термін подання роботи 22.01.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, література з спеціальних дисциплін та дипломовання, науково-дослідницькі роботи з тематики операційних процесів ГЗК, літературні джерела, дані ПРАТ «Центральний гірничо – збагачувальний комбінат» м. Кривий Ріг, результати власних досліджень тощо.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Реферат. Зміст. Вступ. 1. Теоретичні засади ІТ платформ оперативного управління виробництва MES/MOM систем. 2. Аналіз поточного стану та організації бізнес-процесу технічного обслуговування шин. 3. Напрями підвищення операційної ефективності за рахунок впровадження проєктів підвищення операційної з використанням ІТ/ОТ платформ MES. Висновки. Перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Діаграми в програмному продукті RAMUS типу IDEF 0 з декомпозицією до другого рівня. Графік розрахунку IRR. Таблиці аналізу існуючих систем. Таблиці дисконтованих показників ефективності проєкту. Таблиці інтегральних показників продуктивності та ефективності.

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта

7. Дата видачі завдання 10.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Теоретичні засади ІТ платформ оперативного управління виробництва MES/MOM систем	25.12.2025 – 28.12.2025
2	Розділ 2. Аналіз поточного стану та організації бізнес-процесу технічного обслуговування шин.	28.12.2025 – 02.01.2026
3	Розділ 3. Напрями підвищення операційної ефективності за рахунок впровадження проєктів підвищення операційної з використанням ІТ/ОТ платформ MES	03.01.2026 – 07.01.2026
4	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	07.01.2026 – 10.01.2026
5	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	20.01.2026 – 21.01.2026
6	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	24.01.2026 – 25.01.2026
7	Рецензування завершеної роботи. Захист	25.01.2026 – 28.01.2026

Здобувач

Сергій Чуприков

Керівник роботи

Олексій Мінц

РЕФЕРАТ

Чуприков С.В. Підвищення операційній ефективності бізнес- процесу керування якістю за рахунок впровадження MES на ГЗК Метінвест Холдингу – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 051 Економіка. Освітньо-професійної програма «Бізнес-процеси та операційна ефективність» - ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя 2026

Мета роботи : пошук і обґрунтування можливості підвищення операційної ефективності ділянок добутку руди в цілому та кар'єрного транспорту зокрема ПРАТ ЦГЗК завдяки впровадженню цифрової платформи на базі IIOT та її інтеграції з MES.

Об'єктом дослідження є процеси технічної експлуатації та оперативного управління роботою великовантажного кар'єрного автотранспорту в умовах відкритих гірничих робіт (на прикладі ПРАТ «ЦГЗК»).

Предметом дослідження є методи та інструменти підвищення операційній ефективності та безпеки гірничо-транспортного комплексу на основі впровадження цифрової екосистеми моніторингу (IIoT, TPMS) та її інтеграції з системою управління виробництвом (MES).

В першому розділі розглянуто теоретичні засади IT/OT платформ оперативного управління виробництва MES\MOM систем.

В другому розділі проаналізовано поточний стан та організація бізнес-процесу технічного обслуговування шин.

В третьому розділі розглянуто напрями підвищення операційної ефективності за рахунок впровадження проєктів підвищення операційної з використанням IT/OT платформ MES.

Список публікацій здобувача:

2. Чуприков С.В., Мінц О.Ю. Операційні поліпшення економічної ефективності роботи ГЗК завдяки впровадженню цифрових платформ IIOT і їх інтеграцією з MES. *Start in Science: студентська науково-технічна конференція : збірник тез і анотацій наукових доповідей.* – Одеса : Олді+, 2025,- С.220-223.

Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів

IIoT – Industrial Internet Of Things

MES-Manufacturing Execution System

MOM - Manufacturing Operational Management

ERP -Enterprise Resource Planning

APS – Advanced Process System

SCADA-Supervisory Control And Data Acquisition

DCS -Distribution Control System

ANSI-American National Standards Institute

ISA-International Society of Automation

PLC-Programming Logic Controller

НДР – наукова дослідна робота

ГЗК – гірничо-збагачувальний комбінат

ПРАТ– приватне акціонерне товариство

ПЗ -програмне забезпечення

ТОiP – технічне обслуговування і ремонт

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів	6
Вступ	8
1. Теоретичні засади впровадження ІТ платформ оперативного управління виробництвом	12
1.1. Місце та роль систем управління виробництвом в системі управління підприємством	12
1.2. Методологія управління гірничо-транспортними роботами в залізорудному кар'єрі	20
1.3. Сукупність планування та управління розвитком гірничих робіт	24
1.4. Системи TPMS/TPCS як складова частина MES/MOM систем	45
1.5. Показники і метрики оцінювання ефективності впровадження MES/MOM систем для цілей операційної ефективності бізнес процесів	48
Висновки до розділу 1	51
2. Аналіз поточного стану та організації бізнес-процесу технічного обслуговування шин	53
2.1. Характеристика ПРАТ «ЦЕНТРАЛЬНИЙ ГЗК» та основні бізнес-процеси	53
2.2. Основні напрямки впровадження модулів MES для ПРАТ «ЦЕНТРАЛЬНИЙ ГЗК»	56
2.3. Моделювання бізнес-процесу «Керування експлуатацією шин і станом доріг»	66
Висновки до розділу 2	75
3. Напрями підвищення операційної ефективності за рахунок впровадження проєктів підвищення операційної з використанням ІТ/ОТ платформ MES	77
3.1. Структура побудови та організація ТОВ «МЕТІНВЕСТ ДИДЖИТАЛ» як ІТ бізнес-партнера активів групи Метінвест	77
3.2. Основні програмні продукти, що використовуються в ТОВ "МЕТІНВЕСТ ДІДЖИТАЛ"	78
3.3. Економічні розрахунки доцільності впровадження проєкту операційної ефективності для покращення бізнес процесу	92
Висновки до розділу 3	102
Висновки	104
Список використаних джерел	106

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Забезпечення високої операційної ефективності залізорудних комбінатів у сучасних умовах зростаючої конкуренції та волатильності ринків потребує переходу до цифровізованих технологічних моделей управління. В межах гірничо-збагачувальних комбінатів Метінвест Холдингу ключовим викликом залишається стабілізація якості рудопотоку, скорочення простоїв гірничотранспортного обладнання та підвищення точності оперативного планування, навіть короткострокові відхилення якості руди та збої в роботі автосамоскидів і екскаваторів формують значні економічні втрати через збільшення простоїв, нерівномірність навантаження та неузгодженість транспортних потоків. У цьому контексті цифрові платформи IIoT, здатні забезпечити високоточний моніторинг техніки, збір телеметрії та автоматизоване формування аналітики, створюють фундамент для переходу до інтегрованої системи керування гірничотранспортним комплексом.

Світові тенденції у гірничодобувній промисловості демонструють стійкий рух до поєднання IIoT-платформ, систем диспетчеризації та MES/MOM-рішень. За даними глобальних досліджень McKinsey *"The Mine of the Future: Technology and innovation in mining"* [1] та Deloitte *"Tracking the Trends in Mining"* [2], інтегровані платформи «IIoT + MES» дозволяють скоротити простої видобувної техніки на 10–30%, знизити експлуатаційні витрати на 5–15%, забезпечити підвищення продуктивності транспорту на 10–20% та досягти повної простежуваності рудопотоків у реальному часі. Дослідження цих консалтингових агенцій також підкреслюють, що MES виконує роль «цифрового операційного ядра», яке синхронізує дані датчиків, телеметрії, систем контролю стану та планових завдань, дозволяючи

підприємствам переходити від реактивних рішень до предиктивних моделей управління виробництвом.

Результати Звіту НДР [3] підтверджують актуальність такої інтеграції. У звітах встановлено, що понаднормові простой техніки, нерегулярність рудопотоків, затримки під час перегонів обладнання та значні коливання якісних показників руди є наслідком відсутності єдиного цифрового контуру управління, який би об'єднував диспетчеризацію, планування та контроль якості в режимі реального часу. Інтеграція ІІоТ-систем - моніторинг техніки, позиціонування, контроль навантаження, діагностика стану із MES на рівні оперативного управління ГЗК створює можливості для адаптивного планування навантажувально-транспортних процесів, автоматичної оптимізації маршрутів, стабілізації якісних параметрів рудопотоку та скорочення технологічної варіабельності. Таким чином, дослідження операційних поліпшень ефективності роботи ГЗК Метінвест Холдингу шляхом впровадження цифрових платформ ІІоТ та їх інтеграції з MES є надзвичайно актуальним як з наукової, так і з практичної точок зору, оскільки відповідає провідним світовим тенденціям розвитку «розумних» гірничих підприємств і сприяє підвищенню конкурентоспроможності української гірничо-металургійної галузі.

В рамках визначеної проблематики автором планується покращити показники операційної ефективності ділянок добутку руди ГЗК в цілому та кар'єрного транспорту зокрема .

Метою дослідження є пошук і обґрунтування можливості підвищення операційної ефективності ділянок добутку руди в цілому та кар'єрного транспорту зокрема ПРАТ ЦГЗК завдяки впровадженню цифрової платформи на базі ІІоТ та її інтеграції з MES . Такий підхід має забезпечити формування єдиного цифрового контуру управління гірничо-транспортними процесами, підвищення достовірності

первинних даних, оптимізацію навантажувально-транспортних операцій та стабілізацію якісних параметрів рудопотоку.

Завдання роботи

- дослідити теоретичні засади та сучасні підходи до цифрової трансформації виробничих підприємств, зокрема роль систем MES/MOM та промислового Інтернету речей (IIoT) в управлінні операційною ефективністю;
- проаналізувати міжнародні стандарти, моделі та кращі світові практики впровадження MES/MOM-систем у гірничо-металургійному комплексі;
- дослідити організаційно-економічну характеристику ПАТ «Центральний ГЗК», структуру його виробничих підрозділів та ключові бізнес-процеси, що формують операційну ефективність;
- проаналізувати поточний стан бізнес-процесів управління виробництвом (модель AS-IS), зокрема процеси диспетчеризації, моніторингу, контролю якості та експлуатації кар'єрного транспорту;
- обґрунтувати доцільність впровадження цифрової платформи на базі IIoT та її інтеграції з MES, визначити цільову модель бізнес-процесів (TO-BE);
- розробити пропозиції щодо підвищення операційної результативності та ефективності бізнес-процесів шляхом автоматизації збору даних, аналітики та підтримки управлінських рішень;

Об'єктом дослідження є процеси технічної експлуатації та оперативного управління роботою великовантажного кар'єрного автотранспорту в умовах відкритих гірничих робіт (на прикладі ПРАТ ЦГЗК)

Предметом дослідження є методи та інструменти підвищення операційній ефективності та безпеки гірничо-транспортного комплексу на основі впровадження цифрової екосистеми моніторингу (IIoT, TPMS) та її інтеграції з системою управління виробництвом (MES).

Методи дослідження : загальнонаукові методи пізнання; аналіз наукових, нормативних і аналітичних джерел з проблематики цифрової трансформації та впровадження MES/MOM-систем; методи

економічного та порівняльного аналізу для оцінювання поточного стану та результатів упровадження цифрових рішень; метод процесного аналізу та моделювання бізнес-процесів із використанням нотації IDEF0 для формалізації моделей AS-IS і TO-BE; методи системного аналізу для дослідження взаємозв'язків між виробничими процесами, IoT-платформами та MES-рівнем; графічні й табличні методи подання інформації для візуалізації результатів дослідження; методи розрахунку економічної ефективності для визначення очікуваного економічного ефекту від запропонованих заходів..

1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІТ ПЛАТФОРМ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ

1.1. Місце та роль систем управління виробництвом в системі управління підприємством

Питанням, пов'язаним з інноваційними інтелектуальними системами підтримки та прийняття рішень в економіці, у т.ч. в промисловості опікувались багато робіт вітчизняних та закордонних фахівців [6,7].

Огляд теоретичних основ систем управління виробництвом (MES) доцільно розпочати з уточнення місця та ролі цих систем у загальній архітектурі управління сучасним виробничим підприємством. MES розглядається як спеціалізована прикладна програмна система, що забезпечує комп'ютеризацію оперативного управління виробництвом. Її призначення полягає у підтримці повного циклу управлінських функцій на рівні цехів, дільниць та виробничих ліній – від отримання планових завдань до реєстрації фактичних результатів, аналізу відхилень і формування зворотного зв'язку для систем вищого рівня. На відміну від ERP-систем, які орієнтовані переважно на довго- та середньострокове планування ресурсів підприємства, MES діє у часовому горизонті «тут і тепер», забезпечуючи управління та контроль виробничих процесів у реальному часі. Вона синхронізує, координує та оптимізує хід виробничих операцій, контролює всі ключові елементи виробничої системи – вхідні ресурси, технологічне обладнання, персонал, проміжну та готову продукцію, а також пов'язані з ними матеріальні та інформаційні потоки.

З погляду стандартів управління виробничо-комерційними системами[8] MES виконує роль проміжної ланки між рівнем бізнес-логістики та планування (ERP, APS та інші корпоративні системи) і

рівнем систем автоматизації технологічних процесів (PAS – Process Automation Systems), до яких належать SCADA-системи, DCS, PLC-контролери та спеціалізовані batch-рішення. Однією з базових функцій MES є трансляція технологічної інформації на адміністративний рівень та, у зворотному напрямку, передавання керівних впливів із корпоративного рівня на оперативний, а далі – у системи керування технологічним обладнанням. У практичному вимірі це означає, що MES отримує виробничий план від ERP, деталізує його до рівня змін, дільниць, бригад і конкретних робочих центрів, відстежує фактичний хід виконання робіт, реагує на відхилення, формує звітність і показники ефективності, а також забезпечує прозорість процесів для менеджменту підприємства.

Теоретичною основою побудови MES є стандарт ANSI/ISA-95 [9], метою якого є формалізація інтеграції верхніх рівнів управління підприємством з рівнем безпосереднього виробництва продукції. Цей стандарт вводить абстрактну модель виробничого підприємства, яка охоплює, з одного боку, функції контролю технологічних процесів, а з іншого – бізнес-функції, та описує електронний інформаційний обмін між ними. ANSI/ISA-95 задає єдину термінологію, систему понять і концептуальну структуру, що дозволяє уникнути неоднозначностей при розробленні, впровадженні та інтеграції різних програмно-технічних засобів. Стандарт складається з кількох частин. Перша частина (Models and Terminology) містить базові концепції, моделі та терміни, які описують взаємодію рівня управління підприємством із системами контролю. Друга частина (Object Model Attributes) деталізує об'єктні моделі, атрибути й приклади, що конкретизують застосування першої частини. У поєднанні з п'ятою частиною (Business to Manufacturing Transactions) вони визначають логіку й структуру обміну інформацією між бізнес-процесами та виробництвом, тобто описують, які саме бізнес-події ініціюють виробничі транзакції, у якому форматі та порядку

передаються дані, які відповіді повертає система оперативного управління.

Третя (Models of Manufacturing Operations Management) та четверта (Object models and attributes for Manufacturing Operations Management) частини ANSI/ISA-95 [9], що присвячені моделюванню оперативного управління виробництвом (MOM – Manufacturing Operations Management), описують типові функції, які можуть реалізовуватися за допомогою MES-систем. Вони вводять ієрархічні моделі функцій планування та управління виробництвом, моделі технологічного обладнання, інформаційних потоків та об'єктні моделі, що визначають об'єкти управління, їхні атрибути та відносини між ними. У цих моделях чітко окреслені межі між MES та PAS знизу, а також між MES та ERP згори, що дає змогу однозначно визначати, яка система відповідає за виконання конкретних функцій, і які дані циркулюють між ними. Таким чином, ANSI/ISA-95 не є «програмою» чи «продуктом», а концептуальним каркасом, на основі якого будуються багаторівневі інформаційні системи управління виробництвом.

Безпосередньо з проблематикою інтеграції технологічного рівня і MES пов'язаний стандарт ANSI/ISA-88[10], спочатку розроблений для автоматизації періодичних (рецептурних) виробництв. Його мета – усунути типові труднощі, що виникають при автоматизації batch-процесів: відсутність єдиної моделі виробництва, несумісність обладнання та програмного забезпечення різних постачальників, складність перенесення рецептів з одного майданчика на інший. В ANSI/ISA-88 ці проблеми вирішуються через введення єдиних термінів, структур даних, моделей процесів та мови опису технологічних процедур. Ключова ідея полягає в чіткому розділенні опису продукту (рецептури) і опису технологічного обладнання, на якому цей продукт виготовляється. Завдяки цьому забезпечується гнучкість: рецептуру можна реалізувати на різних апаратурних комплексах, а обладнання –

використовувати для різних продуктів. Хоча стандарт було створено для періодичних виробництв, його методологія може застосовуватися і в дискретних, і в безперервних процесах, що дозволяє використовувати його концепції при проектуванні MES та інтеграції з PAS у різних галузях, включно з гірничо-металургійною.

Подальший розвиток стандартів ANSI/ISA-88 і ANSI/ISA-95 пов'язаний із використанням відкритих форматів представлення даних[11,12]. XML (eXtensible Markup Language), запроваджена консорціумом W3C, стала універсальним інструментом опису структурованих даних, придатних як для машинної обробки, так і для читання людиною. Для реалізації положень згаданих стандартів у форматі XML міжнародна організація World Batch Forum ініціювала розроблення наборів XML-схем, що відображають їхні моделі в машинно-читаній формі. У результаті були створені дві ключові специфікації: BatchML (Batch Markup Language), що реалізує ANSI/ISA-88, та B2MML (Business to Manufacturing Markup Language), що реалізує ANSI/ISA-95. BatchML описує XML-структури для формалізованого подання рецептів, партій продукції, будівельних блоків рецептури та інформації про обладнання. B2MML, своєю чергою, містить набір XML-схем для опису ресурсів (персонал, обладнання, матеріали), технологічних можливостей, виробничих сегментів, визначень продуктів, виробничих графіків і показників продуктивності. Ці схеми відіграють важливу практичну роль, оскільки забезпечують інформаційну сумісність MES із системами ERP, LIMS, WMS, CMMS та іншими компонентами цифрової інфраструктури підприємства.

Концепція MES органічно пов'язана з багаторівневою моделлю функціональної ієрархії виробничих підприємств, яка лежить в основі ANSI/ISA-95 і спирається на референтну архітектуру PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture). У цій моделі виділяють п'ять рівнів (Рис.1.1). Нульовий рівень описує власне технологічні процеси –

сукупність фізичних, хімічних чи інших перетворень, у результаті яких вхідні ресурси (сировина, енергія, робоча сила, знання) трансформуються в кінцевий продукт. Перший рівень відповідає за безпосереднє керування фізичними процесами та первинний контроль їхніх параметрів. Тут функціонують сенсори, що вимірюють технологічні параметри, і виконавчі механізми - актуатори або сервоприводи, які реалізують керуючі впливи. Часові масштаби процесів першого рівня – секунди й долі секунди.

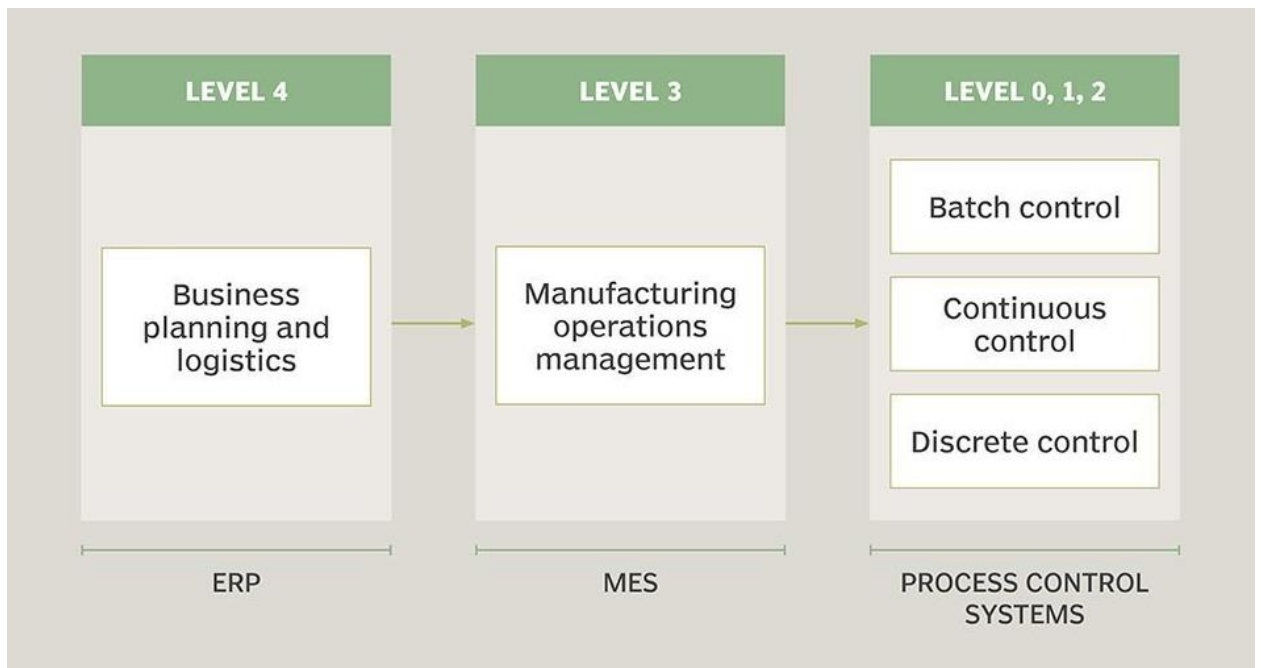


Рисунок 1.1 Ієрархія побудови моделі MES

Джерело :[8]

Другий рівень моделі відповідає за контроль і моніторинг параметрів процесів нульового рівня, стану обладнання та продукції. На цьому рівні працюють системи автоматизації технологічних процесів – PLC, DCS, SCADA, спеціалізовані batch-системи. Вони отримують сигнали від сенсорів, формують керуючі впливи на виконавчі механізми відповідно до заданих алгоритмів і забезпечують стабілізацію параметрів технологічних процесів. Типові часові горизонти процесів

другого рівня – від часток секунди до хвилин і годин. Для MES цей рівень є основним джерелом детальних технологічних даних.

Третій рівень – рівень оперативного управління виробництвом (MOM), де MES виконує ключову роль. Саме тут здійснюється планування й диспетчеризація виробничих операцій у короткостроковому горизонті (зміна, доба, тиждень), управління ресурсами, контроль виконання виробничих завдань, моніторинг продуктивності та якості. MES реалізує алгоритми розподілу завдань між ресурсами, оптимізує черги замовлень, реагує на відмови та відхилення, формує звіти та KPI. Четвертий рівень – рівень бізнес-логістики та корпоративного планування (ERP, PLM, CRM, HRM тощо), де приймаються стратегічні та тактичні рішення, формуються середньо- та довгострокові плани виробництва, постачання, збуту, інвестицій та розвитку.

Однією з базових функцій MES як елемента третього рівня є організація обміну даними між рівнем керування технологічними процесами (Level 2) та рівнем бізнес-процесів (Level 4). На четвертому рівні циркулюють агреговані дані, орієнтовані на місяці й тижні, тоді як другий рівень оперує великою кількістю оперативних вимірів, прив'язаних до секунд і хвилин. MES виконує роль «перекладача» між цими світами: з одного боку, вона трансформує план виробництва, який надходить із ERP, у деталізовані оперативні плани, розписані за ресурсами й часовими інтервалами; з іншого – агрегує дані з технологічних систем у форму, зрозумілу для ERP, контролінгу й аналітики. У цьому сенсі рівень MOM виступає ядром наскрізного цифрового контуру підприємства.

Модель активності на рівні MOM, що закладена в ANSI/ISA-95 і розвинута в моделі c-MES, запропонованій MESA International, структурує функції MES у кількох функціональних областях. До них належать управління визначенням продукту (детальний опис

технологічних маршрутів, рецептів, специфікацій), управління ресурсами (персонал, обладнання, матеріали, інструмент), планування та диспетчеризація виробництва, контроль ходу виконання виробничих операцій, збір та нагромадження даних, аналіз продуктивності та відстеження продукції (traceability). Наявність такої моделі дозволяє структурувати вимоги до MES, розділити відповідальність між нею та суміжними системами та забезпечити узгодженість під час впровадження.

Кожний рівень функціональної ієрархії потребує застосування специфічних прикладних систем[11]. На першому та другому рівнях домінують системи промислової автоматизації – PLC, DCS, SCADA, batch-контролери, системи телемеханіки. На третьому – різноманітні системи оперативного управління (MOMS): MES як базова платформа, а також LIMS (для управління лабораторними аналізами та якістю), WMS (для управління складами), CMMS (для управління технічним обслуговуванням і ремонтами). MES у цьому наборі відіграє інтеграційну функцію: вона об'єднує дані з LIMS, WMS, CMMS та технологічних систем у єдиній моделі виробництва, що дозволяє будувати комплексну картину стану підприємства. На четвертому рівні діють ERP-системи, PLM, CRM, HRM, PDES та інші корпоративні рішення, орієнтовані на стратегічне управління з урахуванням фінансових показників, ринку, клієнтів, портфеля продуктів і персоналу.

Важливою передумовою ефективної роботи MES є інформаційна сумісність усіх компонентів архітектури. Крім уже згаданих XML-схем BatchML і B2MML, ключову роль відіграють технології інтеграції прикладних систем[13,14], такі як OPC (OLE for Process Control) та EAI (Enterprise Application Integration). OPC забезпечує уніфікований інтерфейс доступу до даних систем промислової автоматизації, що дозволяє MES отримувати виміряні параметри та стани обладнання незалежно від конкретного виробника PLC чи SCADA. Технології EAI, у

свою чергу, підтримують обмін даними між MES та системами корпоративного рівня, використовуючи стандартизовані формати і протоколи.

У сучасних умовах розвитку IIoT (Industrial Internet of Things) концепція MES набуває додаткового виміру. IIoT розширює традиційні PAS-системи завдяки широкому застосуванню інтелектуальних датчиків, вбудованих обчислювальних модулів, бездротових мереж і хмарних сервісів. Це призводить до різкого зростання обсягів і різноманітності виробничих даних. MES, що відповідає вимогам ANSI/ISA-95, стає центральною платформою для структурованого використання цих даних: вона не лише відстежує виконання виробничих процесів, а й забезпечує інтеграцію потоків телеметрії, аналітики стану обладнання, показників енергоефективності, якості та логістичних параметрів у єдиній моделі. У результаті цифрова MES-архітектура перетворюється на основу для впровадження предиктивної аналітики, цифрових двійників і адаптивного планування, що особливо актуально для складних виробничих систем на кшталт гірничо-збагачувальних комбінатів.

Таким чином, теоретичні основи MES базуються на поєднанні кількох ключових елементів: стандартів ANSI/ISA-95 та ANSI/ISA-88, що задають концептуальні моделі й межі між рівнями управління; XML-схем BatchML та B2MML, які забезпечують формалізований обмін даними; багаторівневої моделі функціональної ієрархії підприємства, що визначає місце MES на рівні MOM; а також системного підходу до інтеграції різноманітних прикладних систем[16-17]. У сукупності це створює методологічне підґрунтя для проектування й впровадження MES як «операційного ядра» цифрового підприємства, здатного забезпечити прозорість, керованість і підвищення ефективності виробничих процесів, у тому числі в гірничорудній галузі[20].

1.2. Методологія управління гірничо-транспортними роботами в залізорудному кар'єрі

Розв'язання задач оптимізації функціонування кар'єра на стадії планування ґрунтується на розгляді його як складної динамічної системи, що обумовлено такими характеристиками, як[20]:

- використання великої кількості машин та механізмів зі складними конструктивними та функціональними зв'язками при безперервному або дискретному переміщенні їх у просторі;
- можливість декомпозиції системи на низку підсистем, функціонування яких може бути підпорядковано локальним цілям, узгодженим із загальною метою оптимального функціонування системи;
- взаємодія елементів системи із середовищем, параметри якого (фізичні властивості масиву або зруйнованої породи, якість корисних копалин) є випадковими величинами, вплив на роботу системи кліматичних умов;
- можливість функціонування системи з різним рівнем ефективності.

У зв'язку з цим при управлінні гірничо-транспортними роботами (ГТР) кар'єру необхідно розв'язувати комплекс задач, пов'язаних із плануванням, обліком та регулюванням інтенсивності гірничих робіт. Розв'язанням задач управління ГТР повинні бути відповіді на питання: коли, де, в якому об'ємі та яким чином (при якій побудові сукупності технологічних процесів) проводити видобуток руди та розкривні роботи.

В управління такою складною виробничою системою, якою є кар'єр, закладені принципи ієрархії прийняття рішень у поєднанні з декомпозицією її за технологічними системами. Традиційно на кар'єрі виділяються технологічні системи, які можна розглядати як локальні, що розрізняються призначенням гірничих робіт: видобувні, розкривні,

гірничо-підготовчі, та роботи з відвалоутворення. Між системами існують певні форми зв'язку, що залежать від геометрії просторового розвитку кар'єру, технології та організації гірничих робіт. Ступінь взаємної залежності розкривних, видобувних та гірничо-підготовчих робіт інтерпретується як залежна, напівзалежна та незалежна. „Розмикаючим елементом” функціонування технологічних систем є об'єм розкритих запасів, до яких забезпечений доступ транспорту. Очевидно, управління оперативним розвитком кар'єру повинно передбачати встановлення кількісних залежностей між основними показниками, що характеризують розвиток технологічних систем в просторі та часі.

Функціонування технологічної системи полягає у виконанні комплексу взаємопов'язаних дискретних процесів гірничих робіт, хід та послідовність яких, а також режим експлуатації обладнання задаються на основі певних технологічних правил ведення відкритих гірничих робіт[21]:

А. система представляється сукупністю паралельно діючих „технологічних ліній” – робочих уступів (екскаваторних блоків), через які проводиться відпрацювання запасів корисних копалин або розкривних порід;

В. послідовність та тривалість технологічних процесів визначається детермінованим розкладом;

С. для окремих робіт встановлені нормативні терміни їх виконання (тривалість планово-попереджувальних ремонтів, переукладання залізничних шляхів, перегін екскаватору тощо);

Д. початок окремих робіт (допоміжні процеси, вибухові роботи, планово-попереджувальні ремонти) може мати плаваючу дату на певному інтервалі планування;

Е. існування залежності виробництва гірничих робіт на суміжних уступах, що визначається властивостями окремих

технологічних процесів та особливостями розвитку робочої зони кар'єру;

Ф. розвиток системи у просторі на початок періоду планування $(0, T)$ обмежений контурами початкового та кінцевого положення $\{\varepsilon_0, \varepsilon_T\}$, в межах яких координати розвитку системи постійно змінюються.

На детерміновано заданий хід технологічних процесів впливають і випадкові збурення у вигляді відмовлень обладнання та зміни параметрів процесів. На практиці процес функціонування технічних елементів системи (екскаваторів, бурових верстатів, транспортних засобів тощо) представляє собою послідовність напівзалежних подій із випадковими координатами. Для даного випадкового процесу характерно, що незважаючи на знання його передісторії, визначити координату появи випадкової події неможливо, можна лише надати прогноз подій на інтервал функціонування системи.

Робота транспорту в кар'єрі також характеризується мінливістю параметрів циклу та операцій процесу перевезення гірничої маси, обумовленою впливом багатьох факторів. Перевезення гірничої маси є багатоопераційним процесом, та тривалість виконання кожної операції має розкид значень. Розподіл параметрів операцій процесу описуються нормальними та експотенційними законами. Для скорочення розкиду даних по операціям розробляються статистичні моделі, що відображають вплив конкретних умов на роботу транспорту.

Г. На основі виконаного аналізу та узагальнення геолого-економічних умов формування якісного складу руди, що видобувається, стану технології усереднення корисних копалин на кар'єрах, особливостей підготовки запасів до відробки на родовищах та функціонування технологічних систем кар'єра формулюємо основні положення, з урахуванням яких повинні розроблятися розрахункові основи системи оптимального оперативного планування для залізородних кар'єрів:

Н. Існування декількох цілей управління якістю руди, направлених на стабілізацію сукупності показників якості або відношення об'ємів видобутку руди різних технологічних груп (сортів), оптимізацію об'ємів видобутку руди з різними властивостями збагачуваності, а також максимізацію виходу руди більш високого класу якості;

I. Залежність цінності видобутку руди від показників збагачуваності;

J. Зміна якісного складу корисних копалин по фронті посування забою та утворення в цьому зв'язку збурюючих факторів у вигляді коливання показників якості в забойному потоці видобутих корисних копалин;

K. Багатоваріантність технологічних схем проведення видобувних робіт в режимі управління якістю, що відрізняються способами трансформації якісного складу видобутих корисних копалин;

L. Безперервність функції підготовки запасів на родовищах супроводжується пульсацією в об'ємах розкривних робіт, що виникають при відпрацюванні початкового етапу підготовки горизонту;

M. Функціонування технологічної системи представляється детермінованим розкладом виконання основних та допоміжних технологічних процесів по уступам робочої зони кар'єру.

Дискретна зміна складу діючих одиниць обладнання у зв'язку з планово-попереджувальними ремонтами, випадковими відмовленнями та організаційно-технологічним відключенням машин від основної роботи та утворення цими змінами збурюючих факторів у вигляді коливання потужності та кількості одиниць гірничого обладнання на розкривних та видобуткових роботах.

Для моделювання з метою оптимізації функціонування технологічних систем з такими властивостями потрібна розробка спеціалізованого класу математичних моделей з формалізацією різнохарактерних та різночастотних змін стану системи в просторі та

часі для знаходження оптимального рішення з стабілізації розвитку та виробництва гірничих робіт.

1.3. Сукупність планування та управління розвитком гірничих робіт

Об'єднання планування та управління гірничими роботами в єдину систему дозволяє врахувати нерівномірність та необхідність корегування протікання виробничих процесів у кар'єрі внаслідок непланових простоїв гірничого та транспортного обладнання (а також обладнання дробильного відділення збагачувальної фабрики), великої дисперсії часу окремих технологічних операцій, невизначеності геологічної та інших видів інформації тощо. Безперервність системи планування обумовлена безперервністю самого виробництва, переслідує мету органічно пов'язати перспективне, поточне та оперативне планування та виражається у встановленні спряжених та взаємопов'язаних виробничих завдань (планів гірничих робіт) на суміжні планові періоди: місячного із розбивкою на декади або тижні, декадного з розбивкою на доби тощо. При складанні плану на кожний період коректуються завдання на цей період, вказані у плані на більш тривалий період, з урахуванням виявлених нових завдань та виробничої обстановки, що склалась. Наприклад, при складанні декадного плану гірничих робіт коректується план даного тижня, прийнятий у місячному плані гірничих робіт тощо.

Оперативне планування гірничих робіт полягає у визначенні плану-наряду на зміну для кожної бригади, машини та механізму. При складанні змінного плану враховуються положення робіт у забоях, на відвалах, збагачувальній фабриці, ремонтні роботи у кар'єрі, очікуваний вихід на лінію транспортних засобів. Оперативний план розробляється під керівництвом головного інженера кар'єру начальниками ділянок, цехів та служб, дільничними геологами та маркшейдерами. Оперативна

нарада (як правило, щоденно селектором), що є функціональною ланкою оперативного планування, вирішує питання координації виробничої діяльності дільниць, цехів та служб із затвердженням конкретного графіку допоміжних робіт, заходів з ліквідації аварій, розподілу допоміжної техніки, а також контролює виконання окремими дільницями та службами попередніх планових завдань, заслуховуючи звіти начальників цих служб про виконану роботу.

При складанні оперативних планів гірничих робіт керуються наступними положеннями[21]:

- Планування виробничих процесів та роботи гірничого та транспортного обладнання повинно здійснюватися спільно із розрахунками об'ємів гірничих робіт, порядку та інтенсивності посування фронту робіт уступів. Визначені об'єми робіт окремих гірничих машин та комплексів повинні бути прив'язані до конкретних ділянок фронту робіт уступів;

- Рішення поточних задач вибору ділянок відробки та організації виробничих процесів повинні ув'язуватись з прийнятими рішеннями на більш високих рівнях планування. При тижневому плануванні, наприклад, це положення реалізується шляхом першочергової підготовки запасів підірваної гірничої маси у місячних планових контурах гірничих робіт, забезпеченням рівномірного виконання усіма екскаваторами наміченого плану.

- Плани гірничих робіт повинні забезпечити потрібну ступінь незалежності основних виробничих процесів шляхом підтримання заданих об'ємів підготовленої до буріння, вибуреної та підірваної гірничої маси (окремо для корисних копалин та розкривних порід).

- Планування повинно забезпечити потрібну якість видобутої корисної копалини (згідно прийнятої системи формування її рівня) з урахуванням усереднювальних складів, періоду усереднення та інших факторів.

– Оперативні плани роботи виймально-вантажного обладнання повинні бути прив'язані до окремих ділянок розвалу.

Реалізація наведених положень дозволяє створити систему безперервного планування гірничих робіт[21].

Оперативне управління, що здійснюється безперервно протягом зміни, полягає в організації та регулюванні виробничого процесу таким чином, щоб забезпечувалось оптимальне виконання змінного плану. Коректування оперативного плану, викликане зміною виробничої ситуації (вихід з ладу екскаватору, невідповідність якості руди у забої запланованому тощо) проводиться протягом зміни, тобто в інтервалі оперативного управління.

Оперативний контроль та облік – проміжна ланка, що акумулює потік інформації та перетворює його із сфери виробництва у сферу управління та назад та виробляє інформацію, необхідну для прийняття рішень у процесі планування та управління. Задачі оперативного обліку полягають у накопиченні та перетворенні оперативної інформації з метою отримання основних показників роботи виробничого обладнання та кар'єру в цілому.

Для розв'язання задач планування, управління та обліку на потужних кар'єрах необхідне створення автоматизованих систем управління, що включають комплекс методів та технічних засобів для забезпечення ефективного функціонування кар'єру. Організаційна структура АСУ залежить від виробничої та організаційної структур гірничого підприємства, ступеня оснащення його обладнання засобами автоматизації та інформаційними системами. Застосування АСУ передбачає розробку економіко-математичних моделей та відповідних алгоритмів (системи формальних правил, які чітко визначають процес реалізації мети). Економіко-математична модель представляє собою сукупність математичних виразів (рівнянь, нерівностей тощо), які адекватно відображають зв'язки параметрів реальної економіко-

виробничої системи, що розглядається. Модель містить математично описані за допомогою деяких параметрів умови роботи, обмеження на ресурси, вимоги до нормального функціонування усієї системи та її елементів, мету функціонування.

Розрізняють такі типи алгоритмів пошуку рішення за моделлю:

- детерміновані, якщо система правил однозначно визначає результат процесу при заданих вихідних даних;
- імовірнісні (статистичні), якщо правила неоднозначні та результати можна передбачити тільки статистично;
- евристичні, якщо формуються тільки змістовні вказівки про доцільність напрямку процесу.

Застосування математичних моделей та алгоритмів їхньої реалізації дозволяє у найкоротші терміни розглядати та оптимізувати багаточисельні варіанти як оперативних планів, так і організації та регулювання виробничого процесу. Однак вибір математичних моделей, найбільше пристосованих до конкретної ситуації, а також вибір оптимального варіанту серед тих, що розглядаються, залишається функцією людини.

Нижче розглядаються питання планування та управління безпосередньо виробничими процесами, що починається зі стадії місячного планування.

До основних натуральних критеріїв, що використовуються в гірничорудній промисловості, належать:

- об'єм видобутку сирової руди та випуску концентрату у плановий період часу, т;
- якість корисних копалин, концентрату, %;
- питомі витрати основних матеріалів та енергії у розрахунку на 1 м³ руди, що видобувається, концентрату;
- вихід винесеної гірничої маси на 1 м пробуреної свердловини;

- продуктивність гірничотранспортного обладнання;
- коефіцієнт використання гірничотранспортного обладнання по часу та продуктивності;
- вилучення корисного компоненту до товарного концентрату (агломерату), %;
- втрати корисного компоненту у хвостах, %;
- коефіцієнт технічної готовності (автосамоскидів, екскаваторів, бурових верстатів);
- коефіцієнт використання вантажопідйомності;
- вантажообіг, т·км;
- якість усереднення (у випадку різної якості руди у різних забоях за умови виконання плану);
- рівномірність посування фронту робіт тощо.

Одним з найбільш важливих питань при плануванні та управлінні гірничим виробництвом є чітке формулювання мети, формалізація цільової функції та коректна постановка самої задачі, в результаті розв'язання якої визначається оптимальний варіант управління.

Так, наприклад, при оптимізації місячних планів виробництва гірничих робіт необхідно варіювати поточними об'ємами розкривних та видобувних робіт, що досягається шляхом: випередження розкривних робіт у літній час; зміни конфігурації фронту та швидкості заглиблення гірничих робіт; концентрації гірничих робіт на окремих горизонтах. Усі вищенаведені технологічні особливості впливають на сумарні витрати виконання річного плану гірничих робіт. Тому основною метою складання місячних та річного плану повинно бути досягнення мінімуму сумарних витрат при обов'язковому виконанні плану за об'ємом та якістю.

Виходячи з глобальної мети планування та управління виробництвом кар'єру та ГЗК, сформулюємо локальні цільові установки

для планування та управління гірничотранспортними роботами кар'єру ГЗКа:

- досягнення максимально можливої продуктивності гірничотранспортного обладнання (при оперативному плануванні та управлінні за рахунок їхнього найбільш повного використання у часі);
- дотримання заданих показників з якості та кількості корисних копалин, що надходять на перевантажувальні пункти збагачувальної фабрики за одиницю часу.

При оперативному плануванні та управлінні протягом зміни мета управління на рівні зв'язків у підсистемах «навантажувальний – транспортний комплекс» полягає у тому, щоб визначити на будь-який відрізок часу кількість транспортних одиниць, що обслуговують один або декілька вантажних агрегатів (екскаваторів), при якому їх сумарні простої в очікуванні навантаження та простої екскаваторів були б мінімальними.

У випадку, якщо плани за об'ємами виробництва (екскавація, транспортування тощо) задані «жорстко» та яка-небудь підсистема або окремі її елементи є обмежувачами в загальному ланцюзі «збій-збагачувальна фабрика», то метою поточного планування та управління є оптимізація виробництва у даному «вузькому» місці (мінімізація простоїв вантажного, транспортного, перевантажувального обладнання) за рахунок деякого погіршення показників в інших підсистемах (наприклад, збільшення коливань за якістю сирової руди, що надходить на збагачувальну фабрику).

Далі проаналізуємо системи, що є в експлуатації на ГЗК Метінвест Холдингу та системи яка планують до впровадження як цільові.

АСУ ГТК КАР'ЄР

Автоматизована система управління гірничотранспортним комплексом (АСУ ГТК) типу «Кар'єр» [18] у контурі гірничозбагачувального комбінату доцільно розглядати як складову частину MES-рівня, що реалізує функції оперативного управління, диспетчеризації та моніторингу роботи кар'єрного транспорту. У термінах моделі ANSI/ISA-95 така система належить до рівня MOM (Manufacturing Operations Management) і забезпечує зв'язок між безпосередньо технологічним рівнем (сенсори, виконавчі механізми, системи автоматизації обладнання) та верхньорівневими системами планування (ERP, APS). АСУ ГТК фокусується на транспортних процесах відкритих гірничих робіт, але в цифровому контурі MES її дані стають частиною єдиної моделі виробництва: інформація про маршрути, прості, завантаження, швидкість руху, фактичні обсяги перевезень інтегрується з даними про якість руди, роботу дробильних і збагачувальних агрегатів, стан обладнання та виконання виробничих завдань.

З позиції MES-гірничого підприємства АСУ ГТК виконує роль спеціалізованого «операційного модуля», який відповідає за керування ресурсами, диспетчеризацію, збір і консолідацію телеметрії для всіх мобільних транспортних засобів кар'єру(рис.1.2). Вона забезпечує безперервне отримання достовірних даних про місцезнаходження, технічний стан і продуктивність великовантажних автосамоскидів, інтегрує ці дані з актуальною цифровою моделлю гірничих робіт, а також надає можливість їх подальшої аналітичної обробки. У інтегрованій архітектурі MES ці функції безпосередньо «підживлюють» модулі оперативного планування, управління ресурсами, контролю продуктивності та формування KPI. Таким чином, АСУ ГТК не замінює MES, а є її критично важливим доменним підмодулем, орієнтованим на гірничотранспортний контур.

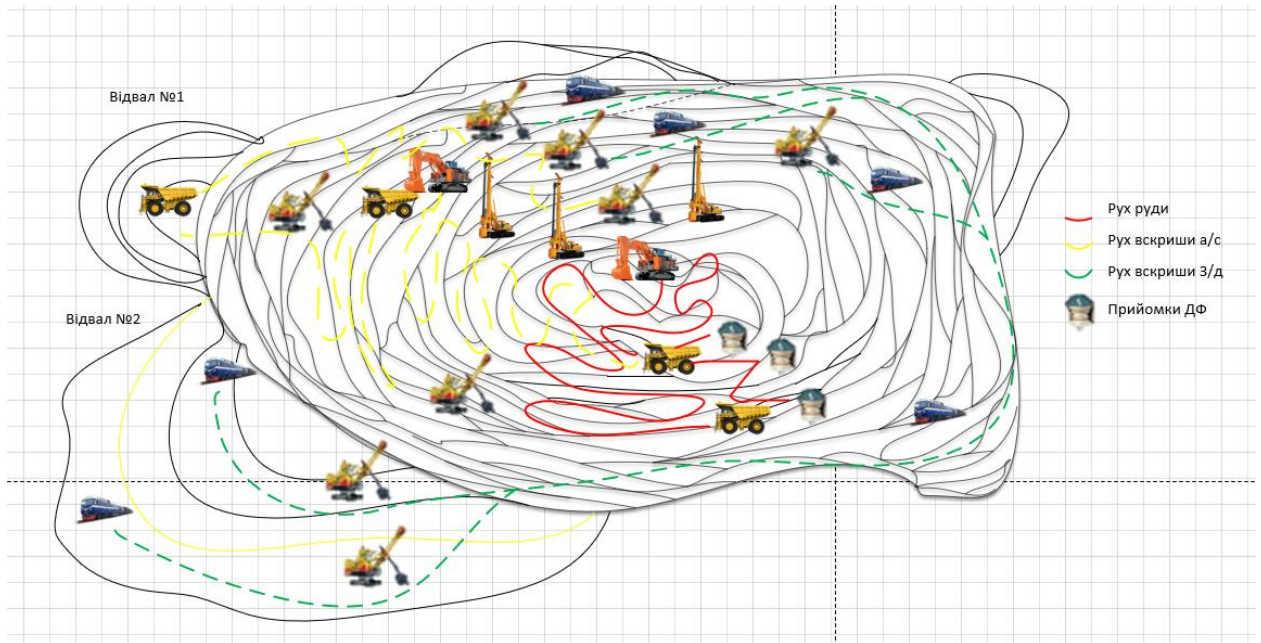


Рисунок 1.2 Умовний вид маршрутів транспорту ПЗ Кар'єр

Джерело : інформація вендора

З погляду розвитку цифрових платформ ІоТ АСУ ГТК «Кар'єр» може розглядатися як реалізація концепції «розширеної телеметрії» для мобільної техніки, що створює основу для подальшого впровадження цифрового двійника кар'єрного транспорту та застосування алгоритмів оптимізації маршрутів, навантаження й швидкісних режимів. При інтеграції з MES дані АСУ ГТК стають частиною єдиного інформаційного простору, де транспортні потоки розглядаються не ізольовано, а в контексті всього рудопотоку – від вибою до дробильної фабрики. Це дає змогу пов'язувати оперативні рішення (перенаправлення рейсів, зміна черговості навантаження, перерозподіл парку самоскидів) із плановими показниками виробництва, якістю сировини та статусом технологічних ланок, забезпечуючи підвищення загальної операційної ефективності ГЗК.

Система диспетчеризації «Кар'єр» за своєю сутністю є інформаційною системою управління гірничотранспортним комплексом на основі технологій супутникової навігації, цифрового радіозв'язку та

роботизованих засобів керування технологічними процесами відкритих гірничих робіт. Вона створена для автоматизації процесів виїмки, перевезення гірничої маси й буропідливних робіт, а також для поступового переходу до режимів, у яких гірничі роботи можуть виконуватися з мінімальною або повністю відсутньою безпосередньою участю людини в зоні небезпечних операцій. Це істотно підвищує ефективність відкритих гірничих робіт, розширює можливості безпечного видобутку у важкодоступних і складних за кліматичними умовами регіонах, знижує ризики травматизму й дозволяє пом'якшувати проблему дефіциту кваліфікованого персоналу.

Основна функціональна ідея системи «Кар'єр» полягає у створенні прозорого середовища для оперативного управління роботою великовантажних самоскидів. Система забезпечує безперервне постачання диспетчерського та управлінського персоналу повною інформацією про поточний стан і технічний стан машин, що оснащені бортовими комплектами обладнання та працюють у кар'єрі. Фіксується кількість виконаних рейсів, обсяги перевезеної гірничої маси, витрата палива, час простоїв, порушення технологічних режимів, відхилення від заданих маршрутів та інші характеристичні показники роботи транспорту. Це не лише підвищує достовірність обліку, але й створює передумови для аналітичного оцінювання ефективності використання парку техніки, виявлення «вузьких місць» і оптимізації організації робіт у кар'єрі.

З технічного погляду система «Кар'єр» є розподіленою інформаційною системою, яка поєднує джерела і споживачів даних через різноманітні канали передачі інформації. Джерелами виступають бортові датчики розташування, швидкості, навантаження, технічного стану автосамоскидів та їх основних вузлів і агрегатів, а також актуальна цифрова модель гірничих робіт, що включає геометрію уступів, контури блоків, мережу технологічних доріг, розміщення перевантажувальних

пунктів та інших елементів інфраструктури. Цифрова модель використовується як фон для візуалізації місцеположення й траєкторій машин на екранах диспетчерів та як основа для розв'язання розрахункових задач, пов'язаних з геометрією й топологією доріг, уклонів, радіусів поворотів тощо.

Споживачами інформації в системі є насамперед диспетчерський центр кар'єру, що здійснює аналіз поточного стану, розташування та завантаження обладнання, а також інженерні та сервісні служби підприємства, які обробляють статистичні дані про фактичні режими роботи, порушення технологічних регламентів, структуру простоїв і причин їх виникнення. Диспетчерський центр, оснащений засобами радіозв'язку, комп'ютерною технікою та спеціалізованим програмним забезпеченням, автоматично приймає телеметричну інформацію з мобільних об'єктів, обробляє її та забезпечує оперативну графічну візуалізацію на терміналах користувачів. Паралельно дані накопичуються в базі для подальшого використання в задачах обліку, аналізу, планування та звітності. В межах інтегрованої архітектури MES ці дані можуть передаватися до центрального сховища підприємства й використовуватися при оцінюванні ефективності всього виробничого ланцюжка.

Обмін даними між диспетчерським центром та мобільними об'єктами організований за допомогою бездротових каналів – радіомодемів бортових контролерів, підключених до автомобільних радіостанцій. Телеметрична інформація формуються на борту самоскида, де спеціалізований контролер узгоджує сигнали від датчиків, перетворює їх у цифрові пакети й передає у диспетчерський центр. У разі аварійного збою зв'язку або виходу об'єкта з зони радіовидимості передбачено буферування телеметрії у пам'яті контролера з подальшим її вивантаженням через стандартний інтерфейс на локальний комп'ютер і завантаженням у базу даних. Таким чином

забезпечується повнота інформаційного потоку, навіть за умов тимчасових розривів у каналах зв'язку, що критично важливо як для задач оперативного управління, так і для аналітики в MES-контурі.

У диспетчерському центрі інформація про місцезнаходження та стан самоскидів опрацьовується, архівується і відображається різними засобами. На екрані диспетчера техніка відображається умовними позначками, накладеними на актуальний план гірничих робіт. Паралельно формуються зведені таблиці з основними виробничими й експлуатаційними показниками – від кількості рейсів і обсягу перевезеної маси до часу простоїв, середньої швидкості, ступеня завантаження тощо. На основі накопичених даних формуються автоматизовані звіти про роботу підприємства, окремих ділянок, машин та персоналу. Ці звіти можуть бути інтегровані в загальний контур звітності MES, де вони доповнюються показниками роботи дробильно-збагачувальних потужностей, якості продукції, енерговитрат та інших параметрів.

Ключовим елементом просторової прив'язки системи «Кар'єр» є використання глобальної навігаційної супутникової системи (GPS) у диференційному режимі. Для підвищення точності визначення координат самоскидів у кар'єрі використовується опорна диференціальна станція, встановлена в точці з відомими координатами та обладнана багатоканальним навігаційним приймачем і антеною з хорошою зоною видимості супутників. Обробка сигналів на цій станції дає змогу формувати кореляційні поправки, які передаються в систему і використовуються для корекції результатів вимірювань бортових навігаційних приймачів. У результаті забезпечується точність визначення місця розташування самоскидів на рівні 2–5 метрів, що є достатнім для вирішення задач оперативної диспетчеризації, контролю дотримання маршрутів та аналізу використання транспортної мережі кар'єру.

На структурному рівні АСУ ГТК «Кар'єр» складається з трьох основних підсистем: бортових комплектів обладнання, комунікаційної підсистеми та прикладної підсистеми (сервер, програмне забезпечення, база даних і робочі місця користувачів). Бортовий комплект забезпечує визначення положення, швидкості, курсу руху самоскида, обліку пройденого шляху та окремих параметрів технічного стану й завантаження. Зокрема, система контролю завантаження використовує методику інтегрального обчислення маси вантажу за тиском у газомаслонаповнених амортизаторах підвіски, що вимірюється високоточними електронними датчиками. Це дозволяє уникати систематичних недовантажень і перевантажень, підвищувати середньоексплуатаційну продуктивність самоскидів, зменшувати знос агрегатів і, як наслідок, знижувати собівартість транспортних операцій.

Комунікаційна підсистема забезпечує прийом, обробку, накопичення та передачу даних між бортовими комплексами та прикладною підсистемою. До її складу входить апаратура радіозв'язку, комунікаційні контролери, приймачі диференційних поправок, GPS-антени, пристрої синхронізації та головні контролери. Прикладна підсистема виконує функції збору, зберігання й архівації даних у центральній базі, візуалізації поточного стану машин, розпізнавання подій (аварійні зупинки, порушення маршрутів, перевантаження тощо) з їх фіксацією та оповіщенням диспетчера, формування звітів і передавання даних до корпоративних баз. Організаційно ця підсистема реалізована у вигляді диспетчерського центру з виділенням різних ролей користувачів: адміністратори мають повний доступ до конфігурації, диспетчери – до функцій оперативного управління і звітності, маркшейдери – до роботи з картами та просторовими даними, інші користувачі – до перегляду й друку звітів.

Суттєвим елементом розвитку АСУ ГТК є еволюція засобів бездротової передачі даних. На початкових етапах застосовувалися

системи УКХ радіозв'язку та транкінгові системи, можливостей яких було достатньо для моніторингу обмеженої кількості мобільних об'єктів із невисокими вимогами до пропускної спроможності. Проте зростання вимог до операційної ефективності, безпеки та функціоналу (динамічна оптимізація транспортних потоків, передача діагностичної інформації, відеоспостереження, підтримка автономної техніки та високоточного позиціювання) зумовило перехід до широкосмугових технологій WiFi, WiMAX, GSM та спеціалізованих протоколів передачі даних із використанням MESH-топологій. MESH-мережі забезпечують підвищену надійність і стійкість радіозв'язку в умовах змінної геометрії кар'єру: при виході з ладу окремих вузлів мережі інші продовжують роботу, автоматично перебудовуючи маршрути доставки пакетів.

Застосування MESH-технологій, а також IP-орієнтованих протоколів передачі даних дозволяє в межах однієї мережі підтримувати різні типи трафіку – телеметрію, службові дані, відеопотоки й, потенційно, голосовий зв'язок. При побудові таких мереж для АСУ ГТК зазвичай використовується обладнання провідних світових виробників, але стандартні рішення доповнюються спеціалізованим програмним забезпеченням, адаптованим до особливостей відкритих гірничих робіт: постійної зміни конфігурації кар'єру, переміщення робочих фронтів, великої кількості мобільних клієнтів. Це дає змогу забезпечити необхідні параметри якості зв'язку – пропускну здатність, затримки, стійкість до збоїв – для реалізації всього спектра функцій сучасної АСУ ГТК.

У підсумку, АСУ ГТК «Кар'єр» виступає ключовим елементом цифрової архітектури управління гірничо-транспортними процесами ГЗК. У поєднанні з MES вона забезпечує не лише прозорий облік та моніторинг роботи кар'єрного транспорту, а й створює основу для впровадження комплексних рішень з оптимізації рудопотоків, зниження простоїв, підвищення продуктивності та безпеки. У межах інтегрованої цифрової платформи дані АСУ ГТК поєднуються з інформацією про

якість руди, стан основного технологічного обладнання, енерговитрати й виконання виробничих планів, що дозволяє переходити від локального управління транспортом до системного управління всім ланцюжком створення вартості на ГЗК.

АСУ ГТК WENCO

Автоматизовані системи управління Wenco (Канада) відрізняються повно функціональністю, включаючи в себе автоматичний збір інформації та автоматичне оптимальне управління гірничотранспортним комплексом в різних режимах його роботи (відкритий цикл, закритий цикл, комбінований цикл по групах), управління міжзабійним усередненням і накопичувальними складами, моніторинг технічного обслуговування обладнання та ін.

Впровадження АСУ Wenco на кар'єрі підвищує продуктивність обладнання за рахунок:

- безперервної диспетчеризації і оптимального розподілу (перерозподілу) автосамоскидів по пунктах навантаження і тим самим скорочення простоїв в очікуванні навантажень;
- підвищення технічної готовності технологічного транспорту та екскаваторів шляхом комплексного моніторингу експлуатації обладнання, що включає моніторинг роботи і простоїв, моніторинг експлуатації двигунів, контролю за часом виконаного технічного обслуговування і формування накопичувальної інформації для аналізу графіків ремонтів і їх якості;
- підвищення рівня організації праці бригад екскаваторів і транспорту на основі повної і достовірної інформації про час в роботі і простоях, часу циклів технологічних операцій, що дозволить проводити всебічний аналіз, навчання, зіставлення між окремими бригадами і т.д.;
- скорочення часу в період перезміни;
- підвищення виходу готової продукції за рахунок управління якістю рудопотоків (включаючи усереднення за кількома показниками) і

моніторингу відвантаження руди споживачам відповідно до вимог до сировини;

- скорочення втрат і розубоження за рахунок застосування високоточного позиціювання екскаваторних робіт і, як наслідок, збільшення випуску готової продукції;
- скорочення витрат на буріння за рахунок використання високоточної навігації бурових верстатів, контролю за перебурами та недобурами,
- виключення необхідності маркшейдерських робіт з виносу проєкту обладнання блоків на уступах і зйомок по блокам, що були розбурені;
- моніторингу та контролю витрати палива з виявленням несанкціонованих зливів;
- контролю недовантаження і перевантаження автосамоскидів;
- моніторингу режиму експлуатації шин;
- контролю швидкості руху транспорту з метою недопущення перевищення встановлених значень по окремих ділянках.

Крім того, ряд додатків спрямований на забезпечення безпеки гірничих робіт.

Структурно виділяються наступні функціональні підсистеми (комплекси задач) автоматизованої системи управління гірничотранспортним комплексом (АСУ ГТК) Wenco:

1. Комплекс завдань «Контроль і управління гірничим і транспортним устаткуванням в режимі реального часу» з функціями:

- автоматичний збір інформації з об'єктів в режимі реального часу;
- централізований оперативний контроль місця розташування, роботи і дистанційне керування основним технологічним транспортом;

- ведення Карти копальні в реальному часі (Монітор диспетчера MineVision) з відображенням в динаміці зміни місця розташування, статусів і показників роботи(рис.1.3);

- візуалізація процесів «навантаження – транспортування – розвантаження» в режимі реального часу для всього парку обладнання з відображенням закріплення автосамоскидів (Монітор диспетчера FleetControl);

- автоматична диспетчеризація з різними режимами закріплення автосамоскидів за навантажувальною технікою;

- контроль дотримання маршрутів руху і пунктів розвантаження;

- менеджер за винятковими (позаштатними) ситуаціями.

2. Комплекс завдань «Високоточне позиціонування гірничого обладнання» з функціями:

- високоточний моніторинг місця розташування ківшів екскаватора і навантажувача в контурах виїмкових блоків;

- високоточне визначення кожного ківшу виїмки і високоточна ідентифікація якості матеріалу, що навантажується згідно сортовим планам і експлуатаційної блокової моделі, що довантажується у систему;

- високоточний моніторинг селективної виїмки і чистоти виїмки в приконттактних зонах;

- високоточний контроль дотримання проєктних відміток підшви уступів при просуванні забою;

- високоточний контроль дотримання проєктних відміток прохідних з'їздів і доріг (при оснащенні для бульдозерів або грейдерів).

3. Комплекс завдань «Моніторинг і контроль руху руди і розкриву» з функціями:

- контроль за дотриманням місць розвантаження по окремим складам і приймальних бункерів фабрики;
- моніторинг та автоматичний облік обсягів і вмістів в штабелях складів;
- моніторинг та автоматичний облік обсягів і вмістів по сортам, поданих на збагачення;
- моніторинг та облік руху гірничої маси, руди і розкриву по окремим геологічним і вибуховим блокам;
- контроль завантаження автосамоскидів;
- контроль швидкості руху автосамоскидів;
- контроль місця розташування автосамоскидів;
- контроль дотримання маршрутів руху;
- контроль основних параметрів роботи двигунів автосамоскидів Hitachi;
- моніторинг навантажень на шини в режимі реального часу;
- звітність по експлуатації шин.

5. Комплекс задач «Управління заправками, моніторинг та облік витрати палива» з функціями:

- автоматичне управління заправками;
- облік заправок палива автосамоскидами;
- облік витрат палива автосамоскидами;
- контроль можливого розкрадання палива.

6. Комплекс завдань «Моніторинг технічного стану та обслуговування гірничого і транспортного устаткування» з функціями:

- інтерфейси між контролерами штатних систем і бортовими комплектами АСУ ГТК;
- збір та зберігання даних за параметрами роботи одиниць обладнання в цілому і їх найважливіших агрегатів (перелік уточниться в технічному проєкті);
- моніторинг технічного обслуговування обладнання.

7. Комплекс завдань «База даних і система звітності» з функціями:

- ведення єдиної бази даних по ГТК;
- ведення єдиної бази планової та довідкової інформації;
- система оперативної і накопичувальної звітності;
- формування виробничо-технічних звітів, аналітичних показників.

8. Комплекс завдань «Забезпечення безпеки руху»

- навігація маршрутів в процесі руху на борт обладнання;
- контроль швидкості руху автосамоскидів;
- оповіщення про появу і зближенні інших мобільних об'єктів по маршруту руху.

Проаналізувавши перераховані вище комплекси завдань можна зробити висновок, що основними функціями базової АСУ Wenco на кар'єрі є:

- автоматизація збору інформації про місцезнаходження і статус гірничого і транспортного устаткування в режимі реального часу;
- оптимальна автоматична диспетчеризація гірничотранспортним комплексом;
- формування рудопотоків і безперервне управління якістю (за кількома показниками) з урахуванням функціонування складів усереднення (перевантажувальних майданчиків);
 - моніторинг відвантаження руди на фабрику;
 - управління повнотою завантаження транспортних засобів;
 - моніторинг витрат палива автосамоскидами;
 - розгорнута система звітності по руху руди і розкриву, роботі обладнання та кар'єра в цілому та ін.

Ці функції головним чином зумовлюють ефективність створення АСДУ. Системи високоточного позиціонування екскаваторної виїмки, запропоновані Wenco, іменовані «BenchManager», призначені для екскаваторів з прямою лопатою, екскаваторів зі зворотною лопатою,

навантажувачів і бульдозерів. Системи BenchManager пропонуються для високоточного виконання виймально-навантажувальних робіт відповідно до розміщення окремих оконтурених або виділених блоків (осередків блоків) різних типо-сортів гірничої маси в межах ділянки відпрацювання. З високою точністю визначається, яка якість руди в передній частині забою, що дозволить відповідно ідентифікувати кожен ківш, здійснювати завантаження в транспортну посудину потрібною якістю руди на даний момент і здійснювати найбільш ефективно усереднення руди. Забезпечується чистота відпрацювання по контурах на контактах різних блоків виїмки. Ведеться контроль, і представляються рекомендації оператору виймально-навантажувального обладнання для дотримання проектних відміток підшов уступів і проектних відміток прохідних з'їздів.

Програмне забезпечення офісу BenchView. Офісне програмне забезпечення формує і керує передачею по бездротовій мережі файлів планів виїмки до обладнання в кар'єрі і отримує в реальному часі дані від устаткування в офісі. Ці зібрані дані зберігаються в базі даних WencoDB. BenchView відображає позиції всіх високоточних одиниць обладнання, а також рівень підшви уступів і інформацію про стан забоїв. Використана звична платформа Windows дозволяє користувачам без утруднення формувати нові схеми робіт, імпортувати рудні блоки, карти і розташування «небезпечних» зон робіт, перш ніж вони будуть спрямовані на борт виймально-навантажувальних машин.

Бортовий комплекс BenchManager. Бортове програмне забезпечення включає всі функції моніторингу та управління, включені в АСУ ГТК. Крім того, BenchManager надає оператору екскаватора в режимі реального часу карту забою (рис.1.3), положення екскаватора в виїмковому блоці і межі різних типо-сортів породи, координати формованої підшви уступу (X, Y і Z) і порівняння з проектними, рекомендації скільки треба «зрізати» і «додати», щоб витримувалися

проектні відмітки. BenchManager автоматично збирає сформовані маркшейдерські дані, відображає їх на екрані оператора обладнання і посилає поточні дані в хост-систему.

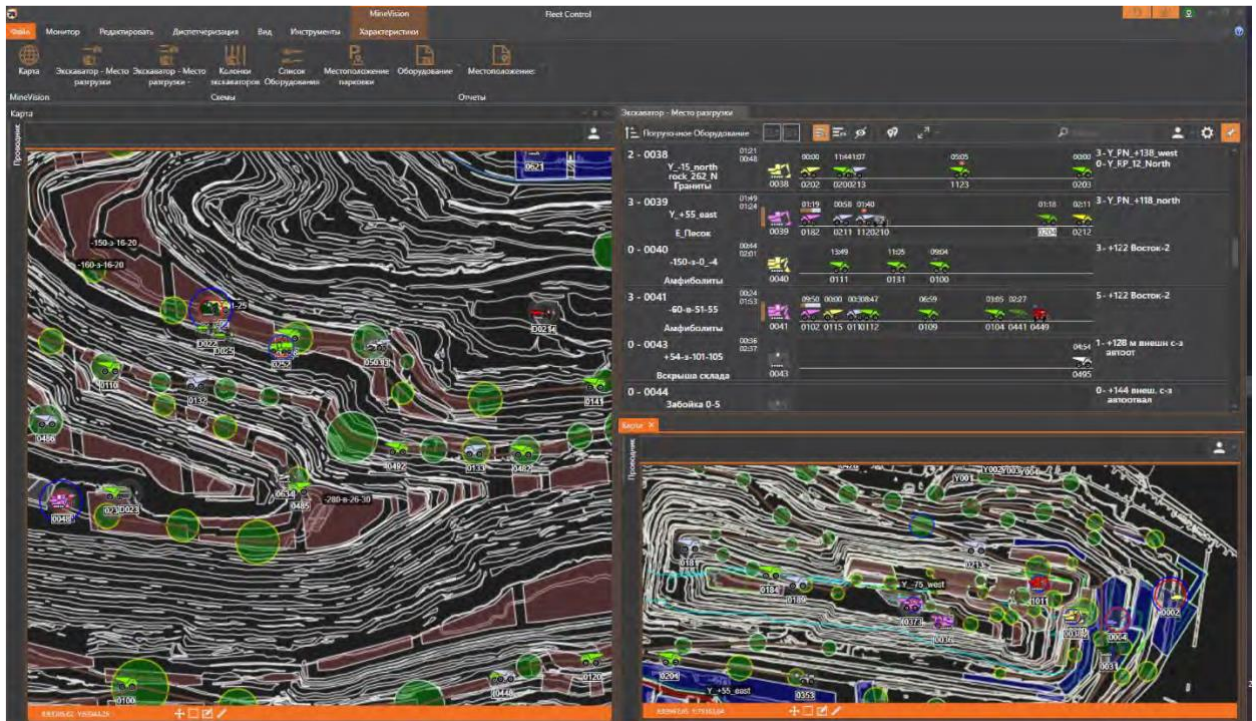


Рисунок 1.3 Скріншот панелі візуалізації ПЗ Wenco
Джерело : інформація вендора

Ефективність застосування систем високоточного позиціонування екскаваторів дозволяє:

- скоротити «горизонтальне» розубожіння завдяки графічному відображенню в реальному часі положень ківшу при відпрацюванні контактів блока;
- можливість позиціонування ківшу щодо типу матеріалу (сорту руди) в процесі відпрацювання блоку виїмки;
- скоротити «вертикальне» розубожіння завдяки графічному відображенню в реальному часі висотних відміток підшви уступу;
- автоматично визначати вантажне устаткування, яке найбільш точно відповідає тому чи іншому забою (блоку виїмки);

- Визначати якість руди, занурюваної в кожен думпкар/автосамоскид, в конкретній позиції виїмки;
- Зменшити знос обладнання на користь поліпшення умов підшов уступів;
- Рівні підшови уступів дозволяють скоротити витрати на буріння і вибухові роботи;
- Скоротити обсяг маркшейдерських робіт в силу відсутності необхідності у виставленні реперів, оконтурюючих різні сорти руд або порід, а також відпадає необхідність попередньої розмітки положень гирл свердловин і проведення зйомок після буріння блоку;
- Інтегрувати з автоматизованою системою Wenco з управління гірничим і транспортним устаткуванням;
- Підвищити продуктивність роботи операторів навантажувального обладнання;
- Забезпечити керівників виробництва інформацією в реальному часі про просування робіт у забоях з метою оперативного планування.

Бортове комп'ютерне обладнання АСУ ГТК Wenco. Технічне забезпечення АСУ ГТК Wenco включає:

1. Бортові комп'ютери з моніторами, що встановлюються на мобільному обладнанні. Цей комплект з програмним забезпеченням названий Mobile Data Terminal (MDT) - Мобільний Термінал Даних (МТД).

Застосовуються наступні моделі:

- Бортові комп'ютери Wenco–Octagon RMB-C2-B - для автосамоскидів і екскаваторів зі стандартною точністю позиціонування;
- Бортові комп'ютери Wenco–Octagon Mobil D2 для автосамоскидів і допоміжного обладнання зі стандартною точністю позиціонування.
- Бортові комплекти на базі Wenco–Octagon RMB-C2-B з високоточним позиціонуванням;

– Бортові комплекти на базі Wenco–Octagon Трах 5 зі стандартною точністю позиціонування для всіх видів гірничої техніки.

2. Устаткування інфраструктури зв'язку для забезпечення передачі даних з мобільного устаткування і всіх контрольованих об'єктів, що входять в сферу охоплення АСУ ГТК.

3. Комп'ютерне обладнання, куди входять сервери і робочі станції користувачів (звичайні персональні комп'ютери).

4. Бортові комплекти для високоточної навігації бурових верстатів з комплектом датчиків для моніторингу параметрів процесу буріння.

Програмне забезпечення АСУ Wenco

Програмне забезпечення розосереджене на серверах, що виконують збір інформації та управління в режимі реального часу, ведення бази даних і обробку запитів, а також рішення прикладних програм. Сервери входять в локальну обчислювальну мережу. Wenco створює Primary Server (Основний сервер реального часу) і Backup Server (Резервний сервер реального часу), який знаходиться завжди в резерві.

1.4. Системи TPMS/TPCS як складова частина MES/MOM систем

Системи TPMS/TPCS у сучасному гірничо-металургійному виробництві вже не є окремими допоміжними засобами контролю, а функціонують як повноцінний сенсорний шар у складі MES/MOM-інфраструктури. Вони забезпечують високочастотний збір даних про тиск, температуру, різницю параметрів у парах шин, стан протектора та поведінку техніки на маршруті, що дає змогу формувати детальну і безперервну картину умов експлуатації автотранспорту. На відміну від традиційних систем контролю, що лише сигналізують водію про перевищення норм, інтелектуальні рішення на кшталт DtirePro включають автоматичну обробку та зберігання даних, дистанційне

адміністрування, формування журналів подій, оцінку ризиків виходу шин з ладу та рекомендації щодо оптимізації режимів роботи автосамоскидів. Таким чином система перетворюється з телематичного датчика на комплексний елемент цифрової платформи управління виробництвом.

У цьому контексті автоматизований контроль стану шин є критично важливим, оскільки поточне значення тиску повітря в шинах є одним із найчутливіших і водночас найбільш керованих експлуатаційних параметрів транспортно-технологічних засобів. Системи контролю тиску повітря в шинах (TPMS) та більш функціональні TPCS виступають невеликою, але невід'ємною складовою глобальної модернізації гірничого транспорту й переходу до автономних та напівавтономних логістичних систем. За даними Komatsu Frontrunner, підтримання оптимального тиску суттєво впливає на техніко-експлуатаційні характеристики: впровадження безлюдних перевезень у їхньому виконанні дозволяє збільшити термін служби шин приблизно на 40% порівняно з ручними операціями. Компанія Vale S.A. також повідомляє про очікуване зниження зносу шин на 25% унаслідок впровадження автоматизованих систем контролю та корекції тиску. Такі результати підтверджують, що TPMS/TPCS не лише фіксують параметри, а стають активним інструментом підвищення ресурсу шин, економії палива та стабільності транспортних процесів.

У промислових умовах ці системи розв'язують низку критичних проблем: мінімізують вплив людського фактора, підвищують безпеку та передбачуваність роботи автопарку, а також запобігають передчасному зношуванню шин — одному з найбільш витратних елементів експлуатації техніки. До 25% потенційного ресурсу шини може бути втрачено через неідентифіковані відхилення режимів, що підтверджено як у пілотних впровадженнях DtirePro, так і в міжнародних тестах ROADEX та Michelin. За рахунок аналітики, оперативних сповіщень і

рекомендацій такі системи дозволяють суттєво зменшити кількість порушень і стабілізувати темпи зношування, що безпосередньо впливає на ефективність використання бюджету на шини(рис.1.4) та ремонт техніки.



Рисунок.1.4. Монтаж зовнішнього IoT сенсору у системах TPMS

Джерело : фото автора

На рівні MES/MOM TPMS/TPCS підтримують оперативне планування, диспетчеризацію та управління якістю, забезпечуючи дані про готовність техніки, ймовірність аварійної зупинки, залишковий ресурс шин та ефекти від експлуатаційних відхилень. Інтеграція з комп'ютерним зором дозволяє пов'язувати зміну параметрів шин із дефектами дорожнього полотна, формуючи замкнений цикл управління станом технологічних трас та логістичних маршрутів. У результаті TPMS/TPCS стають ядром предиктивного підходу до управління транспортом у кар'єрах: вони підвищують пробіг шин на 10–20%, зменшують аварійність, оптимізують логістичні операції та формують прозоре, даними кероване середовище для прийняття рішень. У перспективі переходу до автономних кар'єрних перевезень і цифрових

двійників виробництва саме ці системи забезпечують необхідний рівень точності й стабільності виробничої інформації.

1.5. Показники і метрики оцінювання ефективності впровадження MES/MOM систем для цілей операційної ефективності бізнес процесів

У вдосконаленні бізнес процесу ТОiP транспорту кар'єрів ГЗК ключове місце посідають дані про фактичну роботу техніки, стан маршрутів і взаємодію окремих елементів виробничої системи. IIoT-платформа, інтегрована з MES, забезпечує безперервне надходження даних із сенсорів транспортних засобів, екскаваторів, дробильних вузлів, дорожньої інфраструктури та засобів моніторингу стану шин. Такий потік структурованих даних дозволяє формувати аналітичну базу для оцінки роботи всіх сегментів циклу: навантаження, перевезення, розвантаження й повернення, а також зношування обладнання та втрат робочого часу. У контексті ЦГЗК це дає змогу відійти від фрагментарного контролю окремих параметрів до системного підходу, де ефективність видобутку оцінюється через комплекс взаємопов'язаних метрик.

Однією з базових груп показників є техніко-експлуатаційні параметри кар'єрного автотранспорту. До них належать: середня швидкість на завантаженні та розвантаженні, час очікування під екскаватором, коефіцієнт використання вантажопідйомності, середній час циклу та його варіативність, а також інтегральний показник — Transport OEE (Overall Equipment Effectiveness) для транспорту). Інформація з IIoT-сенсорів і модулів на кшталт DtirePro (тиск шин, температура, GPS-траєкторія, стрес-індекс) дозволяє деталізувати причини відхилень: від перевантаження й пробуксовок до нерівностей дороги, що збільшують час циклу. На рівні MES це дає змогу будувати теплові карти ефективності маршрутів, аналізувати відхилення в динаміці й об'єктивно оцінювати продуктивність окремих груп техніки.

Для ЦГЗК це є критично важливим, оскільки саме транспорт часто визначає «вузьке місце» у ланцюгу добутку.

Друга група показників — метрики експлуатаційної надійності та стану активів, які напряду впливають на стабільність виробничого процесу. Інтегрована IoT-платформа може відстежувати: частоту аварійних зупинок, час між відмовами (MTBF), середній час ремонту (MTTR), прогнозований залишковий ресурс шин і ходових вузлів, а також відсоток проїзду з порушеннями режимів експлуатації. У межах ЦГЗК особливу роль відіграють показники зношування шин, оскільки вони формують значну частину OPEX кар'єрного транспорту. Дані

Управління холдингом	Модуль	Актив
Централізований збір і накопичення виробничих даних	Моніторинг показників шин	Відображення поточних параметрів у зручному для сприйняття вигляді
Агрегація та консолідація показників за об'єктами		Формування повідомлень про відхилення параметрів
Аналіз великих масивів даних		Реалізація коригуючих і запобіжних дій
Дистанційний контроль стану технологічних доріг	Контроль якості доріг	Автоматичне формування повідомлень про відхилення
Накопичення статистики порушень		Фіксація параметрів і характеристик відхилень
Забезпечення інформаційної підтримки управління якістю доріг		Відображення відхилень на карті об'єкта
Формування аналітичної бази для бюджетування шин	Аналітика	Оцінювання темпів зношування шин
Прогнозування пробігу шин		Виявлення закономірностей зношування
Оцінювання фінансових втрат, пов'язаних з експлуатацією шин		Підтримка прийняття управлінських рішень
Централізація обліку шин	Журнал обліку шин	Внесення первинних експлуатаційних даних
Оптимізація планування закупівель шин		Контроль коректності та повноти введених даних
Консолідація даних щодо шин автопарку		Ідентифікація відповідальних осіб
Формування інформаційної бази для логістичних рішень	GPS-відстежування автотранспорту	Контроль виконання маршрутів
Підтримка оперативного планування маршрутів		Візуалізація показників виконання
Контроль досягнення цільових показників	Адміністрування даних	Налаштування параметрів і прав доступу
Забезпечення прозорості управління		Реєстрація дій користувачів

Рисунок 1.5. Функціонал IT платформи TPMS/TPCS, інтегрований в MES

Джерело : документація вендора

TPMS/TPCS, інтегровані в MES, дозволяють зменшити втрати пробігу на 10–20%, оптимізувати графіки заміни та знизити ризик аварійної зупинки, що напряду впливає на обсяги добутих тон руди та стабільність руху автотранспорту. Оптимізація цих показників є також одним із

ключових факторів скорочення витрат на ремонт доріг, що традиційно входить у витратну частину бюджету гірничого департаменту.

Третім важливим блоком є процесні показники ефективності добування руди. Завдяки інтеграції IIoT із MES можна оцінювати: фактичний час роботи екскаватора під навантаженням, продуктивність за годину/зміну, відсоток корисного часу, баланс між обсягом виймання й обсягом перевезення, відповідність фактичних навантажень плановій структурі видобутку, а також вплив зовнішніх факторів (стан дороги, метеоумови, зміни в роботі транспортного парку) на кінцевий результат. На рівні MES ці метрики дозволяють будувати моделі кореляцій «надлишкові простої → недовантаження техніки → падіння продуктивності → збільшення собівартості тонни руди». Такий підхід дає змогу обґрунтувати інвестиції не інтуїтивно, а на базі реальних даних — наприклад, у ремонт дороги, переналаштування графіка руху або модернізацію транспортних засобів.

Нарешті, інтеграція IIoT з MES відкриває можливість формувати єдину систему управління операційною ефективністю, де всі ключові показники — від параметрів шин до тони/годину добутку — зведені в єдину модель. Це дозволяє прогнозувати ефект від змін, порівнювати сценарії, формувати рекомендації щодо оптимізації маршрутів, графіків навантаження, вибору техніки та пріоритетів ремонту. Для ЦГЗК це означає можливість перейти від «реактивного» управління до проактивної моделі, у якій відхилення попереджаються ще до того, як вони призведуть до зниження продуктивності або збільшення витрат. У підсумку цифрова MES/IIoT-екосистема стає інструментом підвищення операційної ефективності не локально, а на рівні всього гірничо-видобувного комплексу.

Висновки до розділу 1

У першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи здійснено комплексний аналіз теоретичних засад та сучасних науково-практичних підходів до цифрової трансформації виробничих підприємств у контексті підвищення операційної ефективності. Обґрунтовано, що в умовах ускладнення виробничих систем, зростання вимог до якості управлінських рішень та підвищення рівня невизначеності зовнішнього середовища ключовим чинником ефективного управління стає інтеграція інформаційних та операційних технологій у межах єдиної цифрової екосистеми підприємства.

Проаналізовано еволюцію концепцій управління виробництвом і визначено місце систем класу MES/MOM у сучасній архітектурі автоматизованих систем управління відповідно до положень стандарту ANSI/ISA-95 та моделей MESA. Встановлено, що MES/MOM-системи виконують функцію інтеграційного рівня між стратегічним плануванням (ERP, APS) та технологічним управлінням, забезпечуючи оперативний моніторинг, диспетчеризацію, координацію та контроль виробничих процесів у режимі реального часу.

Досліджено основні напрями розвитку MES/MOM-рішень у гірничо-металургійному комплексі з урахуванням впровадження технологій промислового Інтернету речей. Показано, що застосування ІІоТ забезпечує безперервний збір та обробку виробничих даних, підвищення їх достовірності, зменшення впливу людського фактору та створення передумов для переходу від реактивних до проактивних моделей управління виробництвом.

Особливу увагу приділено процесному підходу до управління операційною ефективністю, який передбачає формалізацію бізнес-процесів, ідентифікацію ключових показників ефективності та впровадження механізмів їх системного моніторингу й аналізу. Обґрунтовано, що інтеграція ІІоТ-платформ з MES/MOM-системами

створює методологічну основу для підвищення прозорості виробничої діяльності, оптимізації використання матеріальних і технічних ресурсів, скорочення простоїв обладнання та зниження операційних витрат.

Узагальнення результатів теоретичного дослідження дозволяє дійти висновку, що цифрові платформи на базі ІІоТ у поєднанні з MES/MOM-системами є системоутворювальним інструментом підвищення операційної результативності виробничих підприємств. Отримані наукові положення формують концептуальне та методичне підґрунтя для подальшого аналізу практичних аспектів цифровізації бізнес-процесів конкретного підприємства та обґрунтування управлінських рішень у наступних розділах магістерської роботи.

2. АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ БІЗНЕС-ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ШИН

2.1. Характеристика ПРАТ «ЦЕНТРАЛЬНИЙ ГЗК» та основні бізнес-процеси

Основна інформація про підприємство:

ПРАТ «Центральний ГЗК» (Повне найменування: Приватне акціонерне товариство «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат») – це одне з найбільших підприємств України з видобутку, переробки та виробництва залізорудної сировини для металургійного комплексу країни та країн Східної Європи. Адреса: 50066, Дніпропетровська область, м. Кривий Ріг (юридична адреса не деталізовано повною вулицею в доступних джерелах, але підприємство розташовано в Криворізькому регіоні). Код ЄДРПОУ: 00190977. Форма власності: приватна. Товариство є юридичною особою за законодавством України. Види діяльності: видобування залізних руд, переробка та збагачення руди, виробництво залізорудного концентрату та котунів (агломерату) для чорної металургії.

ПРАТ «Центральний ГЗК» входить до групи «Метінвест» і займає провідні позиції в Україні за обсягами видобутку залізної руди, виробництва концентрату (близько 4,3 млн т на рік) та котунів (близько 1,9 млн т на рік), а також за темпами зростання виробництва, експорту сировини та внеску в податкові надходження до бюджету (як один з ключових гравців гірничо-металургійного комплексу).[20]. ЦГЗК є унікальним підприємством в Україні, яке об'єднує відкритий і підземний видобуток магнетитових кварцитів з подальшим збагаченням.

Центральний ГЗК першим в Україні освоїв виготовлення окотків для технології прямого відновлення заліза (DRI).(Рис.2.1). Це стало

можливим завдяки ініціативі внутрішніх фахівців, співробітників комбінату, які були об'єднанні спільною метою та командною роботою. Згуртованість навколо завдання досягти результату – дала змогу Метінвесту розробити власне, не запозичене, технологічне рішення.



Рисунок 2.1 Лінія виготовлення окотків для DRI технології (Green Deal)

Джерело : [29]

Спеціалісти ЦГЗК провели експеримент з отримання необхідних якісних характеристик окотків шляхом оброблення спеціальними речовинами.

Попередні результати випробувань дають надію на те, що протекція від агломерації в ході прямого відновлення буде вищою, ніж у конкурентів. Таким чином завдяки новій технології Метінвест не тільки залишається стійким гравцем на ринку, а й надає позитивний сигнал на подальший розвиток і відрив від конкурентів.

На збагачувальній фабриці комбінату встановлено сучасне обладнання, котре дозволяє отримати концентрат з умістом заліза 70,5%. [26]

Базовий підрозділ, в якому передбачено реалізація проєкту: транспортні відділи цехів Глеюватського, Петровського, Артемівського кар'єрів, що забезпечують транспортування руди від кар'єрів до дробильних фабрик.

Структура виробничого циклу ПРАТ ЦГЗК

З точки зору декомпозиції розгортання модулів MES є наступні служби та підприємства Центрального ГЗК (рис.2.2), які беруть участь у підготовці початкових даних для управління виробництвом, а також послуги з використанням результатів виробничих управлінських напрямків у своїй виробничій діяльності:

- Кар'єри Глевацького, Петровського та Артемовського;
- Рудник Орджонікідзе;
- Подрібнювальний завод;
- Концентраційний млин;
- Завод для пелетування;
- Майстерня з водопостачання та осаду;
- Майстерня мереж і підстанцій;
- Директорату виробництва;
- Директорату технологій та якості;
- Інженерна дирекція.

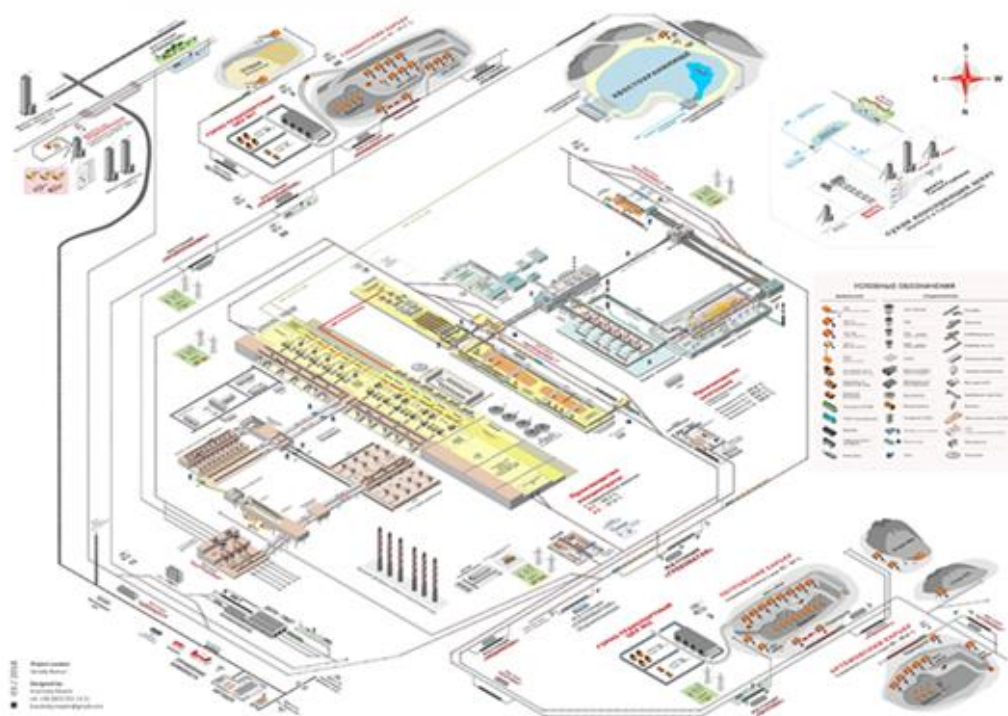


Рисунок 2.2 Функціональна технологічна схема ПРАТ Центральний ГЗК
Джерело : внутрішня інформація ПРАТ «ЦЕНТРАЛЬНИЙ ГЗК»

2.2. Основні напрямки впровадження модулів MES для ПРАТ «ЦЕНТРАЛЬНИЙ ГЗК»

Збір даних

Призначення – забезпечення взаємодії інформаційних підсистем з метою отримання, накопичення та передачі технологічних та керуючих даних, що циркулюють у виробничому середовищі підприємства. Функція забезпечує інтерфейс для отримання даних та параметрів технологічних операцій, які використовуються у формах та документах, що прикріплюються до одиниці продукції. Дані можуть бути отримані з цехового рівня як вручну, так і автоматично від обладнання, в необхідний час. Модуль управління забезпечує можливість отримання оперативних виробничих і параметричних даних про обладнання та виробничі процеси, що використовується. Модуль управління "відповідає" також за надання в реальному часі інформації про стан виробничого обладнання

та виробничих процесів, а також відомостей про передісторію виробництва та параметричних даних.

Функції напряму:

- Збір параметричних даних (DPI), даних про технологічні сигналізації (Alarm) та даних про дії технологічного персоналу (Event) у режимі реального часу;
- Архівування даних реального часу, що збираються;
- Перевірка даних на достовірність;
- Відновлення пропущеної інформації (відсутності даних від джерела) на підставі даних розрахункових модулів;
- Заміщення відновлених даних під час відновлення надходження даних від джерела;
- Приведення отримуваних параметричних даних до нормальних умов;
- Перетворення інженерних одиниць;
- Обчислення віртуальних даних (тегів);
- Ручне введення параметричних даних;
- Завантаження-розвантаження даних для не MES систем;
- Інтегрування масивів даних із заданими періодами інтегрування для подальшого використання;
- Надання даних для всіх модулів та користувачів системи;
- Збір у реальному часі даних безперервних процесів із різних джерел – DCS, вузли та системи обліку, системи комерційного та технічного обліку енергоресурсів, ваговимірювальних систем, екологічний моніторинг (кіотський протокол). (Інформація з різних джерел виробничої інформації збирається в єдиній базі даних. Дані збираються у вигляді тимчасових рядів);
- Попередня обробка даних. (Усунення грубих помилок вимірювання даних, пропущених даних, стиск тощо);

- Довготривалі архіви даних технологічних процесів, історія порушень режимів та кордонів;
- Специфікації та рецептури продукції. (Головний довідник специфікацій та рецептур продукції знаходиться в ERP. Синхронізація довідників може бути автоматично або вручну);
- Процеси, техкарт контролю якості, основні контрольні ознаки. (Процеси контролю якості відображені в ERP. Головні довідники техкарт контролю якості та основних контрольних ознак знаходяться в ERP. Синхронізація довідників може бути автоматично або вручну);
- Збір даних лабораторного аналізу та аналізу якості в режимі реального часу (Дані приладового аналізу – газоаналізатори, результати внутрішньо змінного аналітичного контролю);
- Коди причин нештатних ситуацій та сервісного обслуговування. (Основний довідник - ERP. Синхронізація з MES може також бути ручною. Ці довідники зрідка змінюються. У MES може бути додаткова інформація, якої немає в ERP);
- Виробничі технологічні (регламентні) картки. (Інструкції щодо виконання операцій на виробничих лініях або параметри технологічних режимів, які потрібно витримувати). Технологічні рецептури, технологічні карти та специфікації проводяться на рівні SAP ERP. Служать з метою планування, планових калькуляцій та створення технологічних замовлень. Синхронізація довідників може бути автоматично або вручну;
- Детальні дані щодо виробничих ділянок. (Поточні дані в контрольних точках. Для дискретних процесів – яка операція виконується, для якого елемента, з якого замовлення);
- Змінні звіти про роботу ділянок виробництва (вироблена продукція, використані ресурси, позаштатні ситуації, простой та ін.);
- Вагові виміри для автотранспорту та вагонів.

Оперативне диспетчерське управління

Призначення - Управління потоком виробленої продукції за операціями, замовленнями, партіями, серіями, за допомогою робочих нарядів. Диспетчерська інформація надається в тій послідовності, в якій робота має бути виконана, та вимірюється у реальному режимі часу. Це дає можливість зміни заданого календарного плану, а також включає функції усунення браку та переробки відходів поряд з можливістю контролю трудовитрат у кожній точці процесу з буферизацією даних. У модулі управління реалізовані функції управління потоками продукції, представлені у формі робіт, замовлень, груп виробів, партій та робочих завдань, за допомогою напряму продукції на конкретні виробничі агрегати та конкретного персоналу. Диспетчерська інформація зазвичай є заданою послідовністю робіт і може змінюватися в реальному масштабі часу в залежності від подій, що відбуваються на цеховому рівні. У модулі управління запропоновані графіки робіт можуть змінюватися в межах узгоджених обмежень, залежно від наявності локальних виробничих можливостей та від поточних умов виробництва. Диспетчерське управління передбачає можливість регулювання обсягів незавершеного виробництва у будь-якій точці процесу шляхом використання буферних запасів, організації повторної обробки та утилізації відходів.

Функції напряму:

- Облік та аналіз простоїв;
- Зниження простоїв, зокрема. втрат ефективності;
- Контроль виробничих операцій;
- Технологічний моніторинг;
- Контроль залізничних вагонів на території заводу;
- Оперативний статистичний аналіз даних технологами та операторами (Стандартні засоби роботи з тимчасовими рядами даних та аналізу даних MES);

- Візуальне подання технологічних реального часу для диспетчерів підприємств, технологів та операторів за допомогою структурованих мнемосхем;
- Дистанційний моніторинг процесу виробництва та його стадій;
- Управління уставками аварійної сигналізації для контролю за порушеннями технологічних параметрів. (Центральна база даних затверджених уставок сигналізації. Шаблони уставок сигналізації для різних режимів роботи. Контроль активних деблоків, контроль та протоколювання відключень та змін сигналізації);
- Контроль порушень меж спрацьовування аварійної сигналізації та автоматичне оповіщення;
- Моніторинг заданих обмежень у режимі близькому до режиму реального часу та оповіщення відповідного персоналу;
- Контролює стан засувки, трубопроводів, перемикань енергообладнання. Моніторинг стану устаткування;
- Диспетчеризація енергогосподарства (контроль вироблення та розподілу електроенергії, пари, всіх видів паливних газів, стиснутого повітря, всіх видів води – питна, технічна, морська, деаерована, продуктів поділу повітря тощо).

Управління якістю

Призначення - Аналіз даних вимірювань якості продукції в режимі реального часу на основі інформації, що надходить з виробничого рівня, забезпечення належного контролю якості, виявлення критичних точок та проблем, що потребують особливої уваги. Забезпечує аналіз у реальному часі вимірюваних показників, отриманих від виробництва, для гарантованого правильного управління якістю продукції та визначення проблем, що потребують втручання обслуговуючого персоналу. Ця функція формує рекомендації щодо усунення проблем, що визначають причини шлюбу шляхом аналізу взаємозв'язку симптомів. Модуль управління включає функції представлення даних

оперативних вимірювань характеристик виробничого процесу та їх аналізу з метою забезпечення належного контролю якості продукції та виявлення проблем, які потребують уваги. У цьому модулі можуть бути рекомендовані відповідні дії щодо усунення виявлених проблем, включаючи кореляційний аналіз симптомів, вжитих заходів та одержуваних результатів з метою визначення причин проблем, що виникають. Це передбачає використання методів статистичного контролю технологічних процесів та статистичного контролю якості (SPC/SQC), відстеження та впорядкування неоперативних процедур контролю та аналізу в рамках лабораторних інформаційно-керуючих систем.

Функції напряду[21]:

- Лабораторно-інформаційна менеджерська система (ЛІМС);
- Статистичне управління якістю продукції;
- Прогнозування якості продукції за даними якості сировини;
- Технологічний моніторинг;
- Процедури контролю якості та введення результатів аналітичного контролю у виробничих лабораторіях (якість концентрату, якість руди, якість сирих та обожених котунів, втрати магнітного заліза у хвостах тощо);
- Збір оперативних вимірювань якісних показників із систем АСУТП та систем обліку;
- Вимірювання та покращення показників якості сировини, напівфабрикатів, готової продукції, виробничого процесу;
- Вхідний контроль якості для одержуваних матеріалів, сировини та енергоресурсів;
- Контроль якості на складах;
- Формування сертифікатів контролю якості для продукції (MES передає сформовані та оброблені дані щодо якості. ERP доповнює їх

донними про контракт, замовлення на продаж і т.д. та формує свою вихідну форму).

Діагностика стану обладнання

Призначення - управління технічним обслуговуванням, плановим та оперативним ремонтом обладнання та інструментів для забезпечення їхньої експлуатаційної готовності. Відстежує та керує обслуговуванням обладнання та інструментів. Забезпечує їхню працездатність. Забезпечує планування періодичного та запобіжного ремонтів, ремонтів за станом. Накопичує і зберігає історію подій, що відбулися. Модуль керування містить ряд функцій керування технічним обслуговуванням та інструментальним забезпеченням. Ці функції гарантують наявність необхідного обладнання та інструменту для виробничого процесу. У модулі можуть бути функції планування періодичного або планово-попереджувального профілактичного обслуговування, а також функції реагування на проблеми, що вимагають негайного вирішення. У рамках функцій технічного обслуговування фіксується передісторія минулих подій та проблем для полегшення задач технічної діагностики.

Функції напряму:

- Контроль стану та діагностика виробничого обладнання в режимі реального часу та збирання діагностичних повідомлень;
- Раннє виявлення проблем обладнання, профілактика та запобігання аварійним ситуаціям;
- Технологічний моніторинг;
- Діагностика ВТО, у тому числі ГТК;
- Підтримка переходу на збільшений міжремонтний інтервал та ремонт "станом";
- Облік простоїв, у т. ч. втрат ефективності;
- Управління інформацією про обладнання;
- Облік та контроль технічного стану обладнання;

- Оперативне управління та організація робіт з технічного обслуговування;
- Календарне та ресурсне планування, бюджетування технічного обслуговування;
- Аналіз ефективності технічного обслуговування;
- Облік моторесурсу обладнання;
- Видача звітів за станом обладнання (Дані та звіти про фактичний стан обладнання, статистика відмов, середній час напрацювання на відмову та середній міжремонтний інтервал, поточний ККД обладнання та швидкість деградації ККД, облік робочих годин тощо);
- Планування робіт з ремонту та технічного обслуговування (Використовуються дані та звіти про фактичний стан обладнання, статистика відмов, облік робочих годин тощо. Результати планування доступності обладнання на високому рівні агрегування);
- Закриття наказів-нарядів та робіт з обслуговування.

Матеріальний та енергетичний баланси

Призначення – управління ресурсами виробництва: технологічним обладнанням, матеріалами, персоналом, документацією, інструментами, методиками робіт. Модуль включає функції управління тими ресурсами, які мають прямий стосунок до управління виробничим процесом. До цих ресурсів відносять машини, верстати, кваліфікованих фахівців, матеріали, допоміжне обладнання, робочі документи та інші об'єкти, необхідні початку і доведення остаточно виконаної роботи. Управління цими ресурсами може передбачати їхнє локальне резервування для досягнення цілей, визначених календарним планом. У модулі управління гарантується, що обладнання належним чином налаштоване на виконання належного процесу та всі необхідні для цього ресурси виділені. Тут також формується в реальному часі інформація про поточний стан ресурсів та фіксується докладна передісторія їхнього використання.

Мета - Забезпечує детальну історію ресурсів та гарантує, що обладнання відповідним чином підготовлене до роботи. Контролює стан ресурсів у часі.

Функції напряду:

- Автоматизований первинний виробничий облік;
- Реальні оперативні дані щодо обсягів виробництва та споживання ресурсів
- Виконання розрахунків та зведення балансу заліза;
- Можливість прогнозування рівня енергоспоживання;
- Можливість керування споживаною потужністю;
- Облік виробництва та передача даних з обліку виробництва у SAP, контроль залишків у бункерах та на майданчиках зберігання;
- Контроль та управління переміщеннями матеріалів на рівні ділянок/агрегатів (у MES фіксуються міжцехові та внутрішньоцехові переміщення матеріалів. У MES фіксуються фактичні маршрути переміщень матеріалів. Ця інформація використовується у зведенні балансів);
- Контроль експлуатаційної готовності обладнання;
- Керування статусом обладнання, наприклад, виведено у ремонт або готове до роботи. (Обладнання - тех ресурс. Якщо робиться з MES оператором або начальником/майстром зміни, то позначки йдуть і в електронному журналі змін, тобто забезпечується повноцінний документообіг);
- Виконання розрахунків та зведення балансу:
 - Матеріального
 - Енергетичного
- Угруповання узгоджених даних за параметрами обліку. Передача в ERP

Календарне планування та складання розкладів

Призначення - розрахунок виробничих розкладів, що ґрунтується на пріоритетах, атрибутах, характеристиках та способах, пов'язаних зі специфікою виробів та технологією виробництва. Забезпечує впорядкування виробничих завдань, що ґрунтуються на черговості, атрибутах, характеристиках та рецептах, пов'язаних зі специфікою виробів, технології та виробництва. Модуль управління містить також функціональні можливості впорядкування на основі використання різних пріоритетів, атрибутів, характеристик та технологічних інструкцій стосовно конкретних виробничих агрегатів та конкретних характеристик виробів: наприклад, якості або інших параметрів, які при відповідному впорядкуванні мінімізують витрати на налаштування обладнання. При деталізованому оперативному плануванні беруть до уваги обмеженість можливостей використання ресурсів і розглядають альтернативні операції, що перекриваються або паралельні, для визначення точного часу завантаження обладнання та його налаштування на змінні завдання.

Мета – скласти виробничий розклад із мінімальними переналаштуваннями обладнання та паралельною роботою виробничих потужностей для зменшення часу отримання готового продукту.

Функції напрямку:

- Складання робочих графіків для кожного окремого виробничого підрозділу (день/зміна/години) – вибір поточного оптимального технологічного режиму та/або рецепту, послідовності перемикавання режимів, цільових параметрів продуктивності;
- Відстеження прогресу розкладу, перемикавання режимів і змін у розкладі у разі відхилень. («Контактний графік» на поточний день і, можливо, наступний день. Перегляд виробничої програми на тривалий період здійснюється в APO/ERP, а наступного дня повертається до MES.);

- Поточні запаси/надходження сировини та матеріалів для виробництва. (дані про надходження та відправлення передаються з ERP до MES, а оцінки поточних запасів передаються з MES до ERP, враховуючи надходження, відправлення та виробничі витрати.

- Змішування компонентів. (Розрахунок витрат на поточний і наступний день (у контексті горизонтів планування та контролю));

- Обробка виробничих обмежень;
- Управління виробничими замовленнями;
- Планування операційного виробництва (APS);
- Оптимізація логістики виробництва (транспортні та конвеєрні шляхи, залізничні поїзди)

- Координація з очищенням і змішуванням руди;
- Зменшення простоїв і збільшення використання потужностей;
- Скорочення зміни обладнання з часом;
- Зменшення втрат енергії;
- Виробництво «вчасно»;Зменшення обсягу робіт, що тривають.

2.3. Моделювання бізнес-процесу «Керування експлуатацією шин і станом доріг»

Опис поточного стану бізнес-процесів (модель «AS IS» - «ЯК Є»).

На промислових підприємствах гірничо-металургійного комплексу (кар'єри, дробильні та збагачувальні фабрики) процес експлуатації шин великовантажних кар'єрних самоскидів організований переважно у ручному та фрагментованому режимі. Контроль параметрів (тиску, температури, стану протектора) здійснюється періодично — під час щозмінних або планових оглядів, а не в режимі реального часу. Дані про стан шин, їхній пробіг, ремонт або заміну фіксуються у паперових

журналах або окремих Excel-файлах, без централізованої бази даних і без інтеграції з ERP/MES-системами підприємства.

Основні проблеми (“bottle neck”) поточного стану:

1. Відсутність безперервного моніторингу стану шин.
2. Дані збираються із запізненням, тому аварійні ситуації (перегрів, зниження тиску, нерівномірне навантаження) часто фіксуються лише після пошкодження шини або простою техніки. Це призводить до передчасного виходу шин з ладу та підвищених експлуатаційних витрат.
3. Відсутність аналітичної підтримки прийняття рішень.
4. Не здійснюється автоматичний розрахунок прогнозу залишкового ресурсу шин, аналіз факторів зношування, або оцінка ефективності маршрутів. Рішення приймаються інтуїтивно, на основі досвіду окремих фахівців.
5. Низька точність та дублювання даних.
6. Дані про шини, їхню історію використання, ремонти й заміни ведуться в різних форматах (журнали, Excel, локальні бази), що ускладнює відстеження повного життєвого циклу та створює ризик помилок при плануванні закупівель.
7. Відсутність інтеграції з даними про якість технологічних доріг.
8. Хоча відомо, що нерівності, перевантаження та поганий стан дорожнього полотна різко скорочують ресурс шин, наразі системного збору показників якості дороги (нахили, вібрації, швидкість, перевантаження) не ведеться. Це не дозволяє оцінити вплив дорожнього фактора на витрати.
9. Відсутність централізованої системи оповіщень і контролю.
10. Попередження про порушення параметрів надходять із запізненням або не доходять до потрібних осіб (водіїв, диспетчерів, інженерів). Немає єдиного цифрового простору відповідальності.
11. Обмежене ресурсне забезпечення процесу.

- Брак сучасних сенсорів TPMS (внутрішніх, телеметричних).
- Відсутність стабільного каналу передачі даних із кар'єрних зон.

– Недостатня кількість підготовленого персоналу для аналізу телеметрії.

12. Неоптимальна організація взаємодії підрозділів.

13. Дані про стан шин, ремонти, закупівлі, маршрути перевезень та ремонт доріг належать різним службам (гірничо-транспортний цех, відділ транспорту виробничого відділу, дорожня дільниця, відділ постачання). Координація між ними здійснюється вручну, через телефон або електронну пошту, що створює інформаційні розриви.

Наслідки існуючих “вузьких місць”:

- передчасне зношування шин (до -25 % від паспортного ресурсу);
- непланові простої техніки, зриви графіків перевезень;
- зростання витрат на ремонт та закупівлю шин;
- відсутність достовірної аналітики для управління запасами;
- втрата потенціалу економії пального через неоптимальні маршрути та дороги;
- низька прозорість процесів для керівництва.

Таблиця 2.1 – Параметри поточного перебігу бізнес-процесу

ID	Назва підпроцесу	Inputs (I)	Controls (C)	Outputs (O)	Mechanisms (M)
A1	Збір і прийом даних	TPMS: тиск/темп., GPS, глибина протектора	Політика частоти, форматів	Потоки сирих даних, події	Сенсори, комунікація GPRS/мережа
A2	Моніторинг порушень і сповіщення	Потоки даних A1	Пороги виробника, правила попереджень	Попередження (водію/диспетчеру), статуси	Веб-додаток, диспетчер
A3	Аналітика та рекомендації	Дані/події A1– A2	Методики, KPI, моделі	Звіти, коригуючі дії	Аналітичні сервіси
A4	Журнал обліку шин	Заміри протектора, рух шин	Стандарти введення	Е-журнал, довідники	Інтерфейс внесення, валідації
A5	Контроль якості доріг	GPS/швидкість, інклінометр, підвіска	Категорії доріг, пороги	Карта відхилень, пріоритезація	Модуль Quality, служба доріг
A6	Адміністрування та доступи	Запити користувачів	Політики доступу	Ролі, налашт. порушень	Адмін-модулі, Azure

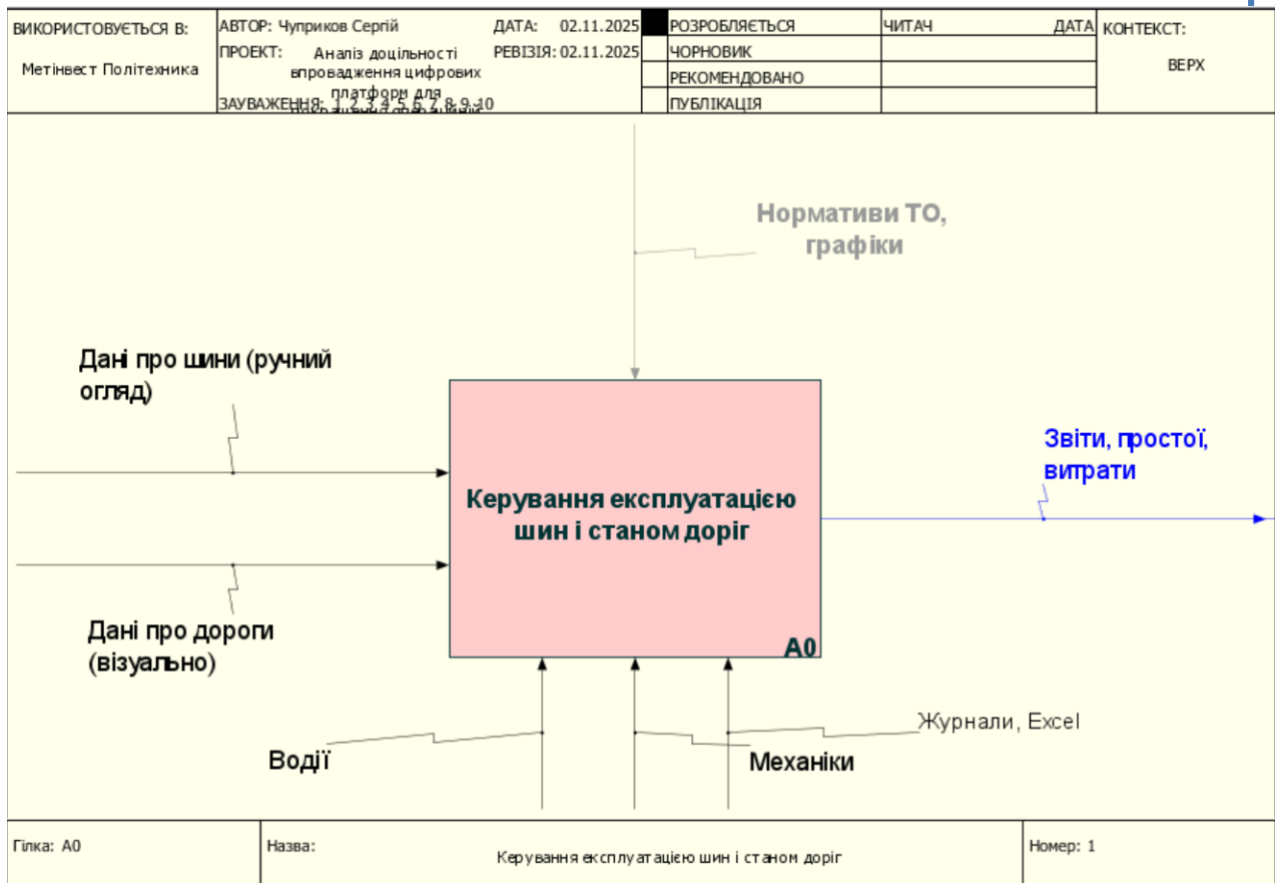


Рисунок 2.3 - Контексна діаграма формалізації і опису поточного стану бізнес-процесу “Керування експлуатацією шин і станом доріг (AS-IS)”, топ-рівень A-0

Джерело : побудовано автором на платформі «RAMUS»

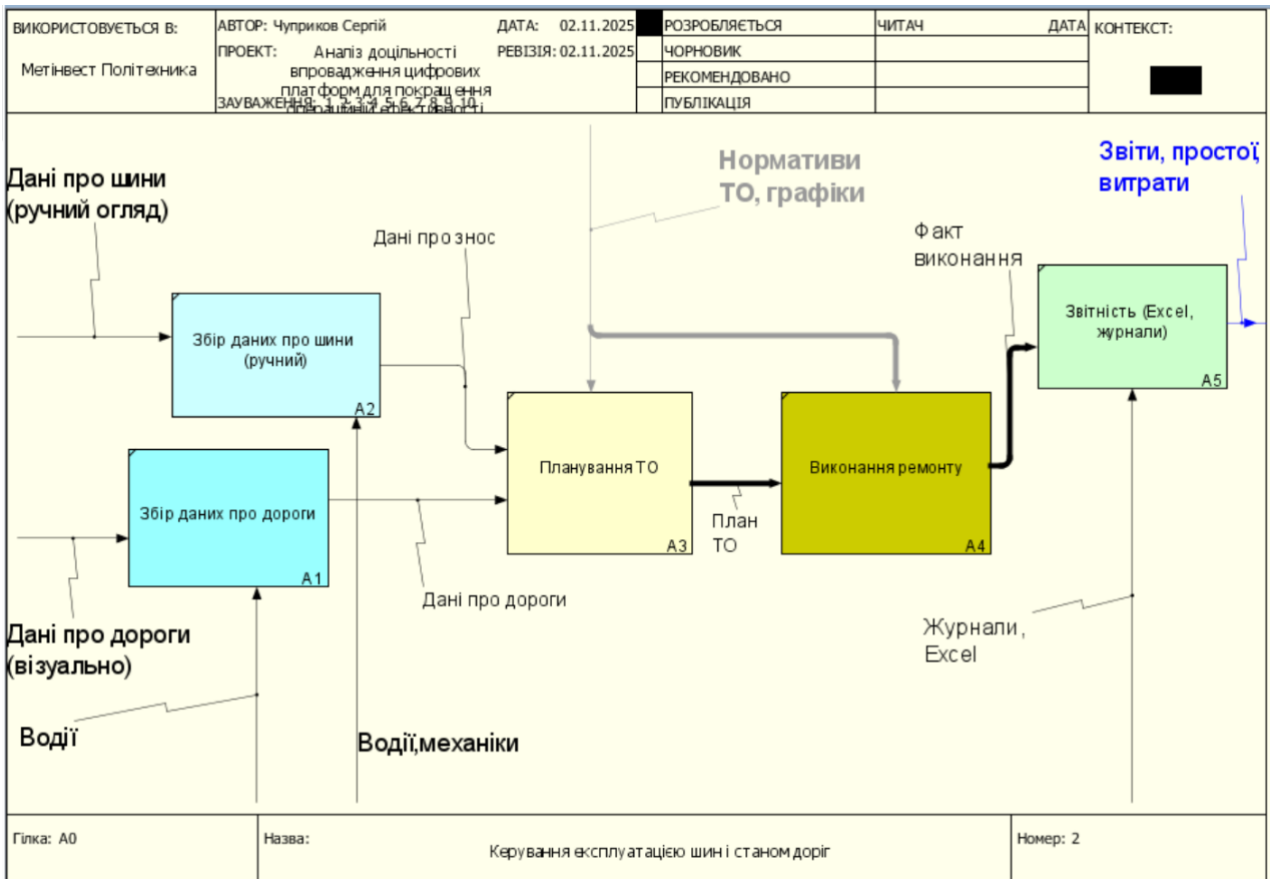


Рисунок 2.4 – Декомпозиція контекстної діаграми формалізації і опису поточного стану бізнес-процесу “Керування експлуатацією шин і станом доріг (AS-IS)

Джерело : побудовано автором на платформі «RAMUS»

Опис удосконаленого бізнес-процесу “керування експлуатацією шин і станом доріг (модель «ТО БЕ» - «ЯК БУДЕ»).

На підставі проведеного мною дослідження наявної інформації, результатів ознайомлення з науковими джерелами, а також внутрішніх матеріалів ТОВ «Метінвест Діджитал» та ПРАТ «Центральний ГЗК», встановлено, що чинна модель управління експлуатацією шин і станом технологічних доріг має високий потенціал для цифрового вдосконалення.

Відповідно до побудованих моделей «AS-IS» («ЯК Є») (рис. 2.3–2.4) було сформовано модель «ТО-БЕ» («ЯК БУДЕ») (рис. 2.5–2.6), яка відображає впровадження інноваційних елементів цифровізації бізнес-процесу. Основна ідея модернізації полягає у переході від

фрагментованих, переважно ручних операцій до інтегрованої системи цифрового моніторингу, аналітики та управління на базі цифрових платформ .

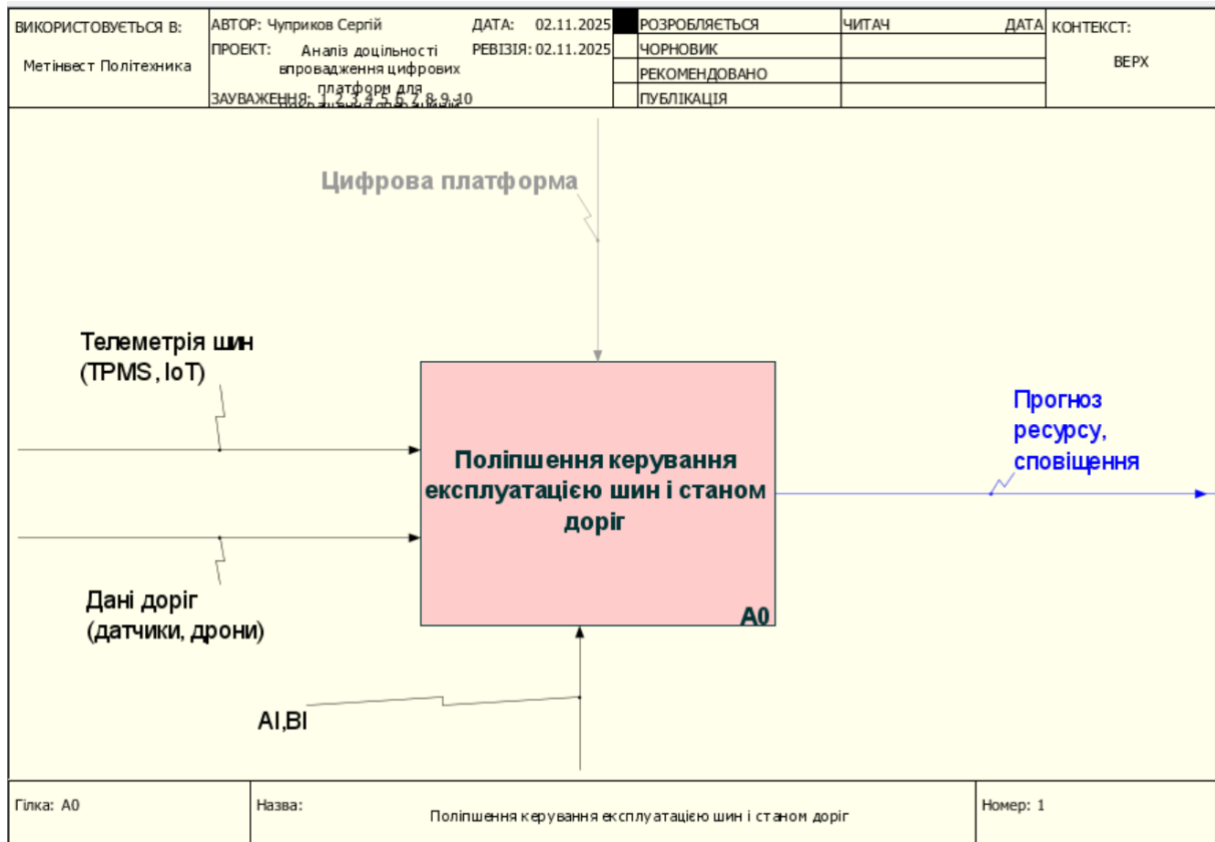


Рисунок 2.5 –Контекстна діаграма формалізації і опису поточного стану бізнес-процесу «Поліпшення керування експлуатацією шин і станом доріг «ТО – ВЕ», топ- рівень А-0
Джерело : побудовано автором на платформі «RAMUS»

Удосконалення бізнес-процесу передбачає кілька послідовних етапів:

1. Визначення проблем і цілей удосконалення.
2. Проведення детального аналізу поточного стану, ідентифікація вузьких місць, визначення ключових показників ефективності (KPI) і пріоритетів для оптимізації.
3. Модернізація процедур і розподіл відповідальності.
4. Перегляд і уточнення ролей усіх учасників процесу, створення нових регламентів і стандартів, розробка оновленої процедури контролю та звітності на основі цифрових даних.
5. Підготовка та навчання персоналу.
6. Проведення тренінгів для фахівців технічних і диспетчерських служб із використання цифрових платформ моніторингу, аналітики та управління.
7. Впровадження цифрових інструментів і оцінка результатів.
8. Запуск оновленої процедури управління, моніторинг її ефективності, аналіз досягнутих результатів, підготовка рекомендацій для подальшого вдосконалення процесу.

Висновки до розділу 2

У другому розділі моєї роботи проведено аналіз поточного стану та організації бізнес-процесу технічного обслуговування автомобільних шин у межах гірничо-транспортного комплексу ПРАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат». Дослідження дозволило ідентифікувати ключові особливості функціонування підприємства, структуру його основних бізнес-процесів та місце процесу обслуговування шин у загальній системі забезпечення операційної діяльності комбінату.

У ході аналізу встановлено, що бізнес-процес технічного обслуговування шин характеризується високою ресурсомісткістю, значним впливом на безперервність гірничо-транспортних операцій та істотним економічним ефектом у разі відхилень від нормативних параметрів експлуатації. Виявлено, що в умовах відсутності централізованої цифрової системи моніторингу процес управління технічним станом шин має переважно реактивний характер, супроводжується фрагментованістю даних, залежністю від людського фактору та обмеженими можливостями для аналітичної підтримки управлінських рішень.

Проаналізовано основні напрями впровадження модулів MES у діяльність ПРАТ «Центральний ГЗК» з урахуванням специфіки гірничо-транспортних процесів. Встановлено, що інтеграція систем моніторингу технічного стану шин (TPMS/TPCS) з MES-рівнем дозволяє забезпечити безперервний збір експлуатаційних даних, їх консолідацію та подальше використання для аналізу причин відхилень, оцінювання темпів зношування та прогнозування ресурсу шин.

Моделювання бізнес-процесу технічного обслуговування шин із використанням процесного підходу дало змогу формалізувати його

структуру, визначити основні «входи», «виходи», механізми управління та відповідальних учасників. Це, у свою чергу, створило передумови для виявлення вузьких місць процесу та обґрунтування доцільності переходу від локального обліку до інтегрованої цифрової моделі управління.

За результатами аналізу зроблено висновок, що впровадження MES-модулів у поєднанні з IIoT-платформами є обґрунтованим напрямом підвищення операційної ефективності процесу технічного обслуговування шин на ПРАТ «Центральний ГЗК». Отримані в розділі результати слугують аналітичною основою для розроблення практичних заходів з удосконалення бізнес-процесу та оцінювання їх економічної ефективності, що розглядається у наступному розділі магістерської роботи.

3. НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОЄКТІВ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ІТ/ОТ ПЛАТФОРМ MES

3.1. Структура побудови та організація ТОВ «МЕТІНВЕСТ ДИДЖИТАЛ» як ІТ бізнес-партнера активів групи Метінвест

ТОВ "Метінвест Діджитал" — провідна українська ІТ-компанія, що є офіційним цифровим інтегратором міжнародної гірничо-металургійної Групи компаній Metinvest [27]. Компанія була заснована у 2018 році з метою централізації цифрових сервісів, розвитку інноваційних технологій та підтримки цифрової трансформації промислових підприємств групи.

Основною місією ТОВ "Метінвест Діджитал" є впровадження сучасних ІТ-рішень для підвищення ефективності виробництва, управління ресурсами, забезпечення надійної кібербезпеки та цифровізації бізнес-процесів [28]. Компанія забезпечує безперебійну підтримку інфраструктури підприємств групи Метінвест, а також розробку та реалізацію проєктів на базі провідних технологічних платформ, зокрема SAP, Microsoft Azure, AI/ML, IoT, Big Data та інших [3].

"Метінвест Діджитал" активно впроваджує сучасні практики в галузі інформаційної безпеки, автоматизації процесів та управління даними. Особливу увагу компанія приділяє цифровій трансформації виробництва: розробляються та реалізуються рішення з управління транспортною логістикою, енергетикою, технічним обслуговуванням обладнання, що сприяє зниженню витрат і підвищенню продуктивності підприємств [28].

Попри складні умови, пов'язані з війною в Україні, компанія продовжує свою діяльність, адаптуючись до нових викликів. З початку повномасштабного вторгнення частина контрактів була призупинена, однак "Метінвест Діджитал" зберіг фахову команду та продовжив розвиток внутрішніх проєктів, а також комунікацію з партнерами.

Компанія налічує понад 500 висококваліфікованих співробітників, має сертифікати ISO 20000-1:2018 (система управління IT-послугами), а також впроваджує підходи, орієнтовані на міжнародні стандарти в сфері управління якістю та безпекою даних.

Завдяки постійному вдосконаленню процесів, модернізації IT-інфраструктури та орієнтації на потреби бізнесу, ТОВ "Метінвест Діджитал" зміцнює свої позиції як надійний IT-партнер не лише для українських, а й для міжнародних проєктів у складі Групи Metinvest.

3.2. Основні програмні продукти, що використовуються в ТОВ "МЕТІНВЕСТ ДІДЖИТАЛ"

ТОВ "Метінвест Діджитал" – сучасна IT-компанія, що входить до складу Групи Метінвест і виконує ключову роль у забезпеченні цифрової трансформації металургійних і гірничодобувних підприємств. Основна місія компанії полягає в розробці, впровадженні та супроводі цифрових рішень, які забезпечують стійке зростання, інноваційність і конкурентоспроможність Групи Метінвест на глобальному ринку. Компанія зосереджена на розвитку інфраструктури, автоматизації процесів, створенні внутрішніх і зовнішніх клієнтських IT-продуктів, а також на кібербезпеці та управлінні даними.

У своїй діяльності Метінвест Діджитал застосовує широкий спектр сучасних програмних продуктів світового рівня, які охоплюють практично всі аспекти цифрового середовища: корпоративне

управління ресурсами, аналітику, облік, комунікацію, розробку ПЗ, захист даних тощо. Завдяки використанню цих рішень досягається висока ефективність операцій, прозорість бізнес-процесів, зниження витрат та підвищення загальної продуктивності організації.

а. ERP-система SAP S/4HANA

SAP S/4HANA є однією з ключових технологічних платформ(рис.3.1.), що лежать в основі цифрової трансформації підприємств Групи Метінвест. Це комплексна ERP-система нового покоління [28], яка базується на високопродуктивній технології обробки даних in-memory та забезпечує інтеграцію всіх основних бізнес-процесів компанії в єдиному інформаційному середовищі.

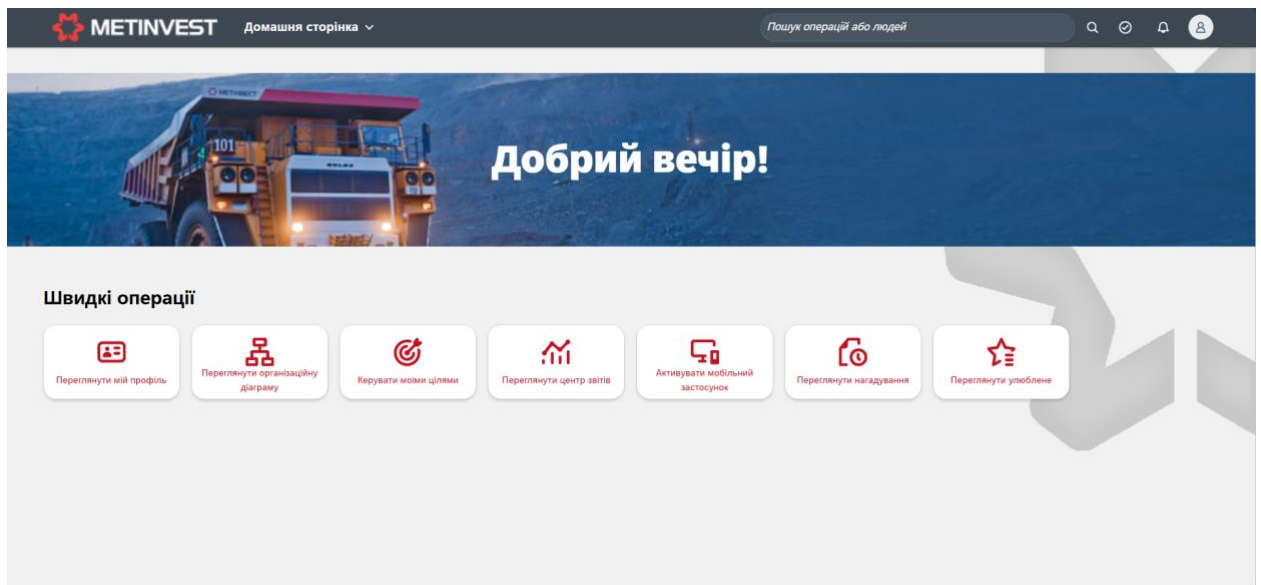


Рисунок 3.1 – Домашня сторінка SAP для працівників «Метінвест Діджитал»

Джерело : внутрішній сайт працівників «Метінвест Діджитал»

Впровадження SAP S/4HANA у Метінвест Діджитал відбувалося в декілька етапів, з поступовим охопленням ключових підрозділів — від фінансів і закупівель до управління виробництвом та логістикою. Компанія виступала не лише як замовник, а й як інтегратор,

координуючи роботу технічних фахівців, аналітиків і розробників на всіх стадіях проекту(рис.3.2).

Основні функціональні можливості SAP S/4HANA:

- Фінанси та облік: система дозволяє в режимі реального часу проводити моніторинг фінансових показників, формувати аналітичні звіти, контролювати витрати, вести управлінський та бухгалтерський облік відповідно до міжнародних стандартів.

- Закупівлі та постачання: управління тендерами, контроль за виконанням контрактів, автоматичне формування замовлень на підставі прогнозів та історичних даних.

- Управління виробництвом: планування виробничих потужностей, диспетчеризація замовлень, облік витрат на кожен етап виробничого циклу.

- Логістика: управління запасами, складуванням, транспортуванням сировини й готової продукції.

- Інтеграція з іншими модулями: тісний зв'язок із SAP HCM, SAP CRM, SAP BW/4HANA (бізнес-аналітика), що дозволяє отримати комплексне бачення ситуації.

Переваги впровадження SAP S/4HANA для Metinvest Діджитал:

- Стандартизація бізнес-процесів: дозволяє уніфікувати підходи до обліку, документообігу та звітності на рівні всієї Групи.

- Прозорість та контроль: кожен процес легко відстежується, завдяки чому зростає ефективність внутрішнього контролю.

- Швидкість обробки інформації: in-memory технологія HANA забезпечує миттєвий аналіз даних незалежно від їх обсягу.

- Підвищення операційної ефективності: автоматизація знижує людський фактор, пришвидшує процеси та мінімізує помилки.

- Масштабованість: система може бути адаптована до нових підприємств і потреб без значних змін у архітектурі.

На підприємствах, що входять до складу Групи Метінвест, SAP S/4HANA використовується щодня тисячами користувачів(рис.3.3). Система забезпечує актуальні дані для оперативного прийняття рішень: фінансові директори, логісти, постачальники, керівники підрозділів отримують інформацію в зручному форматі через SAP Fiori або інтегровані звіти в Power BI. Також важливим етапом стало впровадження мобільного доступу до ключових модулів.

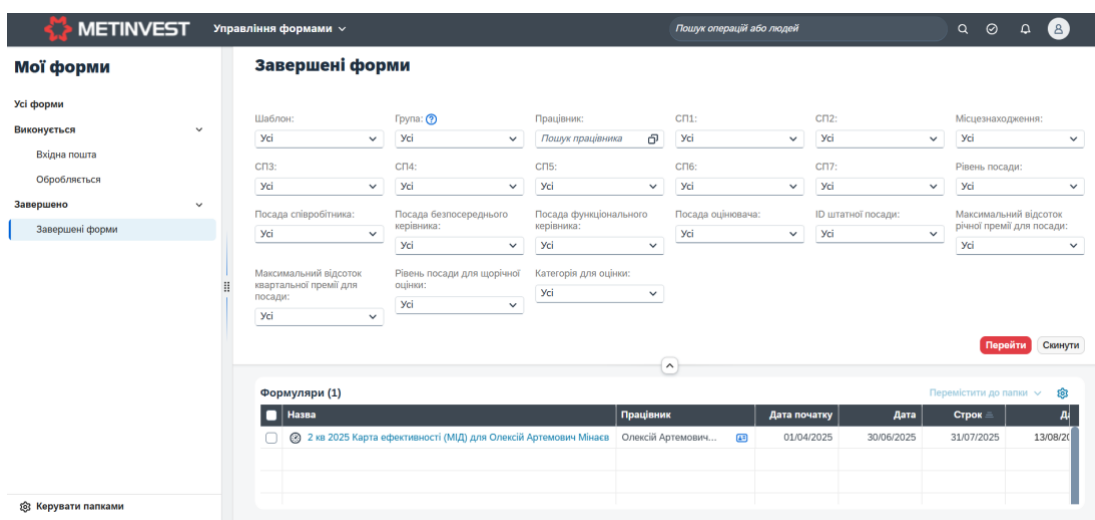


Рисунок 3.2 – Приклад використання SAP для сторінки інтерактивних форм користувачів.

Джерело : внутрішній сайт працівників «Метінвест Діджитал»

Таким чином, SAP S/4HANA не лише замінила застарілі системи обліку, а й стала фундаментом для подальшого розвитку цифрової екосистеми компанії.

b. Microsoft Power BI

Microsoft Power BI — це потужний хмарний інструмент для бізнес-аналітики [32], який широко використовується в ТОВ "Метінвест Діджитал" для створення інтерактивних звітів, візуалізації великих обсягів даних і підтримки процесу прийняття управлінських рішень на всіх рівнях — від топменеджменту до виконавців.

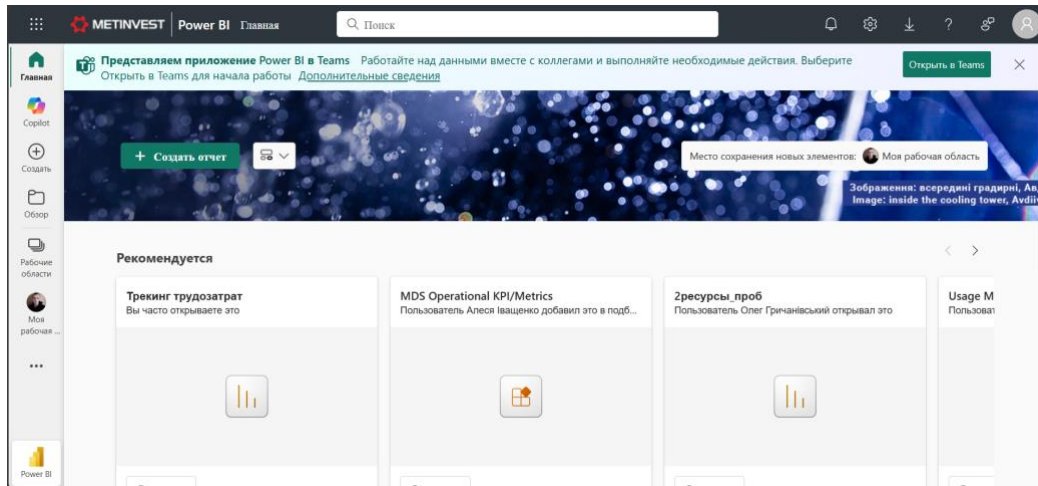


Рисунок 3.3 – Домашня сторінка Power BI для працівників «Метінвест Діджитал».

Джерело : внутрішній сайт працівників «Метінвест Діджитал»

Power BI забезпечує зручне та наочне представлення даних, що дозволяє оперативно виявляти тенденції, закономірності та відхилення у виробничих, фінансових і операційних процесах [32]. Його використання є ключовим елементом у реалізації концепції data-driven management — управління на основі даних.

Основні функції Power BI у Метінвест Діджитал:

1) Інтеграція з численними джерелами даних:

- Платформа підтримує підключення до таких систем, як SAP S/4HANA, Microsoft Excel, SQL Server, Azure Synapse, SharePoint, Dynamics 365, API сторонніх сервісів.

- Автоматична синхронізація даних із корпоративних сховищ і дата-лейків.

2) Побудова інтерактивних дашбордів:

- Використання графіків, карт, матриць, KPI-індикаторів для наочного представлення даних.

- Дашборди адаптуються під кожного користувача — керівника напрямку, аналітика, бізнес-замовника.

- Користувач може самостійно застосовувати фільтри, переглядати динаміку, порівнювати періоди.

3) Автоматизація оновлення даних і розсилки звітів:

- Дані оновлюються відповідно до розкладу (щодня, щогодини тощо), без втручання оператора.

- Готові звіти можуть автоматично надсилатися на електронну пошту відповідальним особам або публікуватися на внутрішньому порталі.

4) Можливості для аналітиків:

- Використання мови DAX (Data Analysis Expressions) для побудови обчислень, складних метрик, агрегатів.
- Побудова моделей даних з урахуванням взаємозв'язків між таблицями, часових вимірів, ієрархій.

5) Безпека та контроль доступу:

- Power BI підтримує ролі та політики доступу до звітів залежно від рівня користувача та його обов'язків.
- Інтеграція з Azure Active Directory дозволяє централізовано керувати автентифікацією.

Приклади практичного використання:

- Операційна ефективність: дашборди з інформацією про продуктивність обладнання (ОЕЕ), простої, план-факт аналіз, витрати енергоносіїв.
- Фінансове управління: звіти про дебіторську/кредиторську заборгованість, динаміку грошових потоків, бюджети.
 - Управління закупівлями: аналітика цін на сировину, виконання контрактів, терміни постачання.
 - HR-аналітика: звітність по персоналу, плинність кадрів, ефективність навчання, лікарняні та відпустки.
 - Вплив Power BI на бізнес:

- Підвищення прозорості: всі зацікавлені сторони мають доступ до однаково актуальної інформації, що дозволяє уникнути дублювання чи суперечливих звітів.
- Оперативність прийняття рішень: керівники підрозділів бачать актуальні показники й можуть швидко реагувати на відхилення.
- Автоматизація та економія часу: раніше ручні Excel-звіти замінено автоматизованими дашбордами, які не потребують щоденного оновлення вручну.
- Розвиток аналітичної культури: користувачі вчаться працювати з даними самостійно, формувати запити, інтерпретувати метрики.

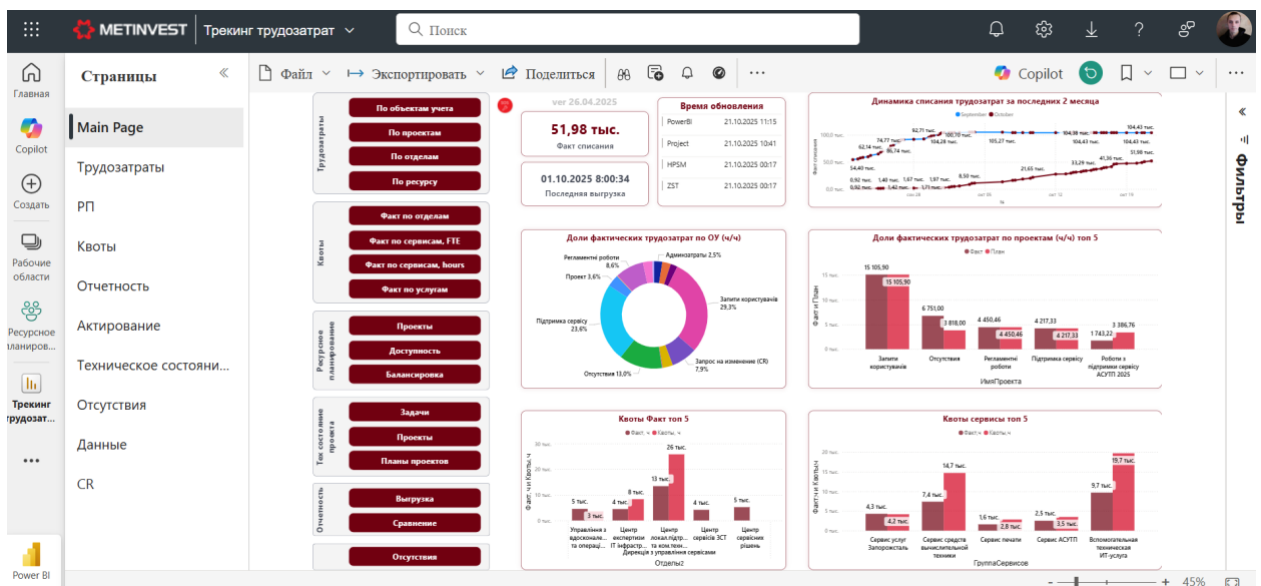


Рисунок 3.4 – Приклад використання Power BI для трекінгу трудовитрат.

Джерело : внутрішній сайт працівників «Метінвест Діджитал»

Розвиток Power BI у компанії:

ТОВ "Метінвест Діджитал" постійно розширює екосистему звітності, переходячи від простих звітів до аналітичних моделей, що використовують машинне навчання (в поєднанні з Azure ML), а також

до використання Natural Language Query (Q&A) — інструменту, який дозволяє ставити питання до даних у природній мові.

Крім того, компанія впроваджує мобільні версії дашбордів, які забезпечують доступ до ключових показників із планшетів і смартфонів — навіть поза межами офісу чи виробничого майданчика(рис.3.4).

с. Microsoft Azure

Microsoft Azure є стратегічною платформою, на базі якої Metinvest Діджитал будує сучасну, гнучку й масштабовану IT-інфраструктуру. Azure дозволяє компанії реалізувати модель гібридної хмари — тобто поєднання локальних дата-центрів із можливостями публічної хмари [28]. Це забезпечує високу доступність сервісів, швидке масштабування ресурсів, підвищену безпеку та зменшення витрат на утримання фізичної інфраструктури.

Напрями використання Azure у Metinvest Діджитал:

1) Хостинг корпоративних систем:

– ERP (SAP S/4HANA), CRM (Microsoft Dynamics 365), документообіг, портали, внутрішні сервіси розміщуються у віртуальних середовищах Azure.

– Висока відмовостійкість та автоматичне масштабування дозволяють уникнути простоїв у роботі ключових систем.

– Підтримка DevOps-практик:

– Інтеграція з Azure DevOps для організації CI/CD (безперервної інтеграції та доставки).

– Автоматичне тестування, релізи, моніторинг та керування версіями коду.

– Створення тестових середовищ у кілька кліків, без необхідності фізичного обладнання.

2) Інструменти штучного інтелекту та аналітики:

- Azure Machine Learning для побудови моделей прогнозування (наприклад, у виробництві чи обслуговуванні обладнання).

- Azure Synapse Analytics для масштабованого зберігання, обробки та візуалізації великих даних.

- Підключення до Power BI для глибокої аналітики в реальному часі.

3) Безпека та резервне копіювання:

- Azure Security Center — комплексний центр моніторингу та управління безпекою.

- Azure Backup і Azure Site Recovery — для резервного копіювання даних і аварійного відновлення.

- Azure Active Directory — єдина система авторизації та автентифікації, що використовується в усіх сервісах.

4) Інфраструктура як код (IaC):

- Компанія активно використовує Azure Resource Manager та Terraform для автоматизованого розгортання середовищ.

- Завдяки цьому зменшуються помилки конфігурацій, скорочується час на підготовку середовищ.

- Переваги MS Azure для Metinvest Діджитал:

- Гнучкість: швидке масштабування ресурсів залежно від завантаження.

- Централізоване керування: єдина панель для адміністрування, моніторингу та налаштування доступу.

- Зниження витрат: оплата за фактичне використання ресурсів замість постійного обслуговування власних серверів.

- Швидкий доступ до інновацій: автоматичні оновлення, нові сервіси AI/ML, інтеграція з Microsoft 365.

-

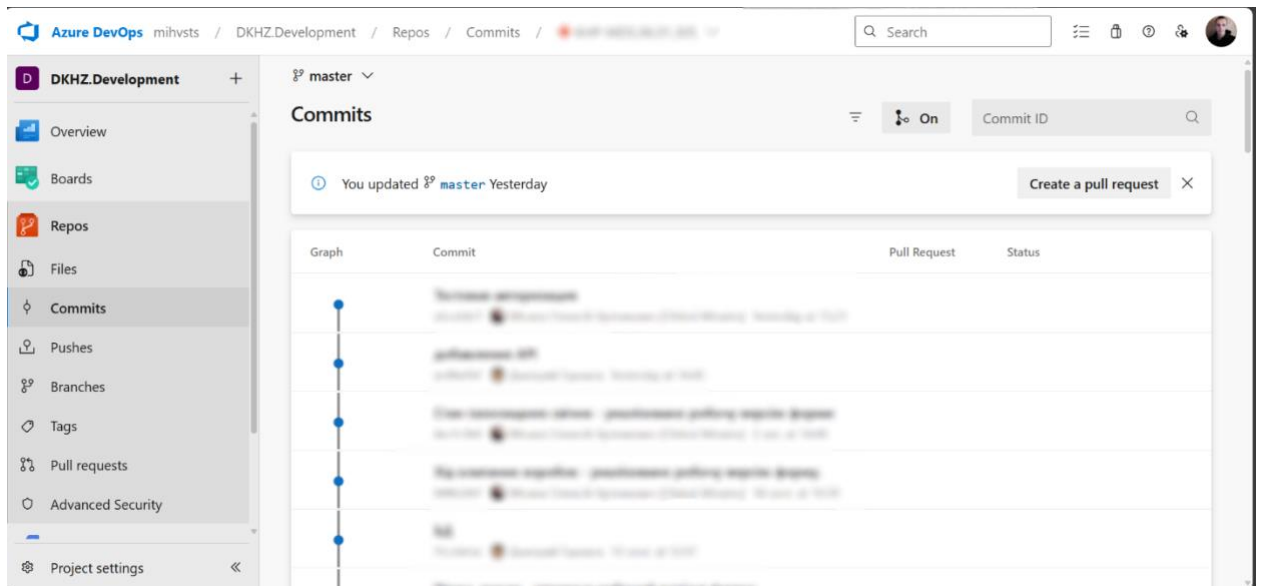


Рисунок 3.5 – Приклад використання Azure DevOps у виробництві.
Джерело : внутрішній сайт працівників «Метінвест Діджитал»

У рамках реалізації масштабного проєкту з цифровізації виробництва, аналітичні моделі на базі Azure ML були використані для прогнозування виходу готової продукції залежно від параметрів сировини. Це дозволило зменшити відходи, оптимізувати використання ресурсів і підвищити якість.

4. Office 365 та Microsoft Teams

Для забезпечення ефективної спільної роботи в компанії застосовується екосистема Microsoft 365 [29]. Це не лише традиційні офісні додатки, а повноцінна платформа для колективної взаємодії, управління документами, проєктами та знаннями.

Можливості:

- Онлайн-доступ до документів і одночасне редагування кількома користувачами;
- Організація зустрічей, відеоконференцій, планування завдань у Teams;
- Централізоване сховище документів із можливістю контролю доступу;

- Гнучкість у роботі — з будь-якого пристрою та місця, з підтримкою віддаленої роботи.

Office 365 відіграє важливу роль у впровадженні принципів цифрової культури в компанії.

5. Програмні рішення з кібербезпеки

З огляду на масштаб діяльності компанії, питання кіберзахисту має першочергове значення. Метінвест Діджитал активно впроваджує політики інформаційної безпеки, використовуючи рішення провідних вендорів [28].

Використовуються:

- Fortinet — захист від вторгнень, фільтрація трафіку, моніторинг поведінки;
- Microsoft Defender — моніторинг загроз на рівні пристроїв, реакція на інциденти;
- SIEM (Security Information and Event Management) — агрегація логів, виявлення аномалій.

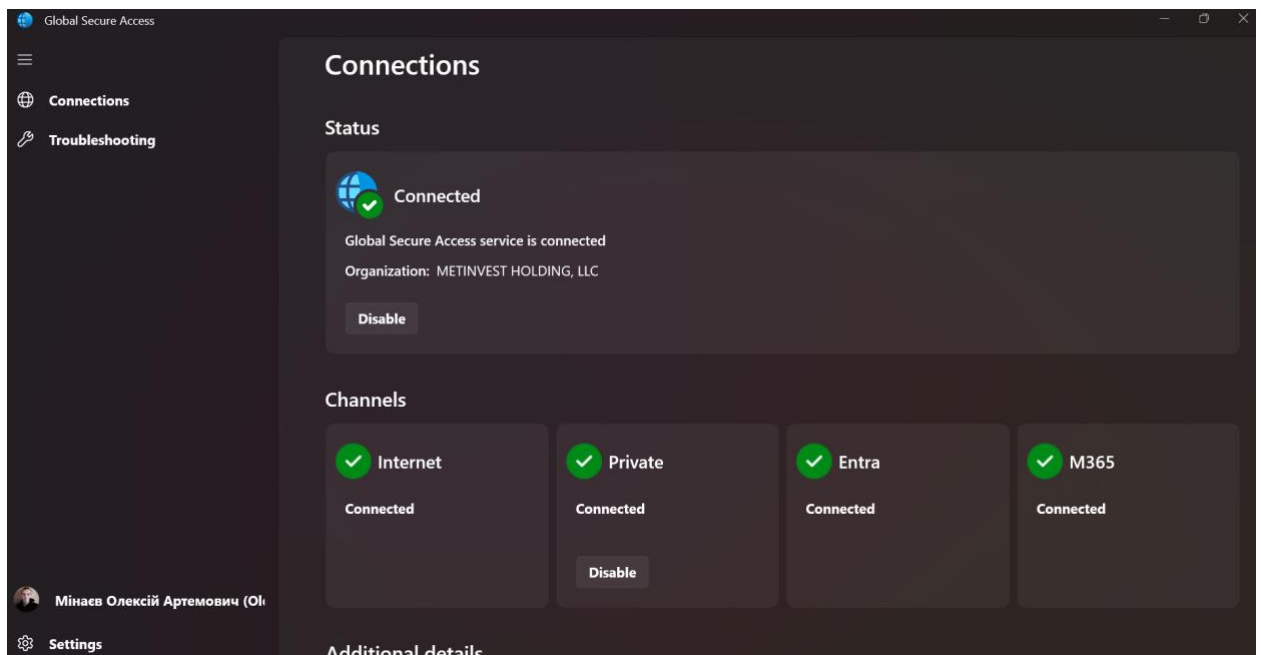


Рисунок 3.6 – Внутрішня система доступу Global Secure Access.
Джерело : внутрішній сайт працівників «Метінвест Діджитал»

Комплексний підхід дозволяє вчасно реагувати на загрози та зберігати цілісність даних.

Jira дозволяє:

- Вести беклоги проектів;
- Використовувати Kanban та Scrum-дошки;
- Стежити за статусами завдань, виконанням спринтів.
- Confluence:
- Служить як централізований репозиторій знань;
- Зберігає специфікації, настанови, документацію;
- Сприяє обміну досвідом і стандартизації процесів.

7. CRM-системи та сервіси підтримки

В межах сервісної моделі компанія має внутрішніх замовників — підрозділи Групи Метінвест. Для забезпечення якісної підтримки застосовуються:

- Microsoft Dynamics 365 — управління заявками, контроль часу обробки, автоматизація обробки звернень;
- Service Desk — централізований канал комунікації з ІТ-фахівцями.

Це дозволяє не тільки покращити якість сервісів, а й накопичувати статистику для подальшого покращення роботи.

8. Інструменти для розробки: GitLab, Visual Studio, Docker[30]

Для створення, підтримки та тестування внутрішніх систем і додатків компанія має власні команди розробників. Вони користуються сучасними технологіями DevOps і створюють ПЗ, яке відповідає потребам бізнесу(рис.3.5).

- GitLab — управління версіями коду, CI/CD, зберігання артефактів;

- Visual Studio — інтегроване середовище розробки для .NET, C#, JavaScript;
- Docker — контейнеризація сервісів, автоматизація розгортання.

Це забезпечує масштабовану, гнучку та ефективну розробку під специфіку корпоративних задач.

Основні інформаційні потоки

Інформаційні потоки в ТОВ "Метінвест Діджитал" є ключовим елементом забезпечення цифрової трансформації виробничих підприємств Групи Метінвест. Вони охоплюють обмін даними між різними структурними підрозділами компанії — від центрів розробки, інфраструктурної підтримки до служби безпеки та обліку(рис.3.7). Обмін інформацією здійснюється на основі наскрізних цифрових рішень, таких як SAP S/4HANA, Microsoft Power BI, Azure та ServiceNow [32]. Ці рішення інтегруються в єдину IT-архітектуру, що дозволяє не лише автоматизувати бізнес-процеси, а й централізувати управління даними.

Внутрішні потоки забезпечують координацію команд, управління IT-проєктами, фінансами, закупівлями та аналітикою. Зовнішні інформаційні потоки включають зв'язок з постачальниками обладнання, клієнтами, зовнішніми аудиторами, контролюючими органами та партнерами в IT-індустрії. Більшість зовнішніх комунікацій здійснюється через електронні сервіси документообігу, хмарні платформи та захищені API [33].

Завдяки чіткій структурі інформаційних потоків компанія досягає високої прозорості в управлінні та прийнятті рішень, що особливо важливо для великої організації з розгалуженою структурою. Модель побудови таких потоків забезпечує масштабованість, відповідність принципам кібербезпеки й безперервний розвиток цифрових сервісів у рамках екосистеми Метінвест [34].

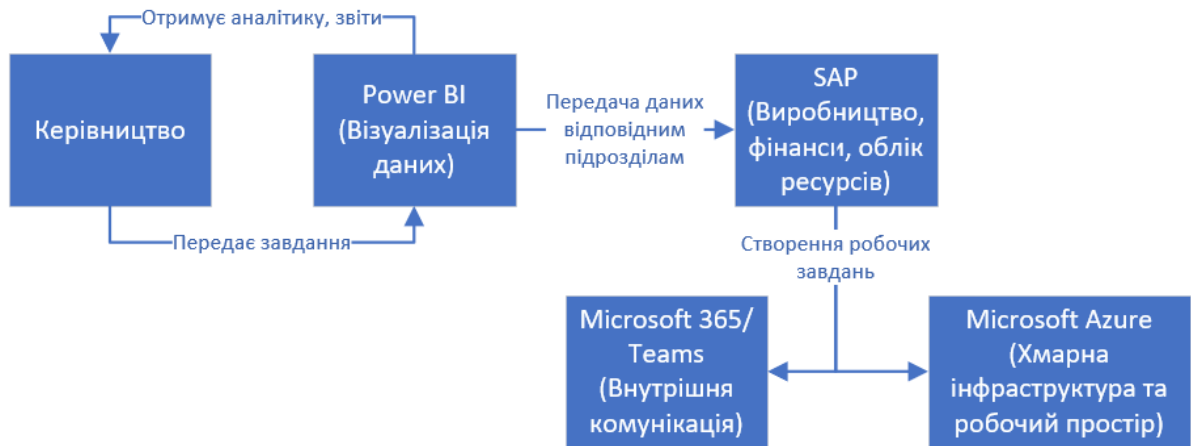


Рисунок 3.7 – Схема інформаційних потоків підприємства.
Джерело : внутрішній сайт працівників «Метінвест Діджитал»

ТОВ "МЕТІНВЕСТ ДІДЖИТАЛ" є провідною ІТ-компанією, яка забезпечує цифрову трансформацію підприємств Групи Метінвест. Її діяльність побудована на системному впровадженні комп'ютерних технологій у всі ключові бізнес-процеси, що дозволяє забезпечити ефективне управління, високу продуктивність та конкурентоспроможність на ринку.

В компанії функціонує потужна ERP-інфраструктура на базі SAP S/4HANA, яка охоплює широкий спектр процесів — від управління фінансами, закупівлями, логістикою і виробництвом до обліку персоналу . Це дозволяє стандартизувати операції, зменшити кількість помилок та покращити прозорість управлінських рішень.

Значну увагу приділено розвитку систем управління відносинами з клієнтами. Для цього використовуються як власні ІТ-розробки, так і інтеграція з платформами SAP Customer Experience, що дозволяє покращити якість обслуговування замовників, оптимізувати канали комунікації та аналізувати поведінку клієнтів [12].

Інформаційна інфраструктура компанії відповідає високим стандартам безпеки: функціонують централізовані дата-центри,

побудовані корпоративні мережі з високим рівнем захисту, впроваджено системи резервного копіювання, моніторингу та кіберзахисту. Працівники мають автоматизовані робочі місця з уніфікованим доступом до корпоративних ресурсів.

Хмарні технології посідають важливе місце в цифровій екосистемі компанії. Впроваджено інтеграцію з Microsoft Azure, що дозволяє масштабувати рішення, забезпечувати безперервну доступність сервісів та спрощувати управління корпоративними додатками. Також активно використовуються сервіси Microsoft 365: Teams, OneDrive, SharePoint .

Для візуалізації та аналізу даних компанія використовує платформу Power BI, яка забезпечує зручне створення дашбордів, динамічних звітів та моніторинг бізнес-показників у режимі реального часу . Це сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень на основі актуальних даних [33].

Завдяки високому рівню автоматизації, ТОВ "МЕТІНВЕСТ ДІДЖИТАЛ" не лише ефективно обслуговує внутрішніх клієнтів, але й є прикладом сучасної компанії, яка гармонійно поєднує технології, бізнес і безпеку.

3.3. Економічні розрахунки доцільності впровадження проекту операційної ефективності для покращення бізнес процесу

Відповідно до методичних рекомендацій, наведених у НМКД *«Програми та проєкти підвищення операційної ефективності»* [25], процедура попередньої оцінки доцільності впровадження проєкту на підприємствах групи Метінвест, зокрема в умовах ПРАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат» (ЦГЗК), передбачає послідовний збір вихідних даних, їх аналітичну обробку та розрахунок ключових показників ефективності.

У межах цього дослідження проведено попередній аналіз потенційної реалізації проєкту з цифровізації процесу «Керування експлуатацією шин і станом доріг» у структурному підрозділі підприємства. Для моделювання використано умовні вихідні дані, наближені до фактичних виробничих показників ЦГЗК.

Метою реалізації проєкту є підвищення операційної ефективності та рівня охорони праці шляхом впровадження сучасних цифрових систем моніторингу, що забезпечують контроль технічного стану шин, навантаження та умов руху кар'єрних самоскидів у реальному часі. Очікується, що цифровізація процесу сприятиме зниженню ризику аварійних ситуацій, підвищенню безпеки персоналу та зменшенню втрат робочого часу через непланові простої техніки.

Інвестиційна діяльність

Розрахуємо чисту ліквідаційну вартість проєкту через 5 років:

Визначимо склад інвестицій:

a) Закупівля та встановлення сенсорів TPMS і шлюзів IoT (≈ 100 тис. USD).

b) Серверне обладнання / хмарна ліцензія Azure (≈ 10 тис. USD).

c) Вартість розробки програмного забезпечення і інтеграції (≈ 20 тис. USD).

d) Навчання персоналу та пуско-налагоджувані роботи (≈ 20 тис. USD).

Разом первинні інвестиції ≈ 150 тис. USD.

Розрахуємо чисту ліквідаційну вартість:

a) Ліквідаційна вартість (10 %) = 15 тис. USD

b) Витрати на демонтаж (2 %) = 3 тис. USD

c) Чиста ліквідаційна вартість (ЧЛВ): $15 - 3 = 12$ тис. USD

Знаходимо результат інвестиційної діяльності, який

представлений в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Інвестиційна діяльність за проектом.

Показники	Значення на кроці, тис USD					
	0	1	2	3	4	5
Закупівля обладнання та ПЗ (ΔIC)	-150	0	0	0	0	12
Приріст оборотного капіталу (ΔOK)	-5	0	0	0	0	5
Разом інвестиційні потоки, $F_1(t)$	-155	0	0	0	0	17

Операційна діяльність

Значення за такими показниками як, об'єм продажів, ціна, оплата праці, матеріали і постійні витрати беру з відкритих даних.

Маємо наступні вхідні дані по початковій вартості обладнання, ліквідаційній вартості, терміну експлуатації, кредитної ставки - таблиця 3.2

Таблиця 3.2 -вхідні дані

Показник	Позначення	Значення
Початкова вартість обладнання	Пв	150 тис. USD
Ліквідаційна вартість	Лв	15 тис. USD
Термін експлуатації	Те	5 років
Кредитна ставка	i	9 % річних
Сума кредиту	К	150 тис. USD
Погашення основного боргу	R	рівними частками з 2-го по 5-й рік

Амортизаційні відрахування ми визначаємо по формулі :

$$A = \frac{Пв - Лв}{T_e} = \frac{150 - 5}{5} = 27,5 \text{ тис. USD}$$

де $Пв$ - початкова вартість устаткування, тис. USD;
 $Лв$ - ліквідаційна вартість устаткування, тис.USD;
 T_e - кількість років експлуатації, років.

Для придбання устаткування необхідно узяти довгостроковий кредит, рівний вартості устаткування, під 9 % річних строком на 5 років. Повернення основної суми здійснюється рівними частками, починаючи з другого року (платежі у кінці року) по формулі :

$$R = \frac{150}{4} = 37,7 \text{ тис. USD}$$

Розрахунок представимо у таблиці 3.3

Таблиця 3.3 -розрахунок повернення кредиту

Рік	Залишок боргу на початок року, тис. USD	Відсотки (9%)	Коментар
1	150	13,5	повна сума до погашення
2	150	13,5	до погашення наприкінці року
3	150 – 37.5 = 112.5	10,13	після 1-го погашення
4	150 – 75.0 = 75.0	6,75	після 2-х погашень
5	150 – 112.5 = 37.5	3,38	після 3-х погашень

Як результат реалізації проекту зменшуються операційні витрати без значної зміни обсягу виробництва, а саме

- оплата праці – 3 %;
- матеріали та ремонти шин – 10 %;
- простой – зменшення втрат на 5 % від виручки

Чиста щорічна економія витрат (до амортизації та відсотків) 110,0 тис. USD/рік, у 1-му році візьмемо — 90% (тобто 99,0).

Розраховані результати розрахунків від операційної діяльності по кожному кроку представимо в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Операційна діяльність за проектом

Показники	Значення на кроці, тис. дол.					
	0	1	2	3	4	5
1. Чистий операційний ефект до амортизації (економія витрат)	0	99	110	110	110	110
2. Амортизація	0	27	27	27	27	27
3. Відсотки за кредитом (9%)	0	13,5	13,5	10,13	6,75	3,38
4. Прибуток до оподаткування (ЕВІТ) = (1) – (2) – (3)	0	58,5	69,5	72,88	76,25	79,63
5. Податок на прибуток 25%	0	14,63	17,38	18,22	19,06	19,91
6. Чистий прибуток = (4) – (5)	0	43,88	52,12	54,66	57,19	59,72
7. Операційний грошовий потік $F_2(t) = (6) + (2)$	0	70,88	79,12	81,66	84,19	86,72

Фінансова діяльність

У межах реалізації проєкту «Цифровізація процесу керування експлуатацією шин і станом доріг» передбачається часткове фінансування за рахунок довгострокового банківського кредиту під 9 % річних строком на 5 років. Повернення основної суми боргу здійснюється рівними частками, починаючи з другого року експлуатації (по 37,5 тис. USD щороку). Відсотки за користування кредитом сплачуються щорічно у складі операційних витрат.

Додатково у 0-му році використовується власний капітал підприємства у розмірі 5 тис. USD для формування оборотного капіталу (ΔOK).

Отже, фінансова діяльність включає надходження позикових і власних коштів на початку проєкту та виплати за кредитом у наступні роки. Результати зведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Фінансова діяльність за проєктом

Показники	Значення на кроці, тис. дол.					
	0	1	2	3	4	5
1. Власний капітал (+ ΔOK)	5	0	0	0	0	0
2. Довгостроковий кредит (+ ΔIC)	150	0	0	0	0	0
3. Погашення основної суми кредиту ($R = 37,5$)	0	0	-37,5	-37,5	-37,5	-37,5
4. Результат фінансової діяльності $F_3(t)$	155	0	-37,5	-37,5	-37,5	-37,5

Показники комерційної ефективності

Потік реальних грошей, сальдо реальних грошей, сальдо накопичених реальних грошей визначені в таблиці 3.6

Таблиця 3.6 - Показники комерційної ефективності.

Показники	Значення на кроці, тис. долл					
	0	1	2	3	4	5

1. Результат інвестиційної діяльності $F_1(t)$	-155.0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0
2. Результат операційної діяльності $F_2(t)$	0.00	70.88	79.12	81.66	84.19	86.72
3. Потік реальних грошей (1+2)	-155.0	70.88	79.12	81.66	84.19	103.72
4. Результат фінансової діяльності $F_3(t)$	+155.0	0.00	-37.5	-37.5	-37.50	-37.5
5. Сальдо реальних грошей (3+4)	0.00	70.88	41.62	44.16	46.69	66.22
6. Сальдо накопичених реальних грошей	0.00	70.88	112.5 0	156.66	203.3 5	269.57

Результати розрахунків комерційної ефективності проекту свідчать про його фінансову стійкість і доцільність впровадження для ПРАТ «Центральний ГЗК» з використанням внутрішнього підрядника ТОВ «Метінвест Диджитал».

На всьому горизонті реалізації (5 років) сальдо накопичених реальних грошей має позитивне значення, що підтверджує здатність проекту самостійно генерувати достатній грошовий потік для покриття витрат та обслуговування кредиту.

Зростання кумулятивного сальдо від 70,9 тис. USD у першому році до 269,6 тис. USD у п'ятому році демонструє стабільний приріст ліквідності та ефект від скорочення операційних витрат унаслідок цифровізації процесів контролю шин і стану доріг.

Показники ефективності проекту.

Оцінка ефективності інвестицій є найбільш відповідальним етапом у процесі прийняття рішень щодо реалізації проекту.

Для оцінки використовується метод дисконтування грошових потоків, що дозволяє визначити теперішню вартість майбутніх надходжень і витрат.

Розрахунок проведено за ставкою дисконту 7 %, яка розрахована нижче та відповідає середньозваженій вартості капіталу (WACC) для промислових підприємств групи «Метінвест».

У таблиці 3.7 наведено дисконтовані потоки реальних грошей за проектом.

Таблиця 3.7 - Дисконтований потік реальних грошей.

Показники	Значення на кроці, тис. долл					
	0	1	2	3	4	5
1. Результат від інвестиційної діяльності $F_1(t)$	-155,00	0	0	0	0	17
2. Результат від операційної діяльності $F_2(t)$	0	70,88	79,12	81,66	84,19	86,72
3. Дисконтний множник D_s при WACC=7%	1	0,935	0,873	0,816	0,763	0,713
4. Дисконтована інвестиційна діяльність $F_1(t)*d$	-155,00	0	0	0	0	12,12
5. Дисконтована операційна діяльність $F_2(t)*d$	0	66,47	69,1	66,7	64,25	61,83

Середньозважена вартість капіталу розраховуємо по наступній формулі :

$$WACC = \frac{E}{V} \times R_e + \frac{D}{V} \times R_d \times (1 - T) = 0,03 \times 0,16 + 0,97 \times (1 - 0,25) \approx 7 \%$$

де:

- E — частка власного капіталу,
- D — частка боргового капіталу,
- V=E+D — загальна вартість джерел,
- R_e — вартість власного капіталу (очікувана дохідність акціонерів, зазвичай 14–18 %),
- R_d — вартість боргового капіталу (ставка кредиту, у нас 9 %),

- T — податкова ставка (0.25).

Чистий приведений дохід (NPV) визначається як різниця між сумою дисконтованих результатів від операційної діяльності та дисконтованими інвестиційними витратами:

$$NPV = 328,35 - 142,88 = +185,47 \text{ тис.USD}$$

Індекс доходності (PI) визначається як відношення суми приведених надходжень до приведених витрат:

$$PI = \frac{NPV + |I_0|}{|I_0|} = \frac{185,47 + 155}{155} = 1,43$$

Період окупності (PP) показує час, протягом якого накопичені грошові потоки компенсують первісні інвестиційні витрати:

$$PP = t_1 + \frac{|I_0| - \sum_{t=1}^{t_1} F(t)}{F(t_1+1)} = 2 + \frac{155 - (70,88 + 41,62)}{44,16} = 2,7 \text{ роки}$$

Внутрішня норма доходності (у англійській аббревіатурі - IRR) визначається графічним методом, методика якого полягає в наступному :

- Довільно підбирається ставка відсотка і визначається величина приведенного грошового потоку для кожного варіанту ставок.
- Грошовий потік в справжній вартості визначається як сумарна величина результатів операційної діяльності з урахуванням дисконту (d), що відповідає прийнятій ставці і кроку проекту, по усіх кроках:
- Визначається значення чистого приведенного доходу для кожного варіанту ставки.
- Підбір ставки і відповідні розрахунки продовжуємо до першого негативного значення чистого приведенного доходу.

Усі підстановки і розрахунки фіксуємо в таблиці 3.8 та 3.9:

Таблиця 3.8. Визначення чистого приведенного доходу для кожного варіанту ставок.

Показники	Значення на кроці, грн.					
	0	1	2	3	4	5

Результат від інвестиційної діяльності	-155,00	0	0	0	0	17
Результат від операційної діяльності	0	70,88	79,12	81,66	84,19	86,72
Загальний грошовий потік CF(t)	-155,00	70,88	79,12	81,66	84,19	103,72
Ставка дисконту	30%					
Дисконтний множник	1	0,7692	0,5917	0,4552	0,3501	0,2693
Дисконтована інвестиційна діяльність	-155,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,58
Дисконтована операційна діяльність	0	54,52	46,82	37,17	29,47	23,36
NPV(ЧПВ)	40,92					
Ставка дисконту	40%					
Дисконтний множник	1.000	0.714	0.510	0.364	0.260	0.186
Дисконтована інвестиційна діяльність	-155.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3,16
Дисконтована операційна діяльність	0.00	50.63	40.37	29.76	21.92	16,12
NPV(ЧПВ)	6,96					
Ставка дисконту	55%					
Дисконтний множник	1	0,6452	0,4163	0,2686	0,1733	0,1118
Дисконтована інвестиційна діяльність	-155,00	0	0	0	0	1,9
Дисконтована операційна діяльність	0	45,74	32,94	21,93	14,59	9,7
NPV(ЧПВ)	-28,2					

Тож підсумкові значення розрахунку чистої приведеної вартості будуть мати наступний вигляд – таблиця 3.9

Таблиця 3.9 – Підсумкова розрахункові дані NPV

Ставка відсотка (i), %	30,00	40,00	45,00	50,00	51,00	52,00	53,00	54,00	55,00
NPV, тис. долл.	40,92	23,11	14,28	6,72	5,03	3,31	1,57	-0,14	-28,20

4. Беремо підсумкові розрахункові дані та будемо графік у пакеті MS Excel, де по осі абсцис визначаємо ставку банківського відсотку , а

по осі ординат – чистий приведена вартість



Рисунок. 3.8 - Графічне визначення IRR
Джерело : побудовано автором в програмі пакету M365 Excel

5. Методом інтерполяції знаходимо розрахункове значення внутрішньої норми доходності по формулі:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \times (i_2 - i_1)$$

Вставляємо розрахункові значення і отримуємо відсоток чистої норми доходності :

$$IRR = 53 + \frac{1,57}{1,57 - (-0,14)} \times (54 - 53) = 53,92 \%$$

Висновки до розділу 3

У третьому розділі магістерської кваліфікаційної роботи мною обґрунтовано напрями підвищення операційної ефективності гірничо-транспортного комплексу ПРАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат» шляхом упровадження цифрових рішень на базі IT/OT-платформ класу MES у поєднанні з технологіями промислового Інтернету речей. Основну увагу в роботі зосереджено на практичних аспектах цифровізації бізнес-процесів, ролі ТОВ «Метінвест Диджитал» у реалізації таких рішень та використанні результатів аналітичної обробки даних для вдосконалення процесу технічного обслуговування автомобільних шин.

У ході дослідження мною проаналізовано організаційну структуру та функціональну роль ТОВ «Метінвест Диджитал» як центру компетенцій з упровадження MES/IIoT-рішень у Групі Метінвест. Встановлено, що централізована модель управління цифровими продуктами та виробничими даними забезпечує уніфікацію підходів до впровадження інформаційних систем, підвищує керованість цифрових проєктів і створює умови для їх подальшого масштабування на інші виробничі активи.

На основі аналізу програмних модулів і результатів пілотного впровадження системи моніторингу шин DTire мною доведено доцільність інтеграції TPMS/TPCS із MES-рівнем управління. Отримані результати свідчать, що використання таких рішень дозволяє перейти від фрагментованого та реактивного контролю до системного управління експлуатаційними параметрами шин, знизити темпи їх зношування, зменшити кількість порушень режимів експлуатації та підвищити точність прогнозування залишкового ресурсу.

У межах роботи мною сформовано систему ключових показників ефективності (KPI), яка відображає взаємозв'язки між технічним

станом шин, простоями кар'єрної техніки, продуктивністю гірничо-транспортних операцій і собівартістю видобутку. Доведено, що застосування такої системи KPI створює інформаційну основу для обґрунтованого прийняття управлінських рішень, спрямованих на оптимізацію режимів експлуатації техніки та підвищення загальної операційної результативності.

Мною виконано розрахунок економічної ефективності запропонованих заходів, результати якого підтвердили їх доцільність. Розраховані показники чистої приведеної вартості (NPV) та внутрішньої норми дохідності (IRR) свідчать про економічну привабливість проєкту та його стійкість до змін умов фінансування. Отримані значення підтверджують, що впровадження MES/IIoT-рішень у процес технічного обслуговування шин є економічно обґрунтованим і здатним забезпечити відчутний позитивний ефект для підприємства.

Узагальнюючи результати третього розділу, мною зроблено висновок, що впровадження цифрових платформ на базі MES у поєднанні з IIoT та аналітичними модулями забезпечує перехід від реактивного до проактивного управління бізнес-процесами гірничо-транспортного комплексу. Запропоновані в роботі рішення можуть бути масштабовані на інші активи Групи Метінвест та використані як практична й методична основа для реалізації подібних проєктів у гірничо-металургійній галузі.

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи та проходження практики на підприємстві ТОВ «Метінвест Диджитал» була отримана необхідна інформація – нормативна, організаційна, кількісні та якісні показники існуючих бізнес-процесів на Активах Групи Метінвест в цілому та на ПРАТ «Центральний ГЗК» зокрема, а саме:

- з'ясовано суть проблематики бізнес процесу технічного обслуговування кар'єрної техніки в цілому та автомобільних шин зокрема;

- встановлена загально прийнята процедура реалізації інвестиційних проєктів підвищення операційної ефективності;

- проаналізовано сучасні підходи до впровадження і реалізації ІТ проєктів на платформах MES;

- систематизовано показники оцінки ефективності інвестиційних проєктів;

- визначено можливості реалізації проєкту покращення операційної ефективності в умовах ГЗК з врахуванням українських реалій ведення бізнесу;

- для візуалізації процедури впровадження проєкту покращення операційної ефективності ГЗК запропонована модель перебігу бізнес-процесів, що дозволила візуалізувати «входи» (необхідні ресурси), «виходи» (проміжні та остаточні заплановані результати), механізми забезпечення та регулювання;

- запропоновано шляхи щодо вдосконалення бізнес-процесу «Поліпшення керування експлуатацією шин і станом доріг (діаграма «ТО – ВЕ»);

- визначено та угруповано притоки та відтоки грошових коштів проєкту, що дозволило обґрунтувати його доцільність на основі прогнозованої оцінки ефективності ключових показників: чистої

поточної вартості (NPV), дисконтованого терміну окупності PP, індексу прибутковості (PI), внутрішньої ставки віддачі (IRR).

Практичне значення роботи[30] полягає у розробці рекомендацій для підвищення операційної ефективності ПРАТ «Центральний ГЗК» шляхом впровадження інвестиційного проєкту ІТ/ОТ напрямку, що забезпечує конкурентоспроможність у довгостроковій перспективі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. McKinsey & Company. The Mine of the Future: Technology and Innovation in Mining [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу: <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining>
2. Deloitte. Tracking the Trends in Mining: The Top 10 Issues Transforming the Future of Mining [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www2.deloitte.com/global/en/pages/energy-and-resources/articles/tracking-the-trends.html>
3. Центральний ГЗК. Концепція MES для гірничо-збагачувальних комбінатів: звіт про НДР : етап 1. – Кривий Ріг, 2022. – 112 с.
4. Центральний ГЗК. Концепція MES для гірничо-збагачувальних комбінатів: звіт про НДР : етап 2. – Кривий Ріг, 2022. – 123 с.
5. Центральний ГЗК. Концепція MES для гірничо-збагачувальних комбінатів: звіт про НДР : етап 3. – Кривий Ріг, 2022. – 108 с.
6. Управління підприємствами в умовах цифровізації: виклики та механізми трансформацій : монографія / Н. Ю. Брюховецька, І. П. Булеєв, Ю. С. Залознова та ін. ; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. Київ, 2024. 302 с
7. Мінц О. Ю., Лисенко Ю. Г. Моделювання інноваційних інтелектуальних систем прийняття рішень в економіці. Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці. 2017. № 6. С. 90–141.
8. MESA International. Resource Library: Web page. – <https://services.mesa.org/ResourceLibrary>.
9. ANSI/ISA-95.00.01-2010 (R2015). Enterprise-Control System Integration — Part 1: Models and Terminology [Electronic resource]. – Research Triangle Park, NC : International Society of Automation (ISA), 2010. – Available at: <https://www.isa.org/products-and-publications/standards/ansi-isa-standards/ansi-isa95-00-01-2010,-r2015>
10. ISA-88: the international standard for flexibility in production: Web page.– <http://www.isa-88.com/index.php>.
11. Batch Markup Language (BatchML) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.isa.org/Content/NavigationMenu/General_Information/Partners_and_Affiliates/WBF/Working_Groups2/ML_Working_Group/BatchML/BatchML.htm
12. Business To Manufacturing Markup Language (B2MML) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.isa.org/Content/NavigationMenu/General_Information/Partners_and_Affiliates/WBF/Working_Groups2/ML_Working_Group/BatchML/BatchML.htm

s_and_Affiliates/WBF/Working_Groups2/XML_Working_Group/B2MML/B2MML.htm

13. Williams T. J. The Purdue Enterprise Reference Architecture // Computers in Industry. – 1994. – Vol. 24, No. 2. – P. 141–158.

14. MESA International. MESA Model [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mesa.org/en/modelstrategicinitiatives/> MESA Model.asp

15. Wauters F., Mathot J. OEE. Overall Equipment Effectiveness [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www05.abb.com/global/scot/scot296.nsf/veritydisplay/4581d5d1ce980419c1256bfb006399b9/\\$file/3bus094188r0001.pdf_en_ooe_whitepaper_-_overall_equipment_effectiveness.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot296.nsf/veritydisplay/4581d5d1ce980419c1256bfb006399b9/$file/3bus094188r0001.pdf_en_ooe_whitepaper_-_overall_equipment_effectiveness.pdf)

16. Parmenter D. Key Performance Indicators. – New York : John Wiley & Sons, 2007. – 236 p.

17. OPC Technical Overview. OPC Foundation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pascontrol.com/download/OPC-overview.pdf>

18. Microsoft Developer Network (MSDN). Tutorial 1: Enterprise Application Integration [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa578030.aspx>

19. Bernus P., Nemes L “A framework to define a generic enterprise reference architecture and methodology // Computer Integrated Manufacturing Systems.– 1996, Vol 9 (3).p. 179–191.

20. Чекурін В. Ф., Притула М. Г., Химко О. М. Методологія MES і комп'ютеризація управління ГТС. Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, Куявю and Pomorze University in Bydgoszcz, Центр математичного моделювання ІППММ ім. Я. С. Підстригача НАН України, Національний університет “Львівська політехніка”, 2014

21. Центральний ГЗК. Концепція MES для гірничо-збагачувальних комбінатів: звіт про НДР : етап 2. – Кривий Ріг, 2022. – 123 с

22. Програми і проєкти підвищення операційної ефективності: методичні рекомендації до виконання та оформлення індивідуального завдання за освітньо-професійною програмою другого (магістерського) рівня «Бізнес-процеси та операційна ефективність» спеціальності 051 Економіка / Уклад. Латишева О.В., Чуприна Ю.В. Запоріжжя, ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2023. 45 с.

23. Офіційний сайт ПРАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат». URL: <https://cgzk.metinvestholding.com/> (дата звернення: 11.01.2026).

24. НМКД «Програми та проєкти підвищення операційної ефективності» на платформі Moodle. URL: <https://learning.mipolytech.education/md/course/view.php?id=1317> .
25. Проєктний аналіз: навчальний посібник / В. С. Рижиков, М. М. Яковенко, О. В. Латишева та ін. Київ: Центр учбової літератури, 2017. 384 с.
26. PMBOK® Guide – Seventh Edition and The Standard for Project Management. Project Management Institute, 2021. 250 p.
27. Metinvest Digital. Цифрові рішення для гірничої галузі. URL: <https://digital.metinvest.com/>
28. Metinvest Digital – Послуги: SAP, Microsoft, кібербезпека, автоматизація/ URL: <https://metinvest.digital/en>
29. Blazor – Building modern applications (DevelopersVoice). URL: <https://developersvoice.com/blog/architecture/blazor-building-modern-applications/>
30. ASP.NET Blazor Use Cases & Challenges (FeatBit). URL: <https://www.featbit.co/developers/dn-asp-net-blazor-use-cases-challenges>
31. Mastering EF Core Performance – Tips and Best Practices. URL: <https://sd.blackball.lv/en/articles/read/19833-mastering-ef-core-performance-tips-tricks-and-best-practices>
32. Power BI and SQL Server Integration. URL: <https://powerbigate.com/power-bi-and-sql-server/>
33. Microsoft Learn – Gateway SQL tutorial for Power BI. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/power-bi/connect-data/service-gateway-sql-tutorial>
34. ISO 55000:2014. Asset management – Overview, principles and terminology. International Organization for Standardization, 2014.
35. Центральний ГЗК Групи Метінвест удосконалив технологію виготовлення DRI-окатків [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://metinvest.media/ua/page/centralniy-gzk-grupi-metinvest-udoskonaliiv-tehnologyu-vigotovlennya-dri-okatkv>
36. Чуприков С.В., Мінц О.Ю. Операційні поліпшення економічної ефективності роботи ГЗК завдяки впровадженню цифрових платформ IIOT і їх інтеграцією з MES. *Start in Science: студентська науково-технічна конференція : збірник тез і анотацій наукових доповідей.* – Одеса : Олді+, 2025,- С.220-223с